

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Журнал заснований у 1918 році

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 33 (72) № 5 2022



Видавничий дім
«Гельветика»
2022

Головний редактор:

Кисельов Володимир Борисович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського.

Члени редакційної колегії:

Медведєв Микола Георгійович (відповідальний секретар) – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Бронін Сергій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем та технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

Домніч Володимир Іванович – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Дехтяр Анатолій Соломонович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри архітектурних конструкцій Національної академії образотворчого мистецтва і архітектури;

Дичко Аліна Олегівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Дубко Валерій Олексійович – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету технологій та дизайну;

Єремєєв Ігор Семенович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Лисенко Олександр Іванович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

Огородник Станіслав Станіславович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Сегай Олександр Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

Чумаченко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

Цомко Олена – доктор філософії по спеціальності «Безпека і управління інформацією», відділення комп'ютерної інженерії, Інститут Міжнародної освіти, Університет Донгсо, Республіка Корея.

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 3 від 27.10.2022 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого ЗМІ серія КВ № 22895-12795Р від 11.08.2017 року)

Журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б») з технічних наук (спеціальності: 144. Теплоенергетика, 161. Хімічні технології та інженерія, 172. Телекомунікації та радіотехніка) відповідно до Наказу МОН України від 17.03.2020 № 409 (додаток 1), 121. Інженерія програмного забезпечення, 123. Комп'ютерна інженерія, 126. Інформаційні системи та технології, 151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 275. Транспортні технології (за видами) відповідно до Наказу МОН України від 02.07.2020 № 886 (додаток 4)

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus International (Республіка Польща)

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2022

ЗМІСТ

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Білаш Б.О., Лисенко О.М.

БЕЗПОМИЛКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ КВАНТОВОГО СТАНУ БЕЛЛА
У КВАНТОВІЙ КРИПТОГРАФІЇ.....1

Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Гуйда О.Г., Фуртат О.В., Фуртат С.О., Сушин І.О.

ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ЕКСПРЕС-СИНТЕЗУ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕХАТРОННИХ ПРИСТРОЇВ МОБІЛЬНИХ
СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ..... 11

Лихошерстов Д.О., Лебедев Д.Ю.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ НА ВІДЕОРЕДІ
ЗАСОБАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ..... 20

Уривський Л.О., Шмігель Б.О.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ БЕЗПРОВОДОВИХ
КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ..... 27

Хапченко О.В., Лисенко О.М.

МОДИФІКОВАНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТИФЛОТЕХНІЧНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АРХІТЕКТУРИ РОЗРОБЛЮВАНОГО
НАВІГАЦІЙНОГО РІШЕННЯ.....33

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Антонюк Д.С., Лабенський В.А., Медведєв В.В., Новачук Р.О.

ПРОЕКТУВАННЯ СИМУЛЯТОРА УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМ ПОРТФЕЛЕМ
ОБЛІГАЦІЙ ВНУТРІШНЬОЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЗИКИ.....43

Батюк Л.В., Кізілова Н.М.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ БАЗ ДАНИХ І ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ МАСИВІВ
МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ53

Глухова Н.В.

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПІЗНАННЯ В СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ
НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ..... 58

Горбачук В.М., Лупей М.І., Ніколенко Д.І., Дунаєвський М.С., Сулейманов С.-Б., Батіг Л.О.

ПРОЦЕСИ ГЕНЕРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ДАНИХ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....64

Єманов В.В., Споришев К.О., Онопрієнко О.С.

МЕТОД БАГАТОФАКТОРНОГО ВИБОРУ ЕКСПЕРТІВ ЗА МАКСИМУМОМ
КОЕФІЦІЄНТА КОМПЕТЕНТНОСТІ.....73

Жученко Л.К.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИПАЛЮВАННЯ
ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ..... 81

Жученко О.А., Коротинський А.П., Цапар В.С., Федотов В.В.

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ КЛАСИФІКАТОР АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ
ОБРОБКИ ДОКУМЕНТІВ..... 86

Карпович І.М., Гладка О.М., Калашніков В.І.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ
ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ЯК СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ.....93

Кирийчук Д.Л., Болотін О.А., Ляшенко О.М.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ
АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ТРАКТІВ ЗВУКОВОЇ АПАРАТУРИ.....100

Кондратець В.О., Мацуй А.М., Аргюхов А.М.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ РАДІОПЕРЕДАВАЧА ІНФОРМАЦІЇ З ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО
ОБЕРТОВОГО БАРАБАННОГО ОБ'ЄКТА МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ.....107

Лазурчак Л.В., Дорошенко М.В. КОМП'ЮТЕРНА ПІДТРИМКА ВИВЧЕННЯ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ «МЕТОДИ ОБЧИСЛЕНЬ».....	115
Нікітенко Є.В., Гуйда О.Г. ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНОГО ЗАКОНУ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ.....	121
Новак Д.С., Мошенський А.О., Олещенко Л.М., Медведєв М.Г., Лісовець С.М. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ.....	129
Пахомова В.М., Маслак А.В. ВИЗНАЧЕННЯ АТАК КАТЕГОРІЇ PROBE З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ ДАНИХ KDDCUP99 ТА НЕЙРОНЕЧІТКОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	135
Погорєлова Н.Є., Тірон-Воробйова Н.Б. ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ: НОВІ СТАНДАРТИ КОМПЕТЕНЦІЙ ТА ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ПЛАВСКЛАДУ З НАЛАГОДЖЕННЯМ ОСУЧАСНЕНИХ ВИМОГ ДО МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ.....	141
Сікора О.В. ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ.....	146
Стаценко Д.В., Злотенко Б.М., Демішонкова С. А., Стаценко В.В. ВИКОРИСТАННЯ І2С У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИМІЩЕНЬ.....	153
Ткачук А.Г. ГРАДУЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	159
Хлопенко М.Я. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ СУДНОВОЇ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ ПРИ ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ З РОБАСТНИМ РЕГУЛЯТОРОМ.....	164
Хорошевська І.О., Віннікова Є. О. СПЕЦИФІКА ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИПЛІКАЦІЙНОГО ВИДАННЯ.....	170
Ярошенко М.О. ЗБІЛЬШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ОДНОЧАСНО ЗАДІЯНИХ ПРОМЕНІВ ЗОНДУВАННЯ У РЕЙТРЕЙСИНГОВІЙ АБЕРОМЕТРІЇ ОКА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ.....	176
ЕНЕРГЕТИКА	
Баранюк О.В., Воробйов М.В., Рябцун Р.С. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ КОТЛА ДКВР-10-13 ПРИ ДОДАВАННІ ВОДНЮ ДО ПРИРОДНОГО ГАЗУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ.....	183
Беднарська І.С., Риндюк Д.В. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТОПОРНО-РЕГУЛЮЮЧОГО КЛАПАНА АЕС З УРАХУВАННЯМ ГАЗОДИНАМІКИ РОБОЧОГО ТІЛА.....	193
Бетін Ю.О., Абдулін М.З. ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТОПКОВОГО ПРОЦЕСУ У ПЕЧАХ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ДІАПАЗОНІ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР.....	199
Босий М.В. СПРОЩЕНА МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ГІДРАТОУТВОРЮЮЧОГО ШАРУ ГАЗОГІДРАТУ МЕТАНУ.....	205
Кірсанова В.В., Биковець Н.П., Чиж С. Г. ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ І МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ.....	210

Кочмарський В.З., Костюк О.В., Тимейчук О.Ю., Куба В.В. ДИНАМІКА ВІДКЛАДЕНЬ ТА ВПЛИВ НА ЇХ РІСТ ІМПУЛЬСНОГО РЕЖИМУ ТЕЧІЇ ОХОЛОДНОЇ ВОДИ.....	216
Прокопенко О.О., Антоненко Н.С., Гулей О.Б. МЕТОД ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ.....	222
Чередніков В.М., Череднікова О.В. ПІДГОТОВКА ДО ВИПРОБУВАНЬ З СТВОРЕННЯМ ПРОГРАМИ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ГЕЛІКОПТЕРА НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ.....	228

МЕТАЛУРГІЯ

Босий М.В. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАТВЕРДІВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ ПРИ ІНТЕНСИВНОМУ ТЕПЛООБМІНІ.....	236
Куц Г.О., Тесленко О.І. ДОПОВНЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ.....	244

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Голуб Л.С. РОЗРОБКА СКЛАДУ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ З НИЗЬКОЮ ТОКСИЧНІСТЮ.....	251
Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М. ВПЛИВ ЗМІНИ СИРОВИНИ НА ЯКІСТЬ ТВЕРДОГО ТУАЛЕТНОГО МИЛА.....	256
Лебедєв В.В., Кривобок Р.В., Черкашина Г.М., Близнюк О.В., Лісачук Г.В., Волощук В.В. РОЗРОБКА ТА ОДЕРЖАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТИВ ДЛЯ ПОГЛИНАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	261
Мовчанюк О.М. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ШВИДКІСТЬ ПРОСОЧЕННЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ПЮР-ПАК.....	266
Сухий К.М., Фролова Л.А., Шунькін І.С. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТИВ ПОЛІВІНІЛОВИЙ СПИРТ-А-ФЕООН.....	270

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Любич В.В., Карпенко В.П., Железна В.В., Новіков В.В. ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПЕЧИВА ПІСОЧНОГО З ДОБАВЛЯННЯМ БОРОШНА ГАРБУЗОВОГО РІЗНИХ СОРТИВ.....	275
Пенкіна Н.М., Татар Л.В., Соколова Є.Б., Скирда О.Є. КВАЛІМЕТРИЧНА ОЦІНКА ПИВА «СМАРАГД».....	280

ТРАНСПОРТ

Gryshchuk O.K., Petryk A.V., Litus T.M. METHODOLOGY OF IMPLEMENTING THE PRINCIPLES OF SYSTEM ANALYSIS IN STRATEGIES FOR IMPLEMENTING MULTI-STAGE CUSTOMS AND LOGISTICS PROCESSES.....	285
Коваленко Л.О., Гунько І.С. АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ТА ВІТЧИЗНЯНОГО ДОСВІДУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	295
Мельник О.М., Волошин А.О., Онищенко О.А., Логінов О.В., Шебрина О.В. ОГЛЯД ПРОЦЕСУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ОСНАЩЕННЯ СУДЕН СИСТЕМАМИ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД.....	299
Petrov L.M., Kishianus I.V., Petrik Yu.M. DISCOVERY OF THE UNACCOUNTED INFLUENCE OF A COMPRESSED TIRE ON CHANGES IN TIRE GRIP COEFFICIENT WHEEL DRIVE WITH ROAD AND WHEEL ACCELERATION MOVEMENT.....	305

Решетков Д.М., Павлова Н.Л. ГЛОБАЛЬНІ ІНІЦІАТИВИ ЩОДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ.....	312
Торопов Б.І., Стрелко О.Г., Грушевська Т.М., Болвановська Т.В. ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОСНАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ.....	318
Фалович Н.М., Верес М.В., Розум Р.І., Буряк М.В., Прогній П.Б., Шевчук О.С. ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА РЕМОНТУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ.....	325
Фоменко Г.Р. ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ПРИРОДНОГО РЕЛЬЄФУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНУ КЛАСИФІКАЦІЮ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ.....	330
Чуйко С.П., Шумляківський В.П. ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ І ПРЕДМЕТ РОЗВИТКУ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ АВТОБУСНИХ МІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	337
БУДІВНИЦТВО	
Семичаєвський С.В., Присяжнюк В.В., Осадчук М.В. ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ І МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗАХИСНОГО СПОРЯДЖЕННЯ ПОЖЕЖНИКА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	343
Семичаєвський С.В., Присяжнюк В.В., Якіменко М.Л. ЩОДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗАХИСНОГО СПОРЯДЖЕННЯ ПОЖЕЖНИКА.....	348
Семичаєвський С.В. ПРО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКА ЗАХИСНОГО – ТЕПЛОВІДБИВНОГО.....	354
Чичуліна К.В. ПІДГОТОВКА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ АРМОВАНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК.....	359
ЕЛЕКТРОНІКА	
Борисов Г.О., Трапезон К.О. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВИ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	365
Оксанич А.П., Когдась М.Г., Палагін В.А., Донських О.В., Ситник В.Ю., Артеменко В.О. РОЗРОБКА СЕНСОРНИХ МАТРИЦЬ НА ПОРУВАТИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ.....	372
Світловський Є.В., Трапезон К.О. АНАЛІЗ МОВНИХ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ З ЧАСТКОВИМ ЗАШУМЛЕННЯМ.....	380
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....	386

CONTENTS

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Bilash B.O., Lysenko O.M.

ERROR-FREE DEFINITION OF THE QUANTUM BELL STATE IN QUANTUM CRYPTOGRAPHY...1

Lysenko O.I., Tachinina O.M., Guida O.G., Furtat O.V., Furtat S.O., Shushin I.O.

ENGINEERING METHOD OF EXPRESS SYNTHESIS OF A DIGITAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR PRECISION MECHATRONIC DEVICES OF MOBILE SENSOR NETWORKS.....11

Lykshosherstov D.O., Lebedev D.Yu.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WAYS OF IMAGE DETERMINATION ON A RANGE OF VIDEOS USING MACHINE LEARNING TOOLS.....20

Uryvsky L.O., Shmigel B.O.

EFFICIENCY EVALUATION OF RESOURCES IN WIRELESS COMMUNICATION CHANNELS....27

Khapchenko O.V., Lysenko O.M.

MODIFIED CLASSIFICATION OF TIFLOTECHNICAL NAVIGATION SYSTEMS AND JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF ARCHITECTURE OF THE DEVELOPED NAVIGATION SOLUTION33

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Antoniuk D.S., Labenskyi V. A., Miedviediev V. V., Novachuk R.O.

DESIGN OF THE SIMULATOR FOR MANAGING A PERSONAL PORTFOLIO OF DOMESTIC GOVERNMENT LOAN BONDS.....43

Batyuk L.V., Kizilova N.N.

ANALYSIS OF MODERN DATABASES AND INFORMATION SYSTEMS FOR PROCESSING ARRAYS OF MEDICAL INFORMATION 53

Glukhova N.V.

ANALYSIS OF THE APPLICATION OF COGNITION METHODS IN INTERNET OF THINGS SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS..... 58

Gorbachuk V.M., Lupei M.I., Nikolenko D.I., Dunaievskyi M.S., Suleimanov S.-B., Batih L.O.

DIGITAL DATA GENERATION PROCESSES AND THEIR APPLICATION.....64

Yemanov V.V., Sporishev K.O., Onoprienko O.S.

THE METHOD OF MULTIFACTORIAL SELECTION OF EXPERTS BY THE MAXIMUM COEFFICIENT OF COMPETENCE.....73

Zhuchenko L.K.

STATEMENT OF THE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL OF THE FORMATION PROCESS OF CARBON PRODUCTS 81

Zhuchenko O.A., Korotynskyi A.P., Tsapar V.S., Fedotov V.V.

GENERAL NETWORK CLASSIFIER OF AUTOMATION DOCUMENT PROCESSING SYSTEMS.....86

Karpovich I.M., Hladka O.M., Kalashnikov V.I.

MODELING OF INFORMATION SECURITY RISK ANALYSIS PROCESSES AS A WAY OF COST OPTIMIZATION93

Kyryichuk D.L., Bolotin O.A., Liashenko O.M.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR TESTING THE QUALITY OF ANALOG AND DIGITAL PATHS OF SOUND EQUIPMENT.....100

Kondratets V.O., Matsui A.M., Artiukhov A.M.

OPTIMIZATION OF RADIO TRANSMITTER INFORMATION OPERATION FROM A LARGE-SIZED ROTATING DRUM OBJECT BY DYNAMIC PROGRAMMING METHOD.....107

Lazurchak L.V., Doroshenko M.V.

COMPUTER SUPPORT FOR STUDYING THE EDUCATIONAL COMPONENT "METHODS OF CALCULATIONS".....115

Nikitenko Ye.V., Guida O.G.

INFORMATION SYSTEM OF SIMULATION OF THE BASIC LAW OF THE DYNAMICS OF ROTATIONAL MOTION.....121

Novak D.S., Moshenskyi A.O., Oleshchenko L.M., Medvedev M.H., Lisovets S.M. DEVELOPMENT OF MOBILE ROBOT CONTROL SOFTWARE.....	129
Pakhomova V.M., Maslak A.V. NETWORK ATTACK DETECTION USING KDDCUP99 DATABASE AND NEURON FUZZY TECHNOLOGY.....	135
Pohorielova N.Ye., Tiron-Vorobiova N.B. DIGITALIZATION: NEW STANDARDS OF COMPETENCE AND INCREASING THE QUALIFICATION OF FLOATING STAFF WITH IMPROVEMENT OF MODERN REQUIREMENTS TO THE MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS.....	141
Sikora O.V. OBJECT-ORIENTED APPROACH TO SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS.....	146
Statsenko D.V., Zlotenko B.M., Demishonkova S.A., Statsenko V.V. USING I2C IN COMPUTER SYSTEMS OF INDOOR TEMPERATURE MONITORING	153
Tkachuk A.H. GRADUATING CHARACTERISTICS OF THE SENSITIVE ELEMENT OF THE OPTICAL DEVICES STABILIZATION SYSTEM BASED ON A ROBOTIC PLATFORM.....	159
Khlopenko M.Ya. MODELING AND OPTIMAL CHOICE OF STARTING CHARACTERISTICS IN THE ELECTRIC DRIVE OF A SHIP COMPRESSED AIR COMPRESSOR UNIT UNDER FREQUENCY CONTROL WITH A ROBUST CONTROLLER.....	164
Khoroshevska I.O., Vinnikova Ye.O. SPECIFICS OF SOFTWARE CHOICE FOR CREATING AN ANIMATED PUBLICATION.....	170
Yaroshenko M.O. INCREASE OF THE AMOUNT OF SIMULTANEOUSLY USED PROBING BEAMS FOR EYE'S RAYTRACING ABERROMETRY WITH NEURAL NETWORK	176

POWER ENGINEERING

Baranyuk A.V., Vorobiov M.V., Ryabtsun R.S. DETERMINATION OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE DKVR-10-13 BOILER OPERATION IN ADDING HYDROGEN TO NATURAL GAS BY MATHEMATICAL MODELING.....	183
Bednarska I.S., Rindyuk D.V. DETERMINATION OF THE STRESSED AND DEFORMED STATE OF THE STOPPING AND REGULATING VALVE OF A NPP TAKING INTO ACCOUNT THE GAS DYNAMICS OF THE WORKING BODY.....	193
Bietin Yu.O., Abdulin M.Z. FEATURES OF THE ORGANIZATION OF THE FURNACE PROCESS IN LOW-POWER FURNACES OPERATING IN THE LOW-TEMPERATURE RANGE.....	199
Bosyi M.V. SIMPLIFIED TEMPERATURE FIELD RESEARCH MODEL HYDRATE-FORMING LAYER OF METHANE GAS HYDRATE.....	205
Kirsanova V.V., Bykovets N.P., Chszh S.H. ELECTROCHEMICAL PROCESSES AND POSSIBILITIES OF ALTERNATIVE ENERGY IN UKRAINE.....	210
Kochmarskii V.Z., Kostyuk O.P., Tymeichuk O.Y., Kuba V.V. DYNAMICS OF SEDIMENTS AND INFLUENCE ON THEIR GROWTH OF THE PULSE MODE OF COLD WATER FLOW.....	216
Prokopenko O.O., Antonenko N.S., Huley O.B. METHOD OF PARAMETRIC DIAGNOSIS OF GAS-COMPRESSOR EQUIPMENT OF COMPRESSOR STATION.....	222
Cherednikov V.M., Cherednikova O.V. PREPARATION FOR TESTS WITH THE CREATION OF A PROGRAM FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF HELICOPTER INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON THE LABORATORY STAND.....	228

METALLURGY

Bosyi M.V.

MATHEMATICAL MODELING OF THE SOLIDIFICATION AND COOLING OF ALLOY WITH INTENSIVE HEAT EXCHANGE.....236

Kuts H.O., Teslenko O.I.

ADDITION OF METHODOLOGICAL PROVISIONS FOR DETERMINING THE TOTAL ENERGY INTENSITY OF PRODUCTS OF INDUSTRIAL PRODUCTION..... 244

CHEMICAL TECHNOLOGY

Holub L.S.

DEVELOPMENT OF COMPOSITION OF PAINT COATING WITH LOW TOXICITY..... 251

Yefimova V.G., Pilipenko T.M.

THE INFLUENCE OF CHANGES IN RAW MATERIALS ON THE QUALITY OF SOLID TOILET SOAP..... 256

Lebedev V.V., Kryvobok R.V., Cherkashina G.M., Bliznyuk O.V., Lisachuk G.V.

DESIGN AND RESEARCHING POLYMER COMPOSITES TO ABSORB ELECTROMAGNETIC RADIATION.....261

Movchaniuk O.M.

INFLUENCE OF WATER TEMPERATURE ON THE RATE OF IMPREGNATION OF PURE-PAK PACKAGING WASTE.....266

Sukhyi K.M., Frolova L.A., Shunkin I.S.

STUDY OF PROPERTIES OF POLYVINYL ALCOHOL-A-FE00H COMPOSITES..... 270

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Liubych V.V., Karpenko V.P., Zheliezna V.V., Novikov V.V.

TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SHORTBREAD COOKIE QUALITY WITH PUMPKIN FLOUR OF DIFFERENT VARIETIES.....275

Penkina N.M., Tatar L.V., Sokolova Ye.B., Skyrda O.Ye.

QUALIMETRIC EVALUATION OF "SMARAGD" BEER.....280

TRANSPORT

Gryshchuk O.K., Petryk A.V., Litus T.M.

METHODOLOGY OF IMPLEMENTING THE PRINCIPLES OF SYSTEM ANALYSIS IN STRATEGIES FOR IMPLEMENTING MULTI-STAGE CUSTOMS AND LOGISTICS PROCESSES.....285

Kovalenko L.A., Hunko I.S.

ANALYSIS OF EUROPEAN AND NATIVE EXPERIENCE IN ENSURING ROAD SAFETY.....295

Melnyk O.M., Voloshin A.O., Onishchenko O.A., Lohinov O.V., Shchebrina O.V.

OVERVIEW OF THE MODERNIZATION PROCESS AND BALLAST WATER TREATMENT SYSTEMS FOR SHIPS.....299

Petrov L.M., Kishianus I.V., Petryk Yu.M.

DISCOVERY OF THE UNACCOUNTED INFLUENCE OF A COMPRESSED TIRE ON CHANGES IN TIRE GRIP COEFFICIENT WHEEL DRIVE WITH ROAD AND WHEEL ACCELERATION MOVEMENT.....305

Reshetkov D.M., Pavlova N.L.

GLOBAL INITIATIVES FOR DECARBONIZATION OF MARITIME TRANSPORT..... 312

Toropov B.I., Strelko O.H., Hrushevska T.M., Bolvanovska T.V.

APPLICATION OF SYSTEM APPROACH IN RESEARCH OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF TECHNICAL STATIONS.....318

Falovych N.M., Veres M.V., Rozum R.I., Buriak M.V., Prohnii P.B., Shevchuk O.S.

OVERVIEW OF EQUIPMENT FOR DIAGNOSTIC AND REPAIR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES..... 325

Fomenko H.R.

FEATURES OF THE INFLUENCE OF NATURAL RELIEF ON THE FUNCTIONAL CLASSIFICATION OF CITY STREETS AND ROADS.....330

Chuiko S.P., Shumlyakivsky V.P. AIN PARAMETERS AND THE SUBJECT OF THE ROUTE NETWORK DEVELOPMENT OF THE BUS CITY TRANSPORTATION.....	337
--	-----

CONSTRUCTION

Semychayevsky S.V., Prisyajnyuk V.V., Osadchuk M.V. JUSTIFICATION OF QUALITY INDICATORS AND METHOD OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF FIREFIGHTER'S PROTECTIVE EQUIPMENT DURING REAL FIRE TESTS.....	343
---	-----

Semychayevsky S.V., Prisyajnyuk V.V., Yakimenko M.L. ON EXPERIMENTAL RESEARCH OF OPERATING CHARACTERISTICS OF SAMPLES OF SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT OF A FIREFIGHTER.....	348
---	-----

Semychayevsky S.V. ON EXPERIMENTAL RESEARCH OF SAMPLES OF PROTECTIVE – HEAT REFLECTIVE FIREFIGHTER CLOTHING.....	354
---	-----

Chichulina K.V. PREPARATION AND CONDUCT OF EXPERIMENTAL TESTS OF REINFORCED WOODEN BEAMS.....	359
--	-----

ELECTRONICS

Borisov G.O., Trapezon K.O. STUDY OF THE FEATURES OF THE CREATION OF ELECTRONIC LANGUAGE RECOGNITION SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORKS.....	365
---	-----

Oksanych A.P., Kogdas M.G., Palagin V.A., Donskikh O.V., Sytnyk V.Yu., Artemenko V.O. DEVELOPMENT OF SENSOR MATRICES ON POROUS SEMICONDUCTORS FOR GAS CONCENTRATION CONTROL.....	372
---	-----

Svitlovskiy Ye.V., Trapezon K.O. ANALYSIS OF SPEECH ACOUSTIC SIGNALS IN COMMUNICATION SYSTEMS WITH PARTIAL NOISE.....	380
--	-----

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	386
---------------------------------------	-----

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.3 (045)

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/01>**Білаш Б.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лисенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

БЕЗПОМИЛКОВЕ ВИЗНАЧЕННЯ КВАНТОВОГО СТАНУ БЕЛЛА У КВАНТОВІЙ КРИПТОГРАФІЇ

У статті розглянуто один із найбільш перспективних методів сучасної квантової криптографії – метод квантового розподілу ключів QKD (Quantum Key Distribution) на основі пар станів Белла квантової запутаності. Запропоновано узагальнену квантову схему для визначення чотирьох станів Белла третіми особами без знищення оригінального стану, яка дозволяє третім сторонам взаємодіяти окремо з кожним кубітом пари Белла. При цьому вирішувалися два завдання одночасно: перевірка умови «визначення стану» Белла, тобто чи можливо отримати повну інформацію про оригінальні кубіти стану Белла від довірених сторін; з іншого боку, перевірка умови «неруйнівний стан», тобто, чи можливо не руйнувати початковий стан Белла. Оскільки кожен кубіт Белла надсилається окремим шляхом, що робить можливість відстані між кубітами безкінечно великою, це не дозволило застосування відомої схеми, запропонованої Гуптою та ін. Тому використано перевагу заздалегідь підготовлених для взаємодії запутаних станів, які вперше були розглянуті Пейджом та ін. і розвинуті в цій статті. Для кожного кубіту окремо визначається умова “фази” та “парності”, для яких створені окремі квантові пари між третіми сторонами. Через те, що кубіти стану Белла можуть знаходитись далеко один від одного при передачі інформації, треті сторони не можуть напряму взаємодіяти з їх кубітами, але можуть обмінюватись класичними бітами після вимірювання своїх кубітів. Для повноцінного отримання інформації третіми сторонами в статті запропоновано нову універсальну схему телепортації квантових вентилів, яка була спрощена та адаптована для умов визначення станів Белла. Зазначене рішення забезпечує 100% ймовірність визначення будь-якого стану Белла для ідеального випадку без шумів. Дана схема реалізована та апробована на квантовому комп’ютері IonQ.

Ключові слова: квантові обчислення, квантова криптографія, квантовий криптоаналіз, стан Белла, кубіти.

Постановка проблеми. Загально відомо, що вирішення проблеми збереження даних завжди було актуальним для людства. Особливе місце в цьому займає збереження інформації при спілкуванні між двома сторонами. Для цього людська спільнота використовує криптографію, де дві довірені сторони кодують інформацію, яка представлена наборами класичних бітів «0» і «1», іншим набором класичних бітів. У квантовій криптографії аналогічно класичній дві довірені сторони обмінюються інформацією, яка представлена замість наборів класичних бітів квантовими бітами (кубітами). Іншими словами, у квантовій криптографії кубіти використовуються не як

джерела інформації, а лише як спосіб кодування класичних наборів бітів і як носії інформації. Протягом останніх десятиліть одним із найбільш перспективних методів сучасної квантової криптографії є метод квантового розповсюдження ключів QKD (Quantum Key Distribution), заснований на законах квантової механіки. Першим відомим протоколом QKD є BB84 [1], який використовує для кодування даних чотири квантових стани фотонів на основі двох базисів з використанням поляризаційних станів світла. Інший відомий протокол E91 [2] заснований на квантовій запутаності [3, 4]. У цій роботі нас буде цікавити квантовий розподіл ключів QKD на основі пар станів

Белла квантової заплутаності. Однак, насамперед, необхідно перевірити, чи справді ці пари захищені від втручання, іншими словами, необхідно провести квантовий криптоаналіз. Згідно з теоремою про відсутність клонування [5] неможливо скопіювати будь-який квантовий стан. Якщо дві довірені сторони збираються обмінюватися інформацією, вони можуть закодувати класичний біт «0» або «1» у певні окремі кубіти з різними станами. Однак, якщо третя, ненадійна, сторона знає метод кодування, вона може декодувати довірений кубіт, щоб визначити вихідний стан, при цьому відсутня квантова перевага. Однак, її можна отримати за допомогою заплутаних станів. Якщо довірені сторони використовують 2 кубіти для кодування 2 класичних бітів, вони можуть ділитися цими кубітами різними фізичними шляхами. Ці шляхи можуть бути нескінченно далекі один від одного. Одним із можливих заплутаних станів є стани Белла, які представлені двома кубітами. Кожні два класичні біти можна перевести в квантову пару Белла. Щоб визначити ці стани Белла, довірені сторони повинні використовувати квантове вимірювання стану Белла (Bell-state measurement, BSM), в результаті чого вони можуть отримати класичні біти. Навіть якщо третя сторона знає про метод кодування, їй потрібно використовувати BSM для визначення стану Белла, після чого стан Белла буде знищено. З іншого боку, якщо третя сторона намагається будь-яким чином вплинути на стани Белла, вона може їх знищити, про що стане відомо довіреним особам. Однак третя сторона може спробувати визначити стан Белла, не руйнуючи його шляхом взаємодії з кубітами стану Белла. У цій роботі авторами розглянуто цей сценарій, а саме, чи можливо отримати інформацію про стани Белла без їх знищення третіми особами таким чином, щоб при цьому довірені сторони не дізналися про це. Тому у подальшому вирішуватимуться два завдання одночасно: перевірка умови «визначення стану Белла», тобто чи можливо отримати повну інформацію про оригінальні кубіти стану Белла від довірених сторін; з іншого боку, перевірка умови «неруйнівний стан», тобто, чи можливо не руйнувати початковий стан Белла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У 2005 році Гуптою та ін. було запропоновано квантову схему для вирішення цієї задачі [6, 7], яка була експериментально апробована [8]. У цих роботах автори пропонують використовувати 2 кубіти для взаємодії з парами стану Белла. Кожен кубіт використовується для визначення «парності» та «фазової» різниці між двома кубі-

тами стану Белла. Поєднуючи результати взаємодії цих двох кубітів, можна визначити будь-який стан Белла, не руйнуючи його. Кожен перевіірочний кубіт взаємодіє з обома кубітами стану Белла. В подальшому у цій роботі буде показано принципово інші підхід та схему визначення станів Белла, згідно яким кожен кубіт з довіреної пари стану Белла взаємодітиме з перевіірочними кубітами, підготовленими спеціально для нього.

У 2020 році Пейдж та ін. запропонували квантові ігри для демонстрації неklasичних властивостей станів квантової заплутаності, які називаються Delocalized-Interactions [9]. Зокрема, ігровий сценарій «розрізнення стану Белла» (Bell-Discrimination, BD) можна використовувати для визначення певного стану Белла. Основна ідея полягає в тому, щоб продемонструвати наявність або відсутність кубіта (логічний «0» або «1»). Таким чином, автори використовують різницю парності між станами Белла. Однак, вони не розрізняють різницю фаз між станами Белла, що не входило в їх завдання.

Постановка завдання. У цій роботі авторами пропонується інший підхід для визначення станів Белла без їх руйнування. Два кубіти, які містять будь-який стан Белла, розділені просторово. Для визначення станів Белла пропонується використання двох додаткових наборів кубітів, які будуть окремо взаємодіяти лише з одним кубітом стану Белла. Ці набори кубітів не можуть знищувати початкові стани Белла, тобто вони повинні відповідати умові «неруйнівний стан». Крім того, вони не можуть взаємодіяти один з одним, однак, після вимірювання класичні біти можуть бути спільно використані з метою визначення, який стан Белла був застосований, тобто вони повинні відповідати умові «розрізнення станів Белла». Цей підхід в подальшому буде реалізовано авторами у вигляді квантової схеми, яка пройде також апробацію на реальному квантовому комп'ютері IonQ. Це може також стати і основою для розробки нових протоколів квантового зв'язку.

Таким чином, підсумовуючи, зазначимо, що подальший сценарій реалізації в цій роботі запропонованого авторами підходу полягатиме спочатку у висвітленні його відрізняльних особливостей від відомого, створенні авторами квантової схеми його реалізації, яка використовуватиме кілька попередньо спільних заплутаних станів залежно від умов «парності» та «фази». При цьому кожна із умов буде розглянута авторами в окремому підрозділі. Також будуть висвітлені обмеження, які виникли під час створення

квантової схеми і показано, як телепортація квантових вентилів допоможе подолати ці обмеження шляхом впровадження схеми телепортації квантових вентилів до квантової схеми згідно основного підходу. Після цього буде викладено і обговорено отримані результати реалізації запропонованого рішення з використанням квантового комп'ютера IonQ.

Виклад основного матеріалу. Основний матеріал буде містити наступні підрозділи: аналіз існуючого та запропонованого сценаріїв вирішення задачі, узагальнена квантова схема, визначення умови “парності”, визначення умови “фази”, квантова телепортація CNOT вентиля, спрощення запропонованої схеми та результати дослідження.

Аналіз. Тепер проведемо аналіз існуючого та запропонованого сценаріїв для вирішення задачі, яка буде розв'язуватися в цій роботі. Розглянемо дві сторони, Чарлі (Charlie, C) і Девід (David, D). С хоче надіслати інформацію, представлену класичними бітами, до D. Як показано у вступній частині, С використовуватиме квантовий розподіл ключів, розділивши свій набір бітів по два та закодувавши їх у пари Белла, після чого надсилає кожний кубіт до D різними шляхами. Стан Белла є найпростішим, але водночас максимально заплутаним станом [3, 4]. Для його визначення необхідно провести вимірювання стану Белла (BSM), після чого будь-якому з можливих станів Белла буде відповідати певна комбінація двох класичних бітів. Відповідно до [5] будь-який квантовий стан, у тому числі стан Белла, не можна скопіювати. У цьому випадку, якщо третя, ненадійна сторона, намагається отримати інформацію від С, ця сторона повинна виконати процедуру вимірювання BSM, отримати класичні біти, підготувати новий стан Белла і надіслати його D. У цьому сценарії ненадійна сторона повинна мати два кубіти стану Белла разом, тобто ці кубіти повинні бути досить близько один до одного. В іншому випадку третя сторона не може отримати будь-яку інформацію про стан Белла. Згідно запропонованому сценарію С надсилає свої кубіти до D окремо двома різними шляхами. Відстань між цими шляхами може бути нескінченно великою. Однак, врешті-решт, D повинен отримати кубіти С з різних шляхів і виконати вимірювання стану Белла (BSM), щоб визначити класичні біти. Тоді, якщо два кубіти нескінченно віддалені один від одного, ненадійна сторона не може взаємодіяти з двома кубітами стану Белла разом і одночасно. Ще однією складовою вирішуваної задачі для довірених сторін є збереження початкового стану Белла без його руйнування. З [6, 7] вже відомо, що

будь-яка третя сторона може отримати інформацію про стан Белла, не руйнуючи його. На відміну від наведеного вище відомого сценарію згідно запропонованому С надсилає свої кубіти до D окремо двома різними шляхами. У ідеальному випадку без шумів, якщо цей стан Белла не було знищено третьою стороною, після процедури вимірювання BSM класичні біти у D будуть такими ж, як і біти, закодовані С. Для цього випадку схему, запропоновану Гуптою [6, 7], неможливо реалізувати, оскільки перевіряючі кубіти повинні взаємодіяти з обома кубітами стану Белла разом. Однак, кожен кубіт С із пари стану Белла йде до D різними нескінченно розділеними шляхами. Згідно запропонованому сценарію представимо ще дві сторони, Алісу (Alice, A) і Боба (Bob, B), які можуть взаємодіяти лише з одним кубітом стану Белла С відповідно. Розглянемо ситуацію, наведену на Рис. 1, де А і В можуть мати свої кубіти і взаємодіяти з кубітами С незалежно, але вони не хочуть порушувати вихідний стан С. Крім того, А і В не можуть взаємодіяти між своїми кубітами під час процесу, але вони можуть порівнювати свої результати в класичних бітах після вимірювання своїх кубітів. Після взаємодії D отримує кубіти С і реалізує процедуру вимірювання BSM для кубітів С, щоб розрізнити та визначити вихідні класичні біти С.



Рис. 1. Схематичне зображення взаємодії сторін А – D згідно запропонованому сценарію

Очевидно, що А і В заборонено копіювати стани кубітів С згідно з теоремою про заборону клонування [5]. Уявімо наступну ситуацію. А і В хочуть перевірити стан Белла С. Їх перевіряючі кубіти певним чином взаємодітимуть із кубітами стану Белла С. Якщо розглянути випадок парності стану Белла С, тобто, він знаходиться в станах $|\Phi^+\rangle$, $|\Phi^-\rangle$ (парність), кожен перевіряючий

кубіт з A і B залишиться незмінним. Однак, якщо стан Белла знаходиться в станах $|\Psi^+\rangle$, $|\Psi^-\rangle$ (непарний паритет), один перевіряючий кубіт A або B буде випадковим чином перевернуто. Аналогічно, якщо A і B хочуть перевірити фазовий стан стану Белла, який знаходиться в станах $|\Phi^+\rangle$, $|\Phi^-\rangle$, тобто кубіти знаходяться в одній фазі, будь-які перевіряючі кубіти A і B залишаться незмінними. Однак, якщо стан Белла знаходиться в станах $|\Phi^-\rangle$, $|\Psi^-\rangle$, тобто кубіти знаходяться в різних фазах, один перевіряючий кубіт A або B буде перевернуто випадковим чином. Ця квантова особливість заснована на певних залежностях між двома кубітами стану Белла. У [9] автори показали потужність попередньо заплутаних квантових станів. A і B можуть підготувати між собою попередньо спільні заплутані стани. Після цього A і B незалежно взаємодіють між своїми кубітами та кубітами C . У нашому випадку A і B використовують більше одного попереднього спільного заплутаного стану. Наприклад, перша пара кубітів із попередньо спільним заплутаним станом може визначати умову «парності», друга пара може визначати умову «фази». Таким чином, A і B можуть реалізувати визначення стану Белла. Однак, оригінальні кубіти стану Белла C неможливо виміряти, змінити або знищити. Тобто, має бути виконана умова «неруйнівний стан». Після взаємодії A і B можуть вимірювати свої кубіти та обмінюватися вимірними результатами у формі класичних бітів для визначення стану Белла C . З ансамблю всіх можливих комбінацій двох класичних бітів набори певних комбінацій бітів відповідатимуть певним станам Белла. Ці набори будуть представлені пізніше, оскільки встановлення того, як біти будуть обмінюватися між A і B для визначення стану Белла C виходить за рамки цієї роботи. Паралельно вихідні кубіти C досягнуть D без втрати станів. Далі детально пояснимо, як реалізувати цей сценарій.

Узагальнена квантова схема. Представимо розглянутий вище сценарій визначення чотирьох станів Белла за окремими сторонами A і B . Спочатку розділимо запропоновану узагальнену квантову схему на дві незалежні складові, перша з яких визначає умову «парності» для кубітів стану Белла C , а друга – «фазові» умови. Однак, обидві складові мають однакову послідовність дій, наведену на рис. 2.

Крок 1 є підготовчим для A і B , які створюють деякий попередньо спільний заплутаний стан для дослідження стану Белла C . На рис. 2. між A і B є стан Белла $|\Phi^+\rangle$, при цьому на кроці 2, наприклад, C створює стан Белла $|\Phi^+\rangle$. C може підготувати будь-яку іншу пару станів Белла, яка залежить від 2-бітної класичної інформації, яку вона хоче надіслати D . На кроці 3 A і B певним чином взаємодіють з кубітами C , щоб перевірити, який стан Белла надсилається без визначення. Детальніше це буде показано пізніше. На кроці 4 D виконує процедуру вимірювання BSM, щоб визначити, який стан Белла було надіслано з C .

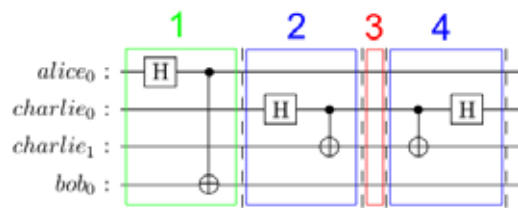


Рис. 2. Запропонована узагальнена схема визначення станів Белла

Спочатку детально розглянемо умову «парності» **Визначення умови «парності».** На рис. 3 представлено схему для визначення умови «парності» для кубітів стану Белла C з [9].

Надалі будемо представляти квантовий стан наступним чином: $|q_3q_2q_1q_0\rangle$ позначатиме, що q_0

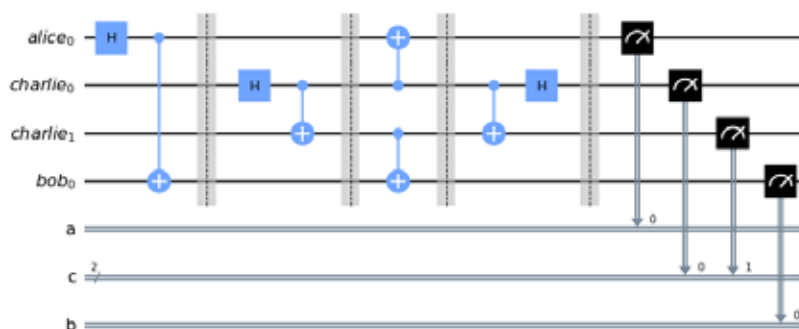


Рис. 3. Схема для визначення умови «парності» [9]

є кубіт А, q_1, q_2 є кубіти С, q_3 є кубіт В відповідно. На кроці 1, коли А і В готують попередньо спільні заплутані стани, тоді глобальний стан буде $\frac{(|0000\rangle + |1001\rangle)}{\sqrt{2}}$. На кроці 2 С готує свій стан Белла. Спочатку розглянемо випадок, коли С готує $|\Phi^+\rangle$ стан Белла. Тоді глобальний стан буде $\frac{(|0000\rangle + |1001\rangle + |1111\rangle + |0110\rangle)}{2}$. На кроці 3 А і В застосовують операцію CNOT між кожним кубітом С у стані Белла та їхніми кубітами перевірки. Тут кубіти С діють як контрольні кубіти. Тоді глобальний стан буде наступним (1):

$$\frac{(|0000\rangle + |1001\rangle + |1111\rangle + |0110\rangle)}{2} \quad (1)$$

Цей результат є точно таким же, як і на попередньому кроці. Потім, коли D виконує вимірювання стану Белла (BSM), результат залишатиметься таким же, як і початковий. Після вимірювання А і В матимуть з 50% ймовірністю результат вимірювання $|00\rangle$ або $|11\rangle$ станів. Той самий результат для випадку коли С готує стан $|\Phi^-\rangle$.

Розглянемо тепер іншу ситуацію, коли С надсилає стан Белла $|\Psi^+\rangle$. Тоді після кроку 2 глобальний стан буде таким: $\frac{(|0010\rangle + |1011\rangle + |0100\rangle + |1101\rangle)}{2}$. Потім після взаємодії між станом Белла С і кубітами А, В за допомогою операції CNOT результуючий стан виглядає наступним чином (2):

$$\frac{(|0011\rangle + |1010\rangle + |1100\rangle + |0101\rangle)}{2} \quad (2)$$

Варто зазначити, що початкові кубіти С залишаються незмінними і коли D виконує процедуру вимірювання BSM, він матиме той самий результат, що й відправлений від С. Примітно, що кубіти А і В змінились. Вимірюючи свої кубіти, А і В мають 50% ймовірність отримати стан $|01\rangle$ або $|10\rangle$. А і В отримують такий самий результат, якщо С підготує стан $|\Psi^-\rangle$. Різні вихідні дані, які А і В отримують для стану Белла з різною парністю, дозволяють А і В розрізнити, чи є стан Белла С парним чи непарним.

Однак, А і В не можуть розрізнити, яку фазу мають стани Белла, тобто вони не можуть роз-

різнити між $|\Psi^+\rangle$ і $|\Psi^-\rangle$ та між $|\Phi^+\rangle$ і $|\Phi^-\rangle$. Щоб вирішити це завдання, вводимо додатковий попередньо спільний заплутаний стан між А і В для роботи з умовою фази стану Белла.

Визначення умови “фази”.

Розглянемо, як за станом Белла визначити стан «фази». Схема, яка реалізує це, наведена на рис. 4. Якщо С надсилає стан $|\Phi^+\rangle$, глобальний стан після кроку 2 буде таким (3):

$$\frac{(|0000\rangle + |1001\rangle + |0110\rangle + |1111\rangle)}{2} \quad (3)$$

У випадку, якщо С надсилає $|\Phi^-\rangle$ стан, глобальний стан після кроку 2 буде наступним (4):

$$\frac{(|0000\rangle + |1001\rangle - |0110\rangle - |1111\rangle)}{2} \quad (4)$$

Тоді, якщо А і В виконують операції CNOT між своїми кубітами як контрольними кубітами і кубітами С, які відрізняються від кроку 3 при визначенні парності, вирази (3), (4) зміняться на відповідні (5), (6) глобальні стани наступним чином:

$$\frac{(|0000\rangle + |1111\rangle + |0110\rangle + |1001\rangle)}{2} \quad (5)$$

$$\frac{(|0000\rangle + |1111\rangle - |0110\rangle - |1001\rangle)}{2} \quad (6)$$

Вираз (5) повністю співпадає з виразом (3), однак, вираз (6) відрізняється від виразу (4). Це вказує на те, що запропонована схема може розрізнити різні фазові умови заданих двох станів Белла. Для випадку (5), коли D виконує процедуру вимірювання BSM, результат є таким самим для випадку «парності». Однак, випадок (6) є більш цікавим. Коли D виконує процедуру вимірювання BSM (але без фізичного вимірювання кубітів), він матиме оригінальний стан Белла $|\Phi^-\rangle$, який підготувала С. Глобальний стан буде наступним: $\frac{(|0010\rangle - |1011\rangle)}{\sqrt{2}}$. Після вимірювання кубітів D він отри-

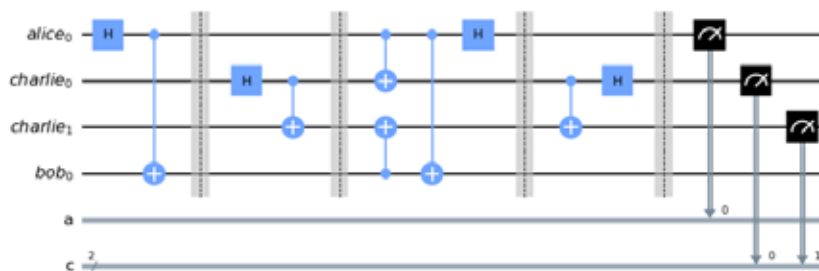


Рис. 4. Схема для визначення умови “фази”

має оригінальні класичні біти, які С хотіла надіслати. Тоді після видалення кубітів від С, кубіти А і В можна представити наступним чином (7):

$$\frac{(|00\rangle - |11\rangle)}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

Як видно, цей стан – це саме $|\Phi^-\rangle$ стан Белла. І очевидно, що для випадку виразу (5) А і В матимуть стан Белла $|\Phi^+\rangle$ після того, як D виміряє стан, який він отримав (8):

$$\frac{(|00\rangle + |11\rangle)}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Щоб точно розрізнити ці два стани, А і В повинні виконати процедуру вимірювання BSM [4, 10], що також виконується на кроці 3 (рис. 4). Іншим важливим моментом є те, що В не обов'язково вимірювати свій кубіт, оскільки результатом вимірювання завжди був би стан $|0\rangle$. Отже, щоб визначити стан «фаз», достатньо виміряти лише кубіт А.

Комбінуючи схеми на рис. 3 та рис. 4, А і В можуть точно розрізнити будь-який стан Белла, не руйнуючи його, що відображено на рис. 5.

Однак, раніше було висловлено припущення, що А і В не можуть безпосередньо взаємодіяти один з одним. Тоді А і В не можуть виконувати процедуру вимірювання BSM між своїми кубітами, як запропоновано вище. Щоб вирішити цю проблему необхідно модифікувати запропоновану схему, щоб не мати взаємодії після початкового спільного використання заплутаних пар.

Квантова телепортація CNOT вентиля. На відміну від стану «парності», який можна спостерігати в класичному світі, стан «фаз» притаманний лише квантовому світу. Вирази (7) і (8) мають однакові власні вектори, але з різними власними значеннями. Після вимірювання ці вектори стану згорнуться до тих самих класичних бітів.

Щоб визначити різницю «фаз», як було сказано в попередньому підрозділі, А і В повинні виконати процедуру вимірювання BSM між своїми кубітами [4, 10]. Однак, їхні кубіти не можуть взаємодіяти один з одним напряму відповідно до умов, які були зазначені раніше. Але після вимірювання А і В можуть обмінятися своїми класичними бітами. Як цю перевагу можна реалізувати? А і В просто повинні виконувати CNOT між своїми кубітами.

У [11] автори показали, як може бути реалізована квантова телепортація. Кінцева її мета полягає в тому, щоб реалізувати взаємодію між двома різними кубітами та перенести результат взаємодії на інші кубіти. Для цієї телепортації автори вимірюють кубіти і за класичним результатом згортання змінюють інші кубіти так само, як телепортація квантового стану [10]. Ця концепція може бути використана для запропонованого методу 2 шляхом обміну класичними бітами між А і В. Аліса та Боб можуть реалізувати вентиль CNOT між собою як квантову телепортацію шляхом вимірювання їхніх кубітів і впливу на інші кубіти, де достатньо для обміну лише класичними бітами. У цьому підрозділі пропонується нова квантова схема, яка використовує телепортацію квантових вентилів. А має підготувати ще два допоміжні кубіти, які отримають результат операції CNOT між перевіркою кубітів на стан «фаз». У цьому випадку В буде надсилати А лише класичні біти. Нова схема телепортації воріт CNOT наведена на рис. 6 та реалізована шляхом модифікації оригінальної схеми (рис. 5). 6 кубітів, які необхідні для телепортації квантових воріт між А і В, розділені на 3 кубіти для кожної сторони. На кроці 1 готуються дві заплутані пари кубітів між А і В. Для кращої читабельності перша пара кубітів, яка перевіряє умову «парності», розташована ближче до кубітів С, тобто для кубітів $alice_3$ і bob_0

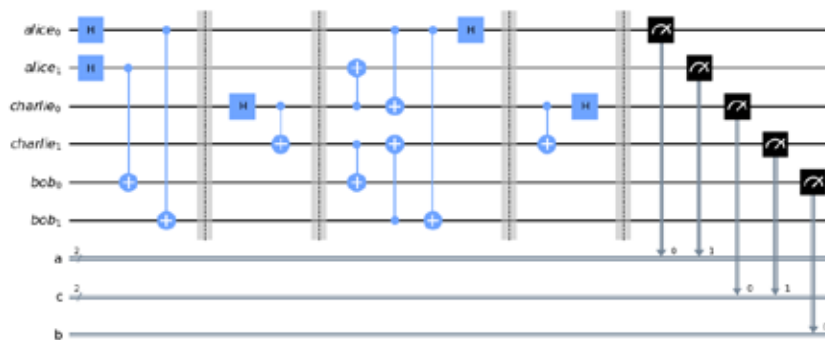


Рис. 5. Схема для повного визначення стану Белла

відповідно. Тоді кубіти, які перевіряють умову «фазу», будуть розміщені до найдалших кубітів, тобто для кубітів $alice_0$ і bob_3 відповідно. На кроці 2 готуються кубіти для квантової телепортації. А і В хочуть телепортувати результат взаємодії з кубітами С до інших кубітів А і В відповідно. Результат телепортації квантових воріт буде на кубітах $alice_2$ і bob_1 . На кроці 3 С готує будь-який стан Белла, а потім надсилає його до D. На кроці 4 А і В взаємодіють з кубітами С незалежно. Кубіти $alice_3$ і bob_0 взаємодіють, щоб визначити різницю «парності». Кубіти $alice_0$ і bob_3 взаємодіють, щоб визначити різницю «фазу». На кроці 5 реалізується квантова телепортація з вимірювальними кубітами. Після цього застосовуються квантові вентиля «X» і «Z» в залежності від результатів вимірювання. Також Аліса задіює квантовий вентиль «H» до свого кубіта $alice_2$. На кроці 6 і 7 D отримує кубіти С і виконує процедуру вимірювання BSM. Біти результату будуть такими ж, як і закодовані біти С. На останньому кроці 7 А і В вимірюють свої кубіти. Вимірювання може виконуватись в будь-який період часу після взаємодії між кубітами А і В і С відповідно. Результат не зміниться. Крім того, згідно з оригінальною схемою на рис. 5, В не потрібно вимірювати кубіт bob_2 .

Таким чином, модифікована оригінальна схема вирішує проблему. А та В не потрібно взаємодіяти один з одним, досить обмінятися лише класичними бітами, щоб розпізнати оригінальний стан С.

Однак, для прямої роботи квантових вентилів «Z» і «X», які контролюються виходами вимірювань, потрібен зв'язок між А і В. Наступним кроком буде спрощення запропонованої схеми для вирішення цієї проблеми.

Спрощення запропонованої схеми. Насправді запропоновану квантову телепортацію CNOT вентиля важко застосувати в реальній фізичній

системі. Коли В вимірює свої кубіти та надсилає класичні біти А, вона, у свою чергу, повинна постійно зберігати свої кубіти. Крім того, фізично важко реалізувати квантові вентиля в залежності від класичних бітів. Це вимагає складної архітектури. Зважаючи на ці обмеження, більш простим способом є зміна вихідної частини схеми (рис. 6) і визначення бітів С шляхом її модифікації.

Давайте нагадаємо, чому в роботі використовується квантова телепортація – є потреба у визначенні лише «фазової» умови після взаємодії з кубітами С без нелокальної взаємодії між А і В. Умова «парності» вже виникає в інших кубітах. Однак, запропонована на рис. 6 схема телепортації квантових воріт є універсальною та забезпечує обидві умови «парності» і «фазу». Тому доцільним

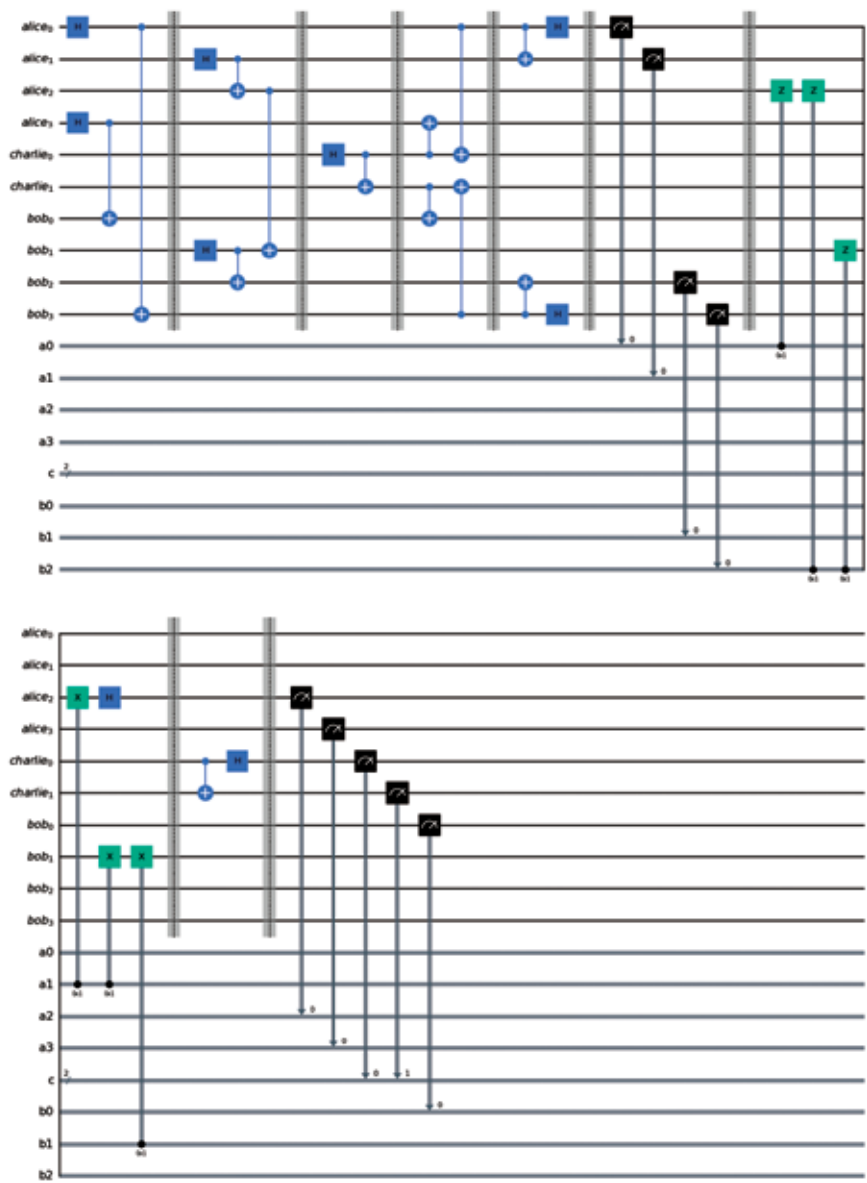


Рис. 6. Схема із застосуванням квантової телепортації CNOT вентиля

є «очищення» частини умов «парності» з квантової схеми. У цьому випадку А і В не потрібно вимірювати кубіти $alice_1$ і bob_2 для визначення умови «парності» і не використовувати квантові ворота «X» після нього.

Як було зазначено раніше, лише кубіт $alice_2$ показує «фазову» різницю між кубітами стану Белла С. У той же час кубіт bob_1 буде кожного разу в стані «0». Тоді В не потрібно використовувати bob_1 у своєму результаті, він може видалити квантовий вентиль «Z» для цього кубіта і не повинен його вимірювати.

На даний момент спрощено всі можливі квантові вентиля «X» і один квантовий вентиль «Z» з невикористаних кубітів. Однак, А і В все одно повинні реалізувати по одному квантовому вентилю «Z» за один раз.

Тепер давайте детально розглянемо вентиль CNOT між кубітами $alice_2$ і bob_1 на кроці 2. Він виконує дві функції одночасно. По-перше, як було сказано вище, це частина універсальної телепортації квантових вентилів, яка має з'єднати дві незалежні пари Белла між собою, щоб створити квантову заплутаність між 4 кубітами. Після цього ці два кубіти отримають результат взаємодії вентилів CNOT від кубітів $alice_0$ і bob_3 . З іншого боку, цей вентиль виконує операцію CNOT між $alice_2$ і bob_1 , яка необхідна для А і В для процедури вимірювання BSM у майбутньому.

Вентиль CNOT, який А і В спільно використовують перед взаємодією з кубітами С, вже виконує необхідну функцію CNOT, яка потрібна А і В. Це квантовий ефект, який неможливо реалізувати класичним способом [12], оскільки кубіти $alice_2$ і bob_1 є частиною більшої замкнутої заплутаної системи. Цей математичний трюк дозволяє нам змусити виконувати процедуру вимірювання

BSM перед тим, як А і В точно взаємодіють з кубітами С. Потім, щоб завершити повну процедуру вимірювання BSM для А і В, їм потрібно перемістити квантовий вентиль «H» з кроку 5 на крок 2 і поставити його після вентиля CNOT. Нарешті, А і В виконують процедуру вимірювання BSM вже на кроці 1 зі своїми $alice_2$ і bob_1 перед взаємодією з кубітами С. Але ці кубіти вже є частиною більшого заплутаного стану. На кроці 3, коли кубіти С взаємодіють з кубітами $alice_0$ і bob_3 , вони також впливають на кубіти $alice_2$ і bob_1 . Тоді, на кроці 5 після вимірювання А і В не потрібно впроваджувати квантові вентиля «X» і «Z», які залежать від результатів вимірювання. Для «фазової» перевірки набір кубітів $alice_0$, $alice_2$, $alice_3$, bob_0 , bob_3 дасть різні комбінації бітів після вимірювання, а А з В можуть точно визначити будь-який стан Белла С. Остаточний спрощений варіант квантової схеми визначення стану Белла з використанням квантової телепортації CNOT вентиля наведено на рис. 7.

Спрощення модифікованої оригінальної схеми було досягнуто наступним чином. По-перше, крок 1 і крок 2 об'єднані для підготовки вентилів, які є попередньо спільними заплутаними станами. По-друге, квантовий вентиль «H» перенесено для кубіта $alice_2$ на крок 1. Крім того, класичні біти, які не використовуються, були видалені. Отже, для А і В потрібно підготувати всього 8 кубітів. А і В повинні мати 1 незалежну пару для умови «парності», кубіти $alice_3$ і bob_0 , та 1 незалежну пару для умови «фази», кубіти $alice_0$ і bob_3 . Крім того, для телепортації квантового вентиля необхідні 2 пари: пара $alice_1$ і $alice_2$ і пара bob_1 і bob_2 . Ці пари з'єднані між собою CNOT вентилями між кубітами $alice_2$ і bob_1 . Після цього додано квантовий вентиль «H» для кубіта $alice_2$, щоб виконати роботу

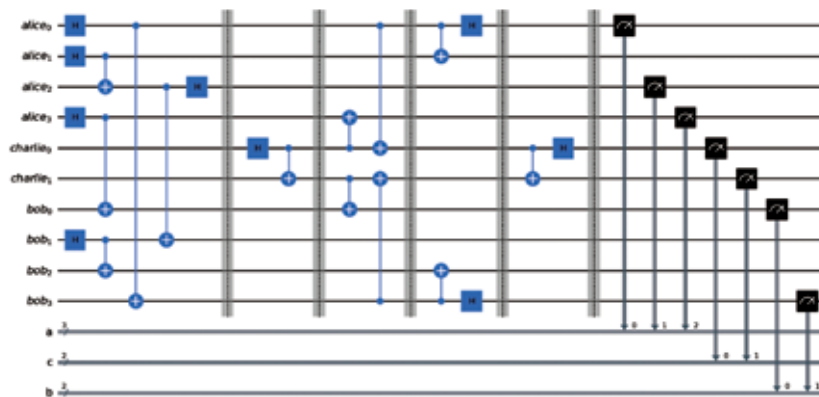


Рис. 7. Спрощена схема визначення стану Белла з використанням квантової телепортації CNOT вентиля

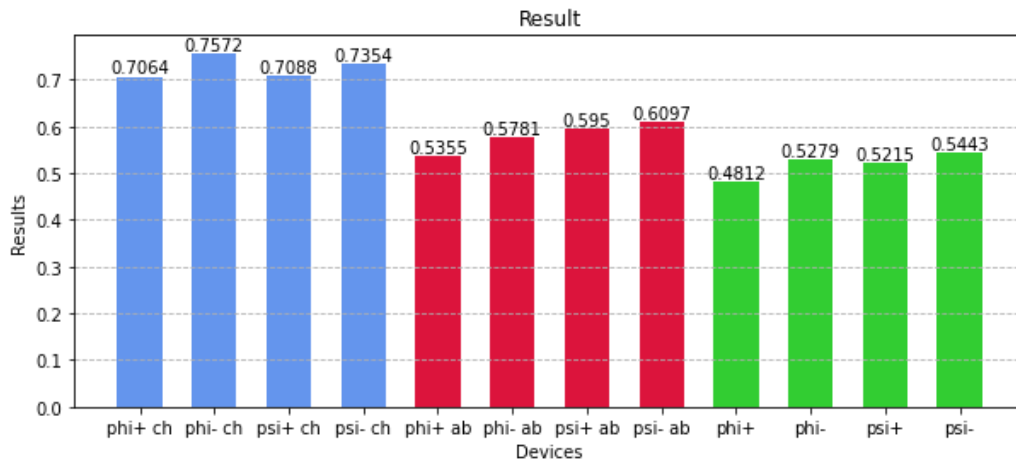


Рис. 8. Результати апробації запропонованої схеми для чотирьох станів Белла

перед процедурою вимірювання BSM для стану «фази». Наведене квантове рішення пройшло успішну апробацію на квантовому комп'ютері IonQ, про що йдеться нижче.

Результати. Запропонована авторами та наведена на рис. 7 спрощена квантова схема дає 100% ймовірність визначення будь-якого стану Белла C. Це було підтверджено при її реалізації на квантовому комп'ютері IonQ. Для цього було зроблено 10 000 знімків для кожного стану Белла C, після чого отримані результати вимірювання представлені на рис. 8. Сині смуги відображають випадок, коли C надсилає деякий стан Белла, а D отримує точно такий же стан, не враховуючи, який стан A та B будуть отримувати, щоб перевірити умову «неруйнівний стан» Белла. Червоні смуги відображають випадок, коли C надсилає деякий стан Белла, а A з B точно визначають цей стан, не враховуючи, який стан отримає D, щоб перевірити умову «визначення стану Белла». Зрештою зелені смуги показують комбінацію двох попередніх випадків, де обидві умови, «неруйнівний стан» і «визначення стану Белла» перевіряються разом. Після цього було розраховано середнє значення для трьох наведених на рис. 8 випадків, щоб визначити середню ймовірність для будь-якого можливого стану Белла (на рис. 9).

Висновки. Запропоноване авторами в роботі квантове схемне рішення показує, як треті сторони можуть розрізняти пари Белла без руйнування оригінального стану для визначення оригінальної інформації від довірених сторін. Запропонована спрощена схема використовує математичний трюк для перевірки «розрізнення станів Белла»

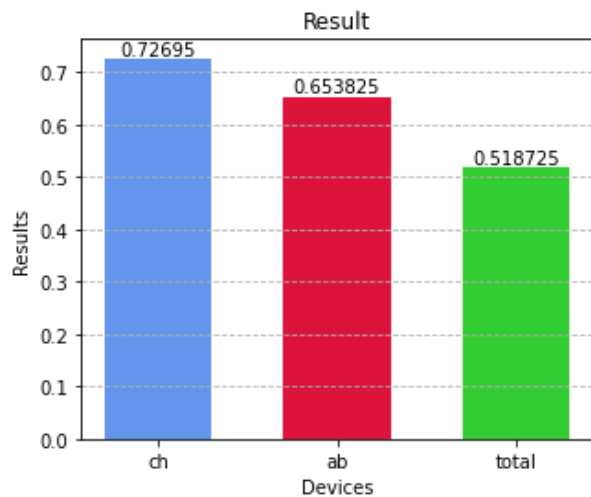


Рис. 9. Середня ймовірність успішної роботи запропонованої схеми на квантовому комп'ютері IonQ

та «неруйнівних» умов, що дає підстави говорити про вдосконалення квантових алгоритмів розподілу ключів.

Однак, ця схема залишається досить громіздкою і використовує багато самих квантових вентилів. Результати її апробації на квантовому комп'ютері IonQ (рис. 9) показали, що ймовірність успішної її роботи становить близько 50%. Однак, класично A та B лише мають ймовірність 25% вгадати стан C, що вдвічі менше отриманого в цій роботі результату (рис. 9).

Крім того, цю схему не можна представити класично, оскільки вона використовує «різницю фаз» між кубітами, що застосовується лише для квантових алгоритмів.

Список літератури:

1. C. H. Bennett and G. Brassard, "Quantum cryptography: Public key distribution and coin tossing," *Theor. Comput. Sci.*, vol. 560, pp. 7–11, Dec. 2014, doi: 10.1016/j.tcs.2014.05.025.
2. A. K. Ekert, "Quantum cryptography based on Bell's theorem," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 67, no. 6, pp. 661–663, Aug. 1991, doi: 10.1103/PhysRevLett.67.661.
3. A. Einstein, B. Podolsky, and N. Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?," *Phys. Rev.*, vol. 47, no. 10, pp. 777–780, May 1935, doi: 10.1103/PhysRev.47.777.
4. J. S. Bell, "On the Einstein Podolsky Rosen paradox," *Phys. Phys. Fiz.*, vol. 1, no. 3, pp. 195–200, Nov. 1964, doi: 10.1103/PhysicsPhysiqueFizika.1.195.
5. W. K. Wootters and W. H. Zurek, "A single quantum cannot be cloned," *Nature*, vol. 299, no. 5886, pp. 802–803, Oct. 1982, doi: 10.1038/299802a0.
6. M. Gupta and P. K. Panigrahi, "Deterministic Bell State Discrimination," *ArXivquant-Ph0504183*, Apr. 2005, Accessed: Dec. 04, 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0504183>
7. M. Gupta, A. Pathak, R. Srikanth, and P. K. Panigrahi, "Non-destructive Orthonormal State Discrimination," *ArXivquant-Ph0507096*, Jul. 2005, Accessed: Dec. 04, 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/quant-ph/0507096>
8. M. Sisodia, A. Shukla, and A. Pathak, "Experimental realization of nondestructive discrimination of Bell states using a five-qubit quantum computer," *Phys. Lett. A*, vol. 381, no. 46, pp. 3860–3874, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.physleta.2017.09.050.
9. A. J. Paige, H. Kwon, S. Simsek, C. N. Self, J. Gray, and M. S. Kim, "Quantum Delocalized Interactions," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 125, no. 24, p. 240406, Dec. 2020, doi: 10.1103/PhysRevLett.125.240406.
10. C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crépeau, R. Jozsa, A. Peres, and W. K. Wootters, "Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 70, no. 13, pp. 1895–1899, Mar. 1993, doi: 10.1103/PhysRevLett.70.1895.
11. D. Gottesman and I. L. Chuang, "Quantum Teleportation is a Universal Computational Primitive," *ArXivquant-Ph9908010*, Aug. 1999, doi: 10.1038/46503.
12. <https://doi.org/10.1103%2Fphysreva.52.3457>

Bilash B.O., Lysenko O.M. ERROR-FREE DEFINITION OF THE QUANTUM BELL STATE IN QUANTUM CRYPTOGRAPHY

The paper discusses one of the most promising methods of modern quantum cryptography – the method of quantum key distribution (QKD) based on pairs of Bell states of quantum entanglement. A generalized quantum scheme is proposed for the detection of the four Bell states by third parties without destroying the original state, which allows third parties to interact individually with each qubit of the Bell pair. At the same time, two tasks were solved at the same time: checking the condition of "determining the state" of Bell, that is, whether it is possible to obtain complete information about the original qubits of the Bell state from trusted parties; on the other hand, checking the "indestructible state" condition, that is, whether it is possible not to destroy the initial Bell state. Since each Bell qubit is sent through a separate path, making the distance between the qubits infinitely large, this precluded the application of the well-known scheme proposed by Gupta et al. Therefore, we used the advantage of entangled states prepared in advance for interaction, which were first considered by Page et al. and developed in this article. For each qubit, the condition of "phase" and "parity" is determined separately, for which separate quantum pairs between third parties are created. Because Bell state qubits can be far apart when transmitting information, third parties cannot directly interact with their qubits, but can exchange classical bits after measuring their qubits. In order to fully obtain information by third parties, the article proposes a new universal teleportation scheme of quantum gates, which was simplified and adapted for the conditions of determining Bell states. This solution provides a 100% probability of determining any Bell state for the ideal case without noise. This scheme is implemented and tested on the IonQ quantum computer.

Key words: quantum computing, quantum cryptography, quantum cryptoanalysis, Bell state, qubits.

УДК 621.396.946: 004.042

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/02>**Лисенко О.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Тачиніна О.М.**

Національний авіаційний університет

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Фуртат О.В.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Фуртат С.О.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Сушин І.О.Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ІНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ЕКСПРЕС-СИНТЕЗУ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕХАТРОННИХ ПРИСТРОЇВ МОБІЛЬНИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

У роботі розглянуто актуальне наукове завдання стосовно розробки інженерної методики експрес-синтезу цифрової системи автоматичного керування для прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж, яка періодично отримує від алгоритму ідентифікації інформацію про параметри елементів неперервної частини цифрової системи автоматичного керування.

Прецизійні мехатронні пристрої мобільних сенсорних мереж включають пристрої орієнтації та стабілізації вісей чутливості сенсорів спрямованої дії, трьох ступеневі стабілізації корисного навантаження літаючих інформаційно-телекомунікаційних роботів. Конструктивно електропривод системи орієнтації та стабілізації осі чутливості мобільного сенсора спрямованої дії кріпиться до рухомої основи, яка перебуває під дією різноманітних механічних збурень. Ці збурення надають негативний вплив і на роботу мобільного сенсора (МС). Зрив режиму отримання інформації сенсором спрямованої дії найчастіше відбувається під впливом імпульсних збурень. В результаті, виникає завдання максимального зменшення впливу імпульсних збурень на роботу МС. Найкращим рішенням цієї задачі слід вважати застосування адаптивного до зовнішніх механічних та електричних збурень електроприводу. Найчастіше як електропривод по кожному ступеню рухливості в системі орієнтації та стабілізації осі чутливості МС використовується двигун постійного струму. Суть такої адаптивності полягає в комплексному використанні добре розроблених алгоритмів оперативної ідентифікації параметрів електроприводу з удосконаленими завдяки застосуванню сучасних систем комп'ютерної математики класичних методик синтезу.

Результати хронометрування процесу синтезу цифрового алгоритму керування показують, що у випадку прийняття гіпотези про квазістаціонарність параметрів пристроїв, що входять до складу неперервної частини системи автоматичного керування, застосування експрес методики, ключова теоретична складова якої базується на методі асимптотичних логарифмічних псевдочастотних характеристик, є адекватним для розв'язання задачі експрес-синтезу цифрової системи автоматичного керування для прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж.

Ключові слова: мобільні сенсори, сенсорні мережі, прецизійних мехатронні пристрої, цифрова система автоматичного керування.

Вступ та аналіз публікацій. До прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж слід віднести пристрої орієнтації та стабілізації вісей чутливості сенсорів спрямованої дії, трьох ступеневі стабілізації корисного навантаження літаючих інформаційно-телекомунікаційних роботів [1-8].

При цьому мобільні сенсори забезпечуються чутливими елементами строго спрямованої дії [9, 10, 11]. Конструктивно електропривод системи орієнтації та стабілізації осі чутливості мобільного сенсора спрямованої дії кріпиться до рухомої основи, яка перебуває під дією різноманітних механічних збурень. Ці збурення надають негативний вплив і на роботу МС, так як впливають на точність реалізації заданих алгоритмів управління переорієнтацією та стабілізації осі чутливості МС. Зрив режиму отримання інформації сенсором спрямованої дії найчастіше відбувається під впливом імпульсних збурень [11]. Виникає завдання максимального зменшення впливу імпульсних збурень на роботу МС. Найкращим рішенням цієї задачі слід вважати застосування адаптивного до зовнішніх механічних та електричних збурень електроприводу. Однак, незважаючи на суттєві успіхи мехатроніки, таких електроприводів на сьогоднішній день немає [15]. Слід зазначити, що сучасні цифрові електроприводи мають інформаційно-керуючий пристрій, який можна використовувати для алгоритмічної експрес корекції динамічних властивостей електроприводу з метою надання електроприводу властивості адаптивності [10, 12-16]. Найчастіше як електропривод по кожному ступеню рухливості в системі орієнтації та стабілізації осі чутливості МС використовується двигун постійного струму [10]. Суть такої адаптивності полягає в комплексному використанні добре розроблених алгоритмів оперативної ідентифікації параметрів електроприводу з удосконаленими завдяки застосуванню сучасних систем комп'ютерної математики класичних методики синтезу.

Постановка задачі дослідження. Виникає актуальне наукове завдання стосовно розробки інженерної методики експрес-синтезу цифрової системи автоматичного керування для прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж, яка періодично отримує від алгоритму ідентифікації інформацію про параметри елементів неперервної частини цифрової системи автоматичного керування (ЦСАК).

Викладення основного матеріалу. Методика експрес-синтезу цифрової системи автоматичного керування для прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж складається з наступних етапів[12-18]:

1. Підготовка вихідних даних у вигляді математичних моделей приладів, з яких складається

ЦСАК. Вважаємо, що математичні моделі представлені у вигляді неперервних математичних моделей, наприклад, задані s-передавальними функціями (передавальними функціями, які отримані із використання неперервного перетворення Лапласа).

2. Редукція математичної моделі узагальненого неперервного об'єкта керування.

3. Вибір T_0 – кроку квантування за часом для АЦП.

4. Вибір типу екстраполятора для ЦАП. Побудова передавальної функції екстраполятора.

5. Побудова математичної моделі приведенного дискретного об'єкта керування (ПДОК).

6. Побудова логарифмічної амплітудно-псевдочастотної характеристики (ЛАПЧХ) ПДОК. Обчислення псевдочастоти на якій ЛАПЧХ дорівнює нулю (псевдочастота зрізу) та тангенса кута нахилу ЛАПЧХ на цій псевдочастоті.

7. Вибір структури закону керування у вигляді

$$D_{pch}(\bar{\lambda}) = \frac{b_k(j\bar{\lambda})^k + b_{k-1}(j\bar{\lambda})^{k-1} + \dots + b_1(j\bar{\lambda}) + b_0}{a_l(j\bar{\lambda})^l + a_{l-1}(j\bar{\lambda})^{l-1} + \dots + a_1(j\bar{\lambda}) + a_0},$$

де $j\bar{\lambda} = \frac{z-1}{z+1}$.

Обчислення параметрів закону керування $a_0, a_1, \dots, a_l; b_0, b_1, \dots, b_k$, які забезпечують наближення ЛАПЧХ розімкненої системи $W_p(z)|_{z=\frac{1+j\bar{\lambda}}{1-j\bar{\lambda}}} = D(z) \cdot W_{ud}(z)|_{z=\frac{1+j\bar{\lambda}}{1-j\bar{\lambda}}}$ до бажаного вигляду.

8. Виконання імітаційного експерименту.

Розглянемо більш детально виконання етапів методики експрес-синтезу цифрової системи автоматичного керування для прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж.

На першому етапі розглянемо застосування методики для синтезу цифрового закону керування для ЦСАК приводу прецизійної мехатронної системи (див. рис. 1).

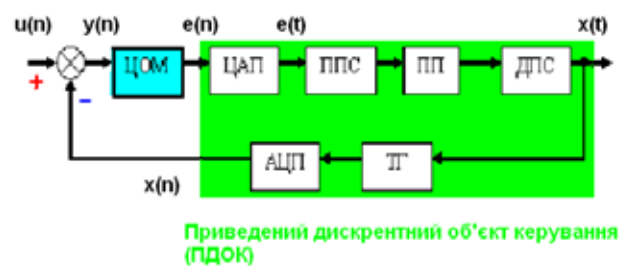


Рис. 1. Структурна схема ЦСАК швидкістю обертання ротору ДПС прецизійної мехатронної системи

Алгоритм ідентифікації періодично (період визначається темпом суттєвої зміни параметрів елементів неперервної частини ЦСАК) «оновлює» інформацію про параметри неперервних математичних моделей підсилювача постійного струму (ППС), підсилювача потужності (ПП), двигуна постійного струму (ДПС), тахогенератора (ТГ)

задані відповідно номінальними передавальними функціями

$$W_{pps}(s) = \frac{5}{0.01 s + 1}; W_{pp}(s) = \frac{2}{0.03 s + 1};$$

$$W_{dps}(s) = \frac{1}{0.4 s^2 + 1.3 s + 1}; W_{ig}(s) = 1.$$

На другому етапі знайдемо редукцію математичної моделі узагальненого неперервного об'єкта керування.

Знехтуємо інерційністю ППС та ПП. Тоді $W_{pps}(s) = 5$ та $W_{pp}(s) = 2$. Передавальна функція редукovanого узагальненого неперервного об'єкта керування (УНОК) набуває вигляду

$$W_{unok}(s) = W_{pps}(s) \cdot W_{pp}(s) \cdot W_{dps}(s) \cdot W_{ig}(s) = \frac{10}{0.4 s^2 + 1.3 s + 1}.$$

Використовуючи функції СКМ MATLAB+Simulink, побудуємо передавальні функції за вихідним сигналом замкненої неперервної САК для випадків не редукovanого та редукovanого УНОК:

```
>> wpps=tf([5],[0.01 1]) Transfer function:
5
```

```
-----
0.01 s + 1
>> wpp=tf([2],[0.03 1])
Transfer function:
2
```

```
-----
0.03 s + 1
>> wdps=tf([1],[0.4 1.3 1])
Transfer function:
```

```
1
-----
0.4 s^2 + 1.3 s + 1
>> wtg=1
wtg = 1
>> neredWunok=wpps*wpp*wdps*wtg
Transfer function:
10
```

```
-----
0.00012 s^4 + 0.01639 s^3 + 0.4523 s^2 + 1.34 s + 1
>> redWunok=10*wdps*wtg
Transfer function:
10
```

```
-----
0.4 s^2 + 1.3 s + 1
>> neredHx=neredWunok/(1+neredWunok)
Transfer function:
```

```
-----
0.0012 s^4 + 0.1639 s^3 + 4.523 s^2 + 13.4 s + 10
-----
1.44e-008 s^8 + 3.934e-006 s^7 + 0.0003772 s^6
+ 0.01515 s^5 + 0.2499 s^4 + 1.409 s^3 + 7.223 s^2
+ 16.08 s + 11
>> redHx=redWunok/(1+redWunok)
Transfer function:
4 s^2 + 13 s + 10
```

```
-----
0.16 s^4 + 1.04 s^3 + 6.49 s^2 + 15.6 s + 11
Із використанням функції bode системи комп'ютерної математики (СКМ) MATLAB+Simulink побудуємо ЛАЧХ не редукovanого та редукovanого УНОК та виконаємо їх порівняльний аналіз(див. рис. 5.7):
>> bode(neredHx, redHx)
```

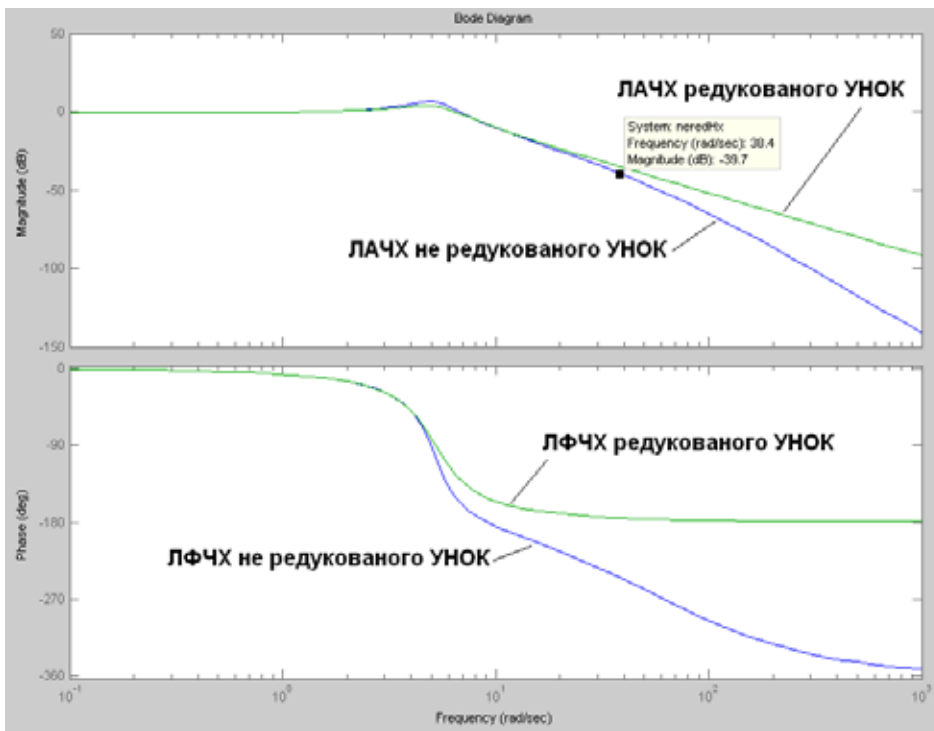


Рис. 2. Діаграми Бode для не редукovanого та редукovanого УНОК

Як бачимо (рис. 2), в діапазоні частот від приблизно рівних 0 рад/с до 38.4 рад/с логарифмічні характеристики не редукованого та редукованого УНОК практично співпадають. Це означає, що нехтування інерційністю ППС та ПП не призводить до суттєвого загублення математичної моделі УНОК.

Етап 3. Проведемо вибір T_0 – кроку квантування за часом для АЦП.

Припустимо, що немає відомостей про верхні граничні частоти корисного сигналу та збурення, що діють на вході АЦП, а відома лише передавальна функція не редукованого узагальненого неперервного об'єкту керування. Тоді, виходячи з практичного досвіду, вважається, що шукана гранична частота ω_B на вході АЦП відповідає точці, в якій ЛАЧХ не редукованого УНОК приблизно на 40 дБ менша значень цієї ж ЛАЧХ при малих частотах (рис. 2).

Як бачимо $\omega_B = 38.4$ рад/с. За теоремою Котельникова знаходимо період квантування за часом $T_0 = \pi/\omega_B$:

>> To=pi/38.4

To = 0.0818

Етап 4. Вибір типу екстраполятора для ЦАП.

В якості екстраполятора ЦАП використаємо E_0 – екстраполятор нульового порядку. Передавальна функція цього екстраполятора

$$W_{E_0}(s) = \frac{1 - e^{-sT_0}}{s}$$

Якщо для побудови передавальної функції приведенного дискретного об'єкта керування використовується функція c2d СКМ MATLAB+Simulink, то ця функція буде передавальною функцією ПДОК за відомою передавальною функцією УНОК із врахуванням дії саме екстраполятора нульового порядку.

Етап 5. Побудова математичної моделі приведенного дискретного об'єкта керування.

Обчислимо передавальну функцію ПДОК $W_{пд}(z)$

>> Wpdok=c2d(redWunok,To)

Transfer function:

0.07661 z + 0.07011

z^2 - 1.752 z + 0.7665 Sampling time: 0.081812

Отриманий результат означає

$W_{пд}(z) = \frac{0.07661z + 0.07011}{z^2 - 1.752z + 0.7665}$, що і треба було отримати.

Етап 6. Побудова логарифмічної амплітудно-псевдочастотної характеристики ПДОК.

Для побудови ЛАПЧХ ПДОК використаємо комп'ютерну систему аналітичних обчислень

СКМ MATLAB+Simulink. Задамо білінійне перетворення $z = \frac{1+w}{1-w} = \frac{1+s}{1-s}$, де $s=w$, наступним чином

>> z=tf([1 1],[-1 1]) Transfer function:

-s - 1

s - 1

Виконаємо заміну z на s в передавальній функції

ПДОК $W_{пд}(z)$

>> Wpsevdo=(0.07661*z+0.07011)/

(z^2-1.752*z+0.7665)

Transfer function:

-0.0065 s^4 - 0.1272 s^3 + 0.4207 s^2 - 0.4337 s + 0.1467

3.518 s^4 - 6.57 s^3 + 2.599 s^2 + 0.438 s + 0.0145

Будуємо діаграму Бode (див. рис. 3)

>> bode(Wpsevdo)

У відповідності із досвідом синтезу законів керування для неперервних систем, бажано, щоб на частоті зрізу тангенс кута нахилу ЛАПЧХ розімкненої САК приблизно дорівнював -20 дБ/дек. Зауважимо, що підвищення псевдочастоти зрізу призводить до підвищення швидкодії.

Етап 7. Вибір структури закону керування.

Оберемо закон керування у вигляді

$$D_{пч}(\bar{\lambda}) = k \cdot \frac{T_1(j\bar{\lambda}) + 1}{T_2(j\bar{\lambda}) + 1},$$

де $j\bar{\lambda} = \frac{z-1}{z+1}$, $T_{1,2}$, k – додатні.

Перед тим, як виконати обчислення параметрів закону керування k, T_1, T_2 , які забезпечують наближення тангенсу кута нахилу ЛАПЧХ розімкненої системи на відносній псевдочастоті зрізу до бажаного значення „-20 дБ/дек”, з'ясуємо властивості обраного закону керування.

ЛАПЧХ для обраного закону керування обчислюється за виразом

$$L_{цом}(\bar{\lambda}) = 20 \lg \left| k \cdot \frac{T_1(j\bar{\lambda}) + 1}{T_2(j\bar{\lambda}) + 1} \right| = 20 \lg k + 20 \lg \sqrt{T_1^2 \cdot \bar{\lambda}^2 + 1} - 20 \lg \sqrt{T_2^2 \cdot \bar{\lambda}^2 + 1} =$$

$$= 20 \lg k + 20 \lg(T_1 \cdot \sqrt{\bar{\lambda}^2 + 1/T_1^2}) - 20 \lg(T_2 \cdot \sqrt{\bar{\lambda}^2 + 1/T_2^2})$$

Тоді для побудови асимптотичної ЛАПЧХ, в залежності від співвідношення між T_1 та T_2 , необхідно розглянути два наступні варіанти.

1). Якщо $T_1 \ll T_2$, тобто $1/T_2 \ll 1/T_1$. Тоді асимптотична ЛАПЧХ складається з трьох ділянок (див. рис. 4):

а) $L_{цом,асимпт}(\bar{\lambda}) = 20 \lg k$, $\bar{\lambda} \ll 1/T_2$;

б) $L_{цом,асимпт}(\bar{\lambda}) = 20 \lg k - 20 \lg(T_2 \cdot \bar{\lambda})$, $1/T_2 \ll \bar{\lambda} \ll 1/T_1$;

в) $L_{цом,асимпт}(\bar{\lambda}) = 20 \lg k + 20 \lg(T_1 \cdot \bar{\lambda}) - 20 \lg(T_2 \cdot \bar{\lambda})$, $1/T_1 \ll \bar{\lambda}$.

Враховуючи той факт, що ЛАПЧХ розімкненої ЦСАК дорівнює сумі ЛАПЧХ ЦОМ та ЛАПЧХ ПДОК

$$L_p(\bar{\lambda}) = L_{цом}(\bar{\lambda}) + L_{пдок}(\bar{\lambda})$$

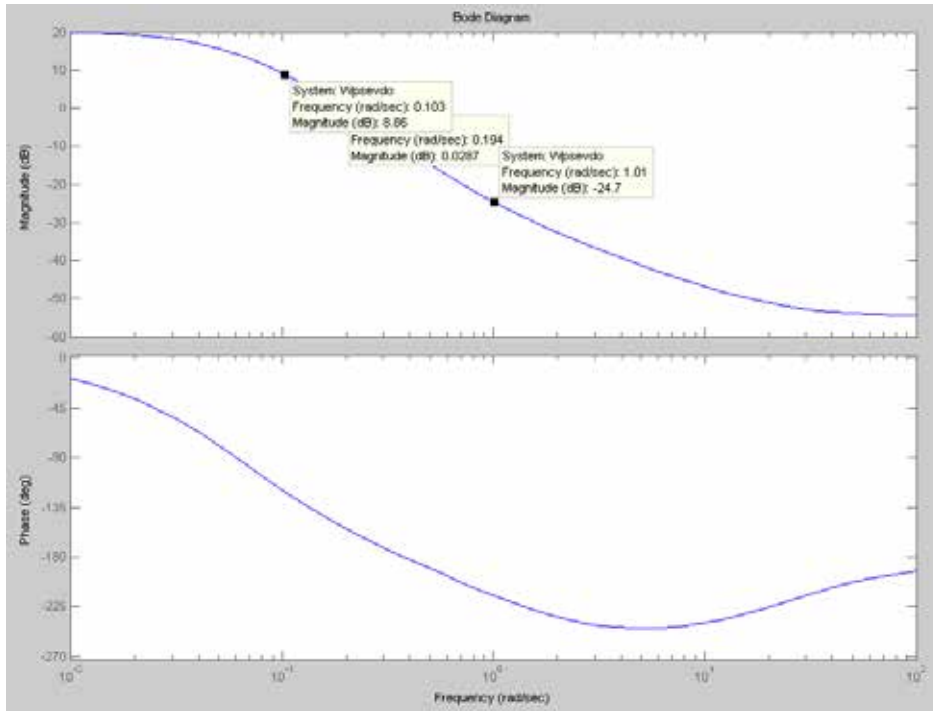


Рис. 3. Діаграми Бодє для ЦОК:

Використовуючи діаграму Бодє (рис. 3) знаходимо приблизне значення відносної псевдочастоти зрізу (відносна псевдочастота, на якій ЛАПЧХ ЦОК приблизно дорівнює 0) $\bar{\lambda}_R = 0.194$ та приблизне значення тангенса кута нахилу ЛАПЧХ на цій псевдо частоті $(-24.7-8.86)/(1.01-0.103) = -37.0011$ [дб/дек].

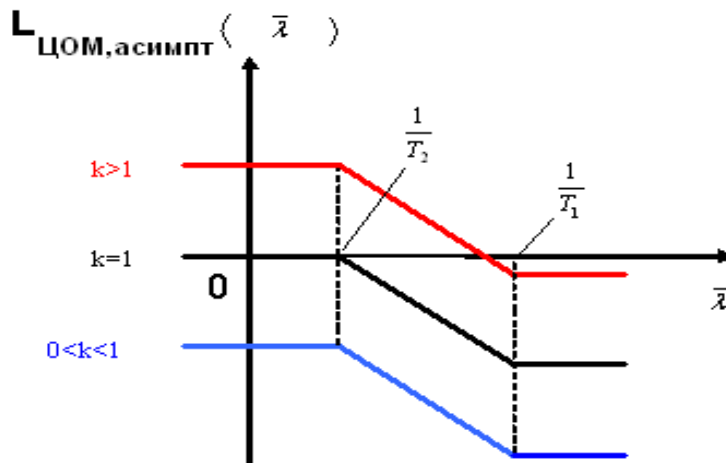


Рис. 4. Асимптотична ЛАПЧХ передавальної функції ЦОМ при умові, що $T_1 \ll T_2$; нахил асимптотичної ЛАПЧХ в інтервалі $(1/T_2; 1/T_1)$ дорівнює -20 дб/дек

1). Якщо $T_2 \ll T_1$, тобто $1/T_1 \ll 1/T_2$. Тоді асимптотична ЛАПЧХ складається з трьох ділянок (див. рис. 5):

$$a) L_{\text{ЦОМ,асимпт}}(\bar{\lambda}) = 20 \lg k, \quad \bar{\lambda} \ll 1/T_1;$$

$$б) L_{\text{ЦОМ,асимпт}}(\bar{\lambda}) = 20 \lg k + 20 \lg(T_1 \cdot \bar{\lambda}), \quad 1/T_1 \ll \bar{\lambda} \ll 1/T_2;$$

$$в) L_{\text{ЦОМ,асимпт}}(\bar{\lambda}) = 20 \lg k + 20 \lg(T_1 \cdot \bar{\lambda}) - 20 \lg(T_2 \cdot \bar{\lambda}), \quad 1/T_2 \ll \bar{\lambda}.$$

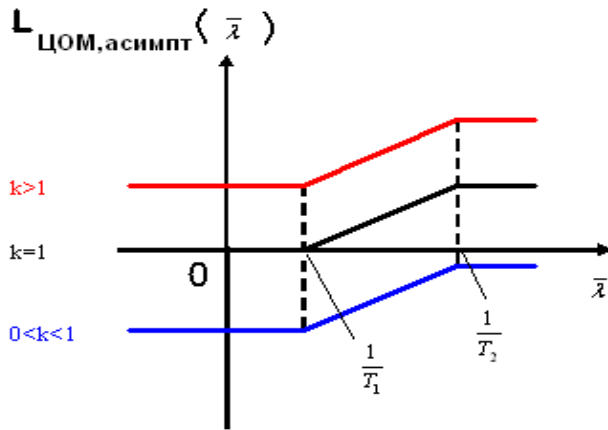


Рис. 5. Асимптотична ЛАПЧХ передавальної функції ЦОМ при умові, що $T_2 \ll T_1$: нахил асимптотичної ЛАПЧХ в інтервалі $(1/T_1; 1/T_2)$ дорівнює $+20\text{дб/дек}$

виконаємо:

1) корекцію кута нахилу ЛАПЧХ ПДОК на її відносній псевдочастоті зрізу $\bar{\lambda}_R = 0.194$ за допомогою алгоритму ЦОМ із ЛАПЧХ, що відповідає рис. 5. Змінимо нахил ЛАПЧХ ПДОК на відносній псевдочастоті зрізу від значення $-37.0011[\text{дб/дек}]$ до значення, яке приблизно дорівнюватиме

$(-37.0011+20) \text{дб/дек} = -17.0011\text{дб/дек}$. Нагадаємо, що нахил -20дб/дек на частоті зрізу вважається ознакою того, що ЦСАК буде мати прийнятну якість регулювання;

Прийmemo, що $1/T_2 = 10 \cdot \bar{\lambda}_R$, $1/T_1 = \bar{\lambda}_R / 10$. Тоді отримуємо $T_2 = 1 / (10 \cdot \bar{\lambda}_R) = 0.5155$, $T_1 = 10 / \bar{\lambda}_R = 51.5464$.

Враховуючи, що $j\bar{\lambda} = \frac{z-1}{z+1}$, перейдемо у виразі $D_{1_pch}(\bar{\lambda}) = k_1 \cdot \frac{T_1(j\bar{\lambda}) + 1}{T_2(j\bar{\lambda}) + 1}$ до змінної z . Тоді отримуємо, що

$$D_1(z) = k_1 \cdot \frac{(T_1+1) \cdot z + (1-T_1)}{(T_2+1) \cdot z + (1-T_2)}$$

2) зменшення відносної псевдочастоти зрізу розімкненої системи за допомогою алгоритму ЦОМ із ЛАПЧХ, що відповідає рис. 4.

Прийmemo, що $T_{11}=10/0.194=51.5464$, $T_{22}=10 \cdot T_1=515.4639$. Тоді.

враховуючи, що $j\bar{\lambda} = \frac{z-1}{z+1}$, перейдемо у виразі

$$D_{2_pch}(\bar{\lambda}) = k_1 \cdot \frac{T_{11}(j\bar{\lambda}) + 1}{T_{22}(j\bar{\lambda}) + 1} \text{ до}$$

змінної z

$$D_2(z) = k_1 \cdot \frac{(T_{11}+1) \cdot z + (1-T_{11})}{(T_{22}+1) \cdot z + (1-T_{22})}$$

Остаточно передавальна функція ЦОМ набуває вигляду $D(z) = D_1(z) \cdot D_2(z)$.

Перейдемо до імітаційного експерименту.

На заключному етапі виконаємо імітаційний експеримент.

Результати порівняльного моделювання перехідних процесів на виході ЦСАК із алгоритмом, який отримано в попередньому пункті методики та замкненої системи із пропорційним регулятором (див. рис. 6, 7).

Нагадаємо, що перед початком моделювання потрібно задати і командному віконці MATLAB значення параметрів цифрового регулятора, які були обчислені у попередніх пунктах:

T1=51.5464
T2=0.5155
T11=51.5464
T22=515.4639

Приклад листингу завдання параметрів цифрового регулятора

```
>> T1=51.5464
T2=0.5155
T11=51.5464
T22=515.4639
T1 =
51.5464
T2 =
0.5155
T11 =
51.5464
T22 =
515.4639
>>
```

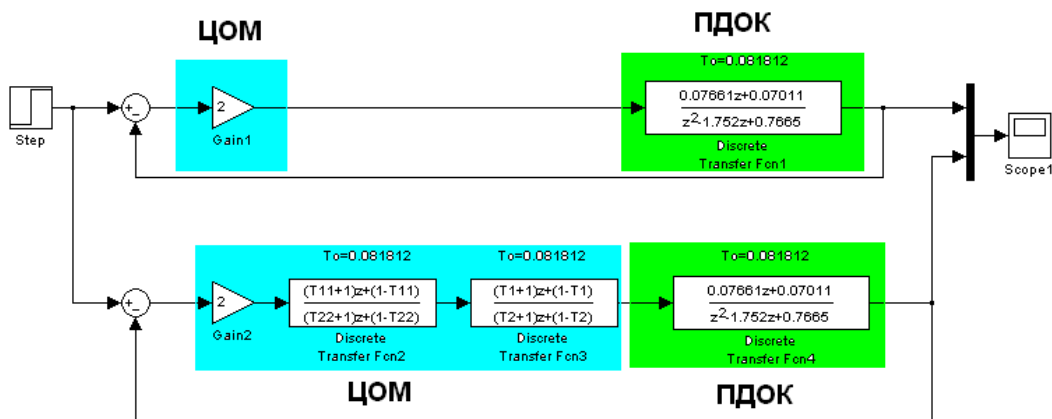


Рис. 6. Комп'ютерна імітаційна модель

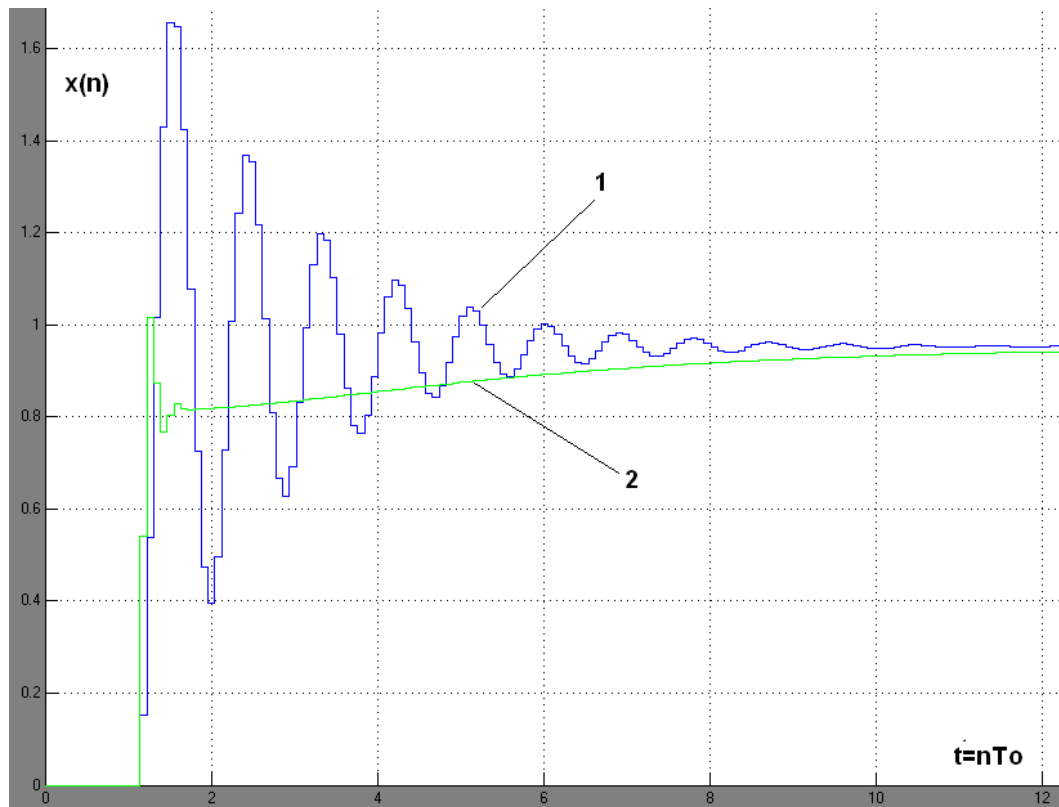


Рис. 7. Перехідні процеси на виході системи прототипу із пропорційним регулятором (1) та ЦСАК із алгоритмом, який синтезовано методом асимптотичних логарифмічних псевдочастотних характеристик (2)

Висновок:

1. Результати хронометрування процесу синтезу цифрового алгоритму керування показують, що у випадку прийняття гіпотези про квазістаціонарність параметрів пристроїв, що входять до складу неперервної частини системи автоматичного керування, застосування експрес методики, ключова теоретична складова якої базується на методи асимптотичних логарифмічних псевдочастотних характеристик, є адекватним для розв'язання задачі експрес-синтезу цифрової системи автоматичного керування для прецизійних мехатронних пристроїв мобільних сенсорних мереж.

2. Завдяки синтезованому цифровому алгоритму вдалося зменшити коливальність САК в 10

разів, перегулювання в 4 рази. Тривалість перехідного процесу майже не зменшилась.

3. Подальший розвиток методики полягає в наступному:

1) врахуванні суттєвих нелінійностей (пропорційна із зоною нечуттєвості, пропорційна із насиченням, релейна із зоною нечуттєвості, та без неї, із гістерезисом та комбінацією різних суттєвих нелінійностей);

2) сумісному використанні ЦПД-регулятора та регулятора синтезованого за наведеною методикою, що надасть ЦСАК таку властивість як квазіінваріантність;

3) поєднанні із чисельними методами оптимізації на прогнозуючих імітаційних моделях.

Список літератури:

1. Романченко І.С., Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Данилюк С.Л., Новіков В.І., Тачиніна О.М., Кірчу П.І., Валуїський С.В. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях. – К.: НАУ, 2016. – 332 с.

2. Новіков В.І., Лисенко О.І., Валуїський С.В., Гуйда О.Г. Математичні моделі, методи та алгоритми оптимізації показників функціонування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами й телекомунікаційними аероплатформами. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 31 (70) № 3 2020. Частина 1, стор. 54-64.

3. Uryvsky L., Lysenko O., Novikov V., Osypchuk S. Control Methods Research of Indicators for Intelligent Adaptive Flying Information-Telecommunication Platforms in Mobile Wireless Sensor Networks. In: Klymash M., Beshley M., Luntovskyy A. (eds) Future Intent-Based Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 831. P. 444-467. – 2022.

4. Development of methods of positioning, localization and data collection from nodes of a free mobile sensor network using intelligent adaptive telecommunication aeroplatforms / Valery A. Romaniuk, Olexandr I. Lysenko, Valery I. Novikov, Ihor O. Sushyn // Information and telecommunication sciences : international research journal. – 2021. – Vol. 12, N. 2. – Pp. 40-49.
5. Olexander Lysenko, Olena Tachinina, Valeriy Novikov, Iryna Alekseeva, Serhii Chumachenko, Andrii Tureichuk: Expert-modeling decision support system for the deployment and management of a wireless sensor network with mobile sensors and telecommunication air platforms in the emergency zone . SECURITY FORUM 2021 14th Annual International Scientific Conference February 10 th, 2021 at Matej Bel University in Banská Bystrica, Slovakia Conference Proceedings Banská Bystrica, Slovakia 2021, с. 249-258.
6. Dan Popescu, Florin Stoican, Grigore Stamatescu, Oana Chenaru, Loretta Ichim. A Survey of Collaborative UAV–WSN Systems for Efficient Monitoring Sensors, 2019, 19(21), 4690.
7. Zhen Qin, Aijing Li, Chao Dong, Haipeng Dai and Zhengqin Xu. Completion Time Minimization for Multi-UAV Information Collection via Trajectory Planning, Sensors, 2019, 19(18), 4032.
8. Bin Liu and Hongbo Zhu. Energy-Effective Data Gathering for UAV-Aided. Sensors (Basel). 2019; 19(11): 2506.
9. Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Новіков В.І., Гуйда О.Г., Фуртат О.В., Юсипів Т.В. Спосіб налаштування цифрової системи керування положенням вісі чутливості мобільного сенсора. Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32 (71) № 5 2021. – С. 51-57.
10. Tachinina, O., Lysenko, O., Alekseeva, I., Novikov, V.: Mathematical Modeling of Motion of Iron Bird Target Node of Security Data Management System Sensors. In: CEUR Workshop Proceedings, Vol-2711, 482-491. (2020).
11. Авдєєнко Г.Л., Наритник Т.М. РОЗРОБЛЕННЯ ЛЧМ-РАДАРУ БЛИЖНЬОЇ ДІЇ ДЛЯ РОБОТИ В ТЕРАГЕРЦОВОМУ ДІАПАЗОНІ. XVI Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій" ПТ-2022: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – с. 196-198
12. Лисенко О.І., Тачиніна О.М., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г. Алгоритм квазіінваріантного управління електроприводом вертикального транспортного засобу в режимі середньошвидкісного підйому "Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського", серія "Технічні науки": зб. наук. праць. Видавничий дім «Гельветика». Том 30 (69) № 3, 2019 частина 1. С. 70-74.
13. Olena Tachinina, Olexandr Lysenko, Iryna Alekseeva, Valeriy Novikov, Ihor Sushyn. Methods for Parametric Adjustment of a Digital System and Precision Automatic Stabilization of an Unmanned Aerial Vehicle. 2021 IEEE 6th International Conference on Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Development (APUAVD). IEEE Catalog Number: CFP2129V-USB. ISBN: 978-1-6654-3821-6. Oktober 19-21, 2021, Kyev, Ukraine. С. 76-79.
14. Tachinina O., Lysenko O., Nesterenko K., Zybin S., Alekseeva I. Tuning Methodology for Multi-circuit Digital Regulators of Robot Drives with Adjustable Dynamic Characteristics. In: Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds). Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering—Synergetic Engineering. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 367. P. 874 – 886.
15. Введение в мехатронику / О.М. Яхно, А.В. Узунов, А.Ф. Луговской, и др. –К.: НТУУ «КПИ», 2008. – 528 с.
16. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие – СПб.: КОРОНА Принт, 2001 – 320 с.
17. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы. – Донецк: Норд Пресс., ДонНУ, 2010. – 526 с.
18. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2004. – 832 с.

Lysenko O.I., Tachinina O.M., Guida O.G., Furtat O.V., Furtat S.O., Shushin I.O. ENGINEERING METHOD OF EXPRESS SYNTHESIS OF A DIGITAL AUTOMATIC CONTROL SYSTEM FOR PRECISION MECHATRONIC DEVICES OF MOBILE SENSOR NETWORKS

The paper considers an actual scientific task related to the development of an engineering technique for the express synthesis of a digital automatic control system for precision mechatronic devices of mobile sensor networks, which periodically receives information about the parameters of the elements of the continuous part of the digital automatic control system from the identification algorithm.

Precision mechatronic devices of mobile sensor networks include devices for orientation and stabilization of the sensitivity axes of directional sensors, three-stage stabilization of the payload of flying information and telecommunication robots. Structurally, the electric drive of the system of orientation and stabilization of the sensitivity axis of the mobile directional sensor is attached to the moving base, which is under the influence of various mechanical disturbances. These disturbances have a negative effect on the operation of the mobile sensor (MS). Disruption of the information acquisition mode by the directional action sensor most often occurs under the influence of impulse disturbances. As a result, there is a task of maximally reducing the impact of

impulse disturbances on the operation of the MS. The best solution to this problem should be considered the application of an electric drive adaptive to external mechanical and electrical disturbances. Most often, a DC motor is used as an electric drive for each degree of mobility in the system of orientation and stabilization of the sensitivity axis of the MS. The essence of such adaptability lies in the complex use of well-developed algorithms for operational identification of electric drive parameters with classical synthesis methods improved thanks to the use of modern systems of computer mathematics.

The results of timing the process of synthesis of a digital control algorithm show that, in the case of accepting the hypothesis of quasi-stationarity of device parameters that are part of the continuous part of the automatic control system, the use of the express method, the key theoretical component of which is based on the method of asymptotic logarithmic pseudo-frequency characteristics, is adequate for developing solving the problem of express synthesis of a digital automatic control system for precision mechatronic devices of mobile sensor networks.

Key words: *mobile sensors, sensor networks, precision mechatronic devices, digital automatic control system.*

Лихошерстов Д.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лебедев Д.Ю.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ НА ВІДЕОРЯДІ ЗАСОБАМИ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

У роботі проведено порівняльне дослідження механізмів класифікації інформації на зображенні. Обґрунтовано, що жести є важливою складовою механізмів комунікації в суспільстві, керуванні сучасними технічними засобами та дозволяють покращити соціальний рівень людей із вадами слуху та мовлення за рахунок впровадження систем сурдоперекладу в побут. Зазначено, що процес обробки жестів використовує машинне навчання, котре має можливість в умовах реального часу класифікувати та виконувати ідентифікацію жестів на відеокадрах. Сформовані основні переваги та недоліки систем розпізнавання жестів та визначено задачу досліджень, котра полягає у порівнянні наявних механізмів розпізнавання та створенні власних.

Сформовано та обґрунтовано критерії оцінювання системи розпізнавання даних на зображенні – точність ідентифікації, швидкодія, крос-платформеність, можливість апгрейду та масштабованості, легковажність системи та можливість підтримки готового рішення.

Створено нейромережу багатощарового перцептрона із навчальної та тестової бази даних MNIST database. Проведено навчання та тестування нейромережі по визначення даних на зображенні для трьох різних активаційних функцій – сигмоїдна функція, ModReLU (ReLU з витоком) та тангенс. Встановлено, що ModReLU має найвищий рівень точності визначення.

Досліджено наявні фреймворки по розпізнаванню даних та визначено, що фреймворк MediaPipe від Google має крос-платформеність, відкритість коду та підтримку розробників, відкритість коду, а також дає високу точність визначення, особливо для класифікації жестів верхніх кінцівок в реальному часі.

Обґрунтовано та сформовані напрями для їх подальшого вдосконалення системи сурдоперекладу.

Ключові слова: сурдопереклад, машинне навчання, передача даних, розпізнавання жестів, нейромережа, MediaPipe, база даних MNIST database.

Постановка проблеми. Передача інформації між людьми називається комунікація і може відбуватися за допомогою одного із трьох можливих способів – за допомогою тексту або мовлення або жестів. Слід зазначити, що жестова мова є повноцінним підходом для обміну інформації. Широковживані слова є можливість представити у вигляді готового набору жестів, а коли для якихось слів відсутні жести, то використовуючи дактильну абетку можна по буквах відтворити слово. Наочний приклад це американська жестова мова – American Sign Language і її база даних готових жестів – American Sign Language Online Dictionary [1].

Впровадження жестів в сучасний побут людей відбувається із розвитком технологій і на це є три об'єктивних причини. По-перше, жести виступають одним з основних механізмів передачі інформації. По-друге, розвиток доповненої (AR) [2] та віртуальної (VR) [3] реальності дозволило запро-

вадити жестове керування девайсами. По-третє, використання жестової мови зростає при збільшенні кількості людей із вадами слуху та мовлення, а впровадження систем сурдоперекладу допомагає адаптувати таких людей до реалій суспільства.

Відстежування руху верхніх кінцівок, їхнє положення і форму – являється основним компонентом для систем детермінування жестів в реальному часі. Процес розпізнавання жестів є математичною інтерпретацією людських рухів, що обчислюються сучасними технічними засобами. Такий підхід дозволяє накопичувати, обробляти та аналізувати інформацію як і на стороні клієнтських девайсів, так і за допомогою хмарних обчислень, тобто досягати рівня крос-платформеності і це може означати, що розробка подібних процесів повинна реалізовуватися у вигляді легковажної моделі.

Сучасні підходи дозволяють визначати жести в реальному часі. Тобто в потоці вхідних даних визначати момент, коли демонструється певний жест, а далі, із залученням механізмів класифікації визначати сам жест.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В статті “Аналіз сучасних систем розпізнавання дактильно-жестової мови для системи сурдоперекладу” Лихошерстов Д.О та Лебедев Д.Ю [4] були розглянуті основні технології розпізнавання жестів і було встановлено, що метод на основі отримання зображення дозволяє ґрунтовно підходити до створення уніфікованих рішень систем сурдоперекладу.

Основна невизначеність у наявних механізмах по захопленні у відеоряді жестів і їх перекладу є алгоритми. Перевага алгоритму розпізнаванню жестів є його, доволі висока стабільність роботи і простота реалізація. Водночас недоліками таких алгоритмів в першу чергу є відсоток коректного перекладу, низька ефективність та чутливість до дії зовнішніх факторів, таких як освітленість, технічні характеристики камери, задній фон, а також віддаленість камери від об’єкта.

За останнє десятиріччя, алгоритми розпізнавання жестів в яких використовуються методи машинного навчання (Machine Learning – ML) дозволили зневолувати більшістю недоліків шляхом підвищення складності обчислень. Такий прогрес породив задачу в знаходженні балансу між точністю розпізнавання та складністю системи розпізнавання, де під складністю розуміється побудова та громісткість її архітектури, швидкодія роботи, розміри бази даних для навчання.

Постановка технічного завдання. У даній статті пропонується, за допомогою дослідження, провести порівняльний аналіз рішень на основі Machine Learning для визначення образу жестів і відповідно процесу їх класифікації. Вибраний спосіб буде використаний для системи сурдоперекладу, детальний опис котрої наводиться в статті [4]. Пропонується розглянути два підходи:

1. Створення власного фреймворку, котрий буде містити елементи машинного навчання, тобто самостійно буде ідентифікувати образ символу у вхідному наборі даних.

2. Використання готового рішення, що містять готову структуру нейромережі та наявну базу даних вхідних значень.

Для оцінювання кожного із підходів пропонується ввести ряд критеріїв:

1. Точність ідентифікації – найбільш пріоритетний критерій оцінки є точність визначення жестів.

2. Швидкодія – для здійснення сурдоперекладу в реальному часі.

3. Крос-платформеність – один із критеріїв універсальності сурдоперекладу.

4. Можливості апгрейду та масштабованості – для універсальної системи сурдоперекладу важливо додавати нові жестові мови і вдосконалювати переклад поточних.

5. Легковажність системи- реалізація системи, що буде підходити під велику кількість сучасних девайсів.

6. Система підтримки готових рішень – можливість фіксити баги та додавати нові фічі.

Виклад основного матеріалу дослідження.

З врахуванням вищевизначених критеріїв пропонується спростити задачу визначення жесту у відеоряді, до класифікації введеного користувачем зображення на основу бази даних по якій навчалася нейромережа. Пропонується реалізувати нейромережу, котра буде вгадувати цифри від 0 до 9. Користувач повинен самостійно ввести символ, а система самостійно визначить цифру в діапазоні від 0 до 9.

Слід зазначити, що подальші дослідження в даній праці не ставлять на меті аналіз методів розпізнавання жестів та класифікацію жестів, алише визначення напрямку наукових досліджень – використовувати готові, більш універсальні, бібліотеки (фреймворки) чи створювати нові, власні, що будуть заточені під конкретні задачі.

Для реалізації власного фреймворку пропонується створити нейромережу моделі на основі багатошарового перцептроні із вибірковою базою навчання. Наша нейромережа буде мати вхідний шар, прихований шар та шар вихідних нейронів (рис. 1).

При навчанні використаємо три активаційні функції почергово і перевіримо таким чином чи впливає функція активації на якість роботи нейромережі. Використаємо три основні функції активації – сигмоїдна функція, ModReLU(ReLU з витокком) та тангенс (рис. 2). Слід звернути увагу, що ModReLU не має експонентів, а це дозволяє проводити розрахунки набагато швидше.

Навчати нашу нейромережу будемо за допомогою MNIST database [5] – ресурс із готовими базами даних для навчання нейромереж. В цій базі даних знаходиться 60 000 тисяч даних для навчання та 10 000 тисяч для тестування. База даних має власну файлову систему, де є файл “train-labels-idx1-ubyte” із цифрами від “0” до “9” та файл “train-images-idx3-ubyte” із пікселями для них. Всі навчальні дані в нас будуть представлені у бінарному вигляді, де білому кольору відповідає логічне значення 1, а чорному кольору відповідає логічне значення 0. Саме зображення в базі даних має розміри 28 на 28 пікселів – отримуємо 784 вхідних нейрони.

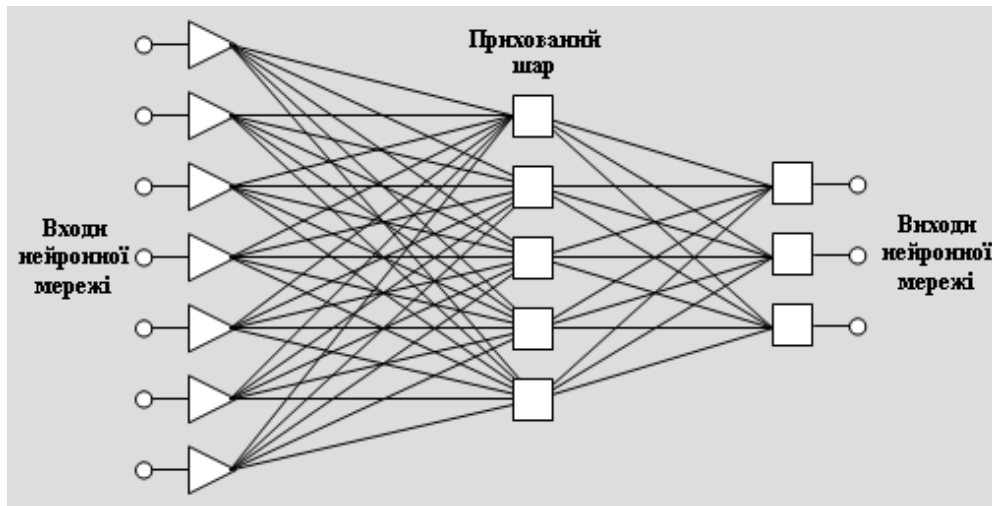


Рис. 1. Загальна структура багатoshарового персептрону

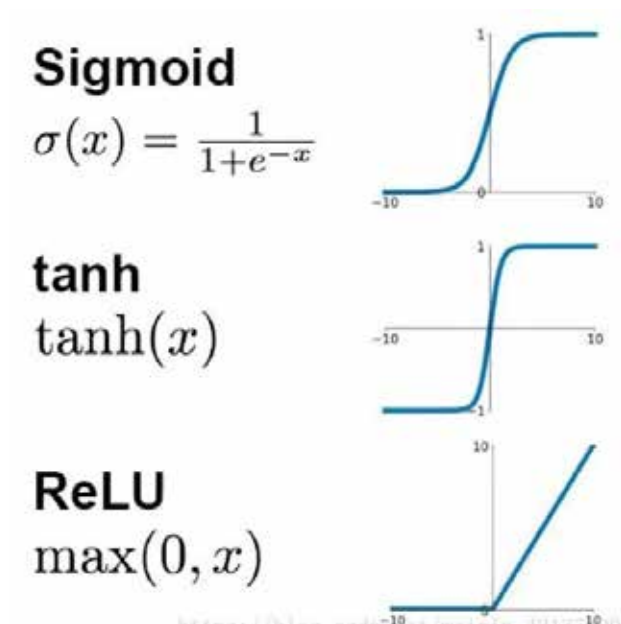


Рис. 2. Графік та формула функцій активації

Так як відбувся процес нормування (кольоровий діапазон представлений в діапазоні від 0 до 1), то нам необхідно внести обмеження для активаційних функцій. Для сигмоїдної функції змін немає. Для ModReLU та $\tanh(x)$ змінюється діапазон.

Враховуючи всі особливості було створено власний фреймворк, де користувач курсором миші вводить символ, а нейромережа видає відповідь. Проект був створений на C++ в середовищі програмування Visual Studio 2022 із використанням бібліотеки Qt для створення крос-платформового застосунку (рис. 3). За рахунок бібліотеки Qt та інтегрованого середовища розробки Qt Creator є можливість з легкістю адаптувати створений застосунок до інших операційних систем. Інтерфейс застосунку зображений

на рис. 4 та лістинг програми був завантажено на GitHub [6]. Відео роботи застосунку можна знайти на платформі Google [7].

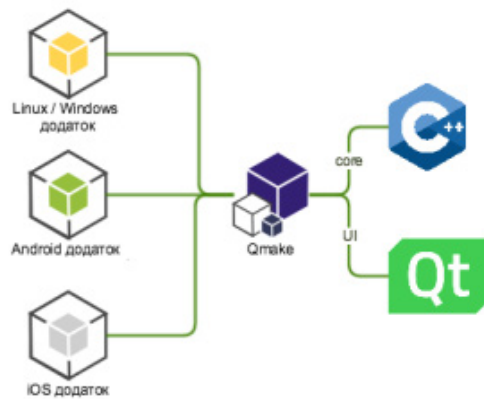


Рис. 3. Функціонально-структурна схема додатку

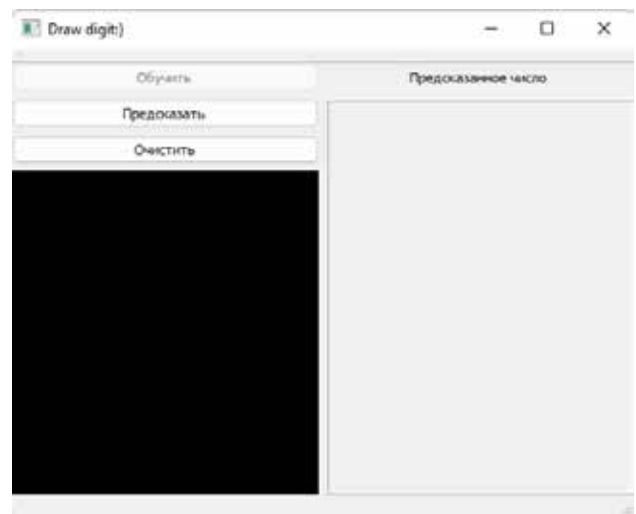


Рис. 4. Загальний вигляд користувацького інтерфейсу додатку по визначенню цифр на вхідному зображенні

Значення точності визначення для активаційних функцій

№	Активаційна функція	Ra навчання	Ra тестування
1	Сигмоїдна функція	Від 85.8946 до 79.181	68.79
2	ModReLU	Від 85.6881 до 99.28391	97.26
3	th(x)	Від 8.86124 до 9.02778	8.92

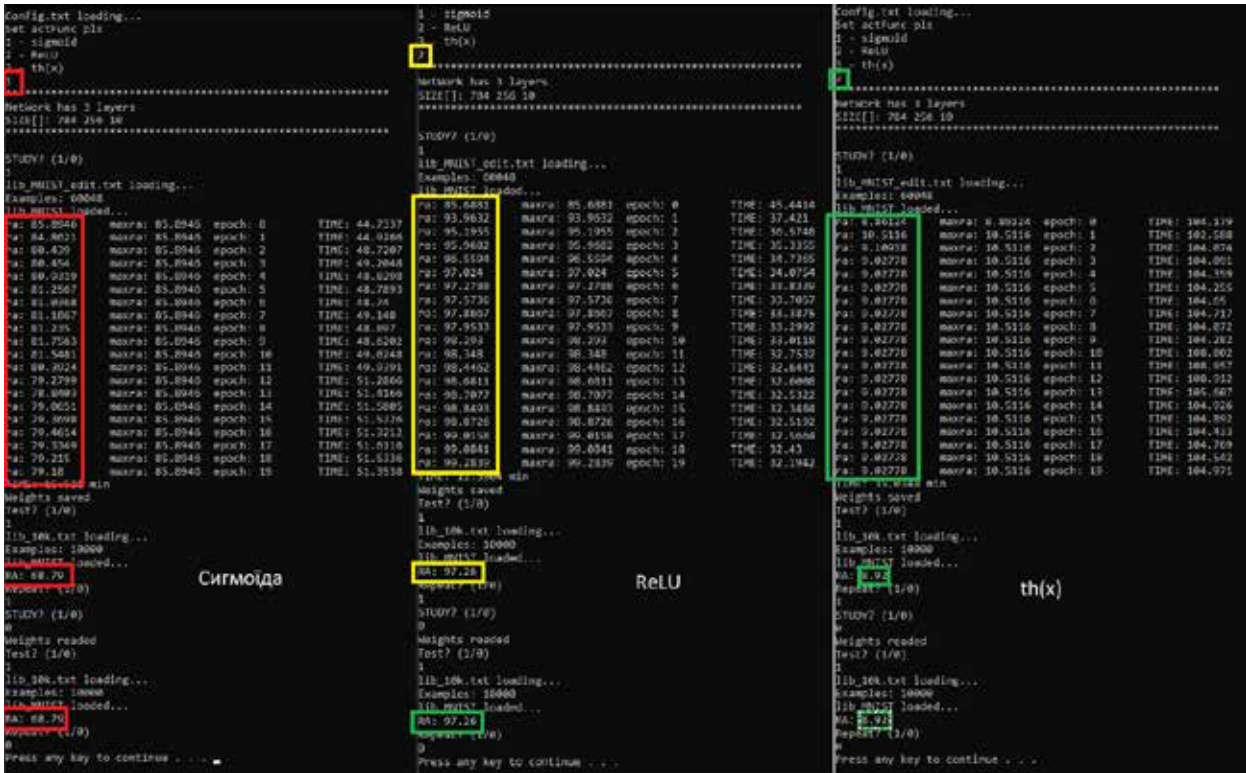


Рис. 5. Результати роботи неймережі для різних активаційних функцій

В ході тестування фреймворку було встановлено, що:

1. Точність система із функцією активації ModReLU має найбільшу точність (рис. 5) в межах 85% – 96% в залежності від навчального датасету. Детальніше на табл. 1 та рис. 5.
2. Система не має жодних сповільнень в роботі на системі із процесором AMD Ryzen 3900X та 32GB пам'яті DDR4.
3. За рахунок використання бібліотеки Qt наявна система крос-платформеності.
4. Систему можна вдосконалити за рахунок використання інших функцій активації. В даному дослідженні ModReLU продемонструвала найвищу точність та найбільшу швидкодію, а отже можна спробувати знайти й більш швидку функцію, котра не містить експоненту.
5. Реалізована система сумарно займає 1.59GB, але самий білд файл 194КБ.
6. На поточний момент в даному рішенні не представлено системи підтримки.

Як ми можемо бачити, дане рішення має доволі високе значення похибки (> 10%) та досить чутливе до якості вхідних даних. А якщо врахувати, що рука людини має до тридцяти геометричних особливостей (рис. 6) визначених на основі будови пальців та долоні, то можна стверджувати, що збільшення складності вхідних даних не приведе до збільшення точності розрахунків та в цілому не дозволить коректно визначати жести в реальному часі[8]. Отже, розробка власного фреймворку не має перспектив та потрібно розглянути наявні варіанти.

Існує багато фреймворків машинного навчання і це пояснюється трендами на Machine Learning (скорочено ML – машине навчання) в поточний момент (рис. 7).

Розглянемо сучасних гігантів ринку машинного навчання і почнемо із гігантів хмарних обчислень – рішення, де розрахунки відбуваються не на стороні користувача. Рішення від IBM, Google, Microsoft, Amazon мають ML сервіси, що

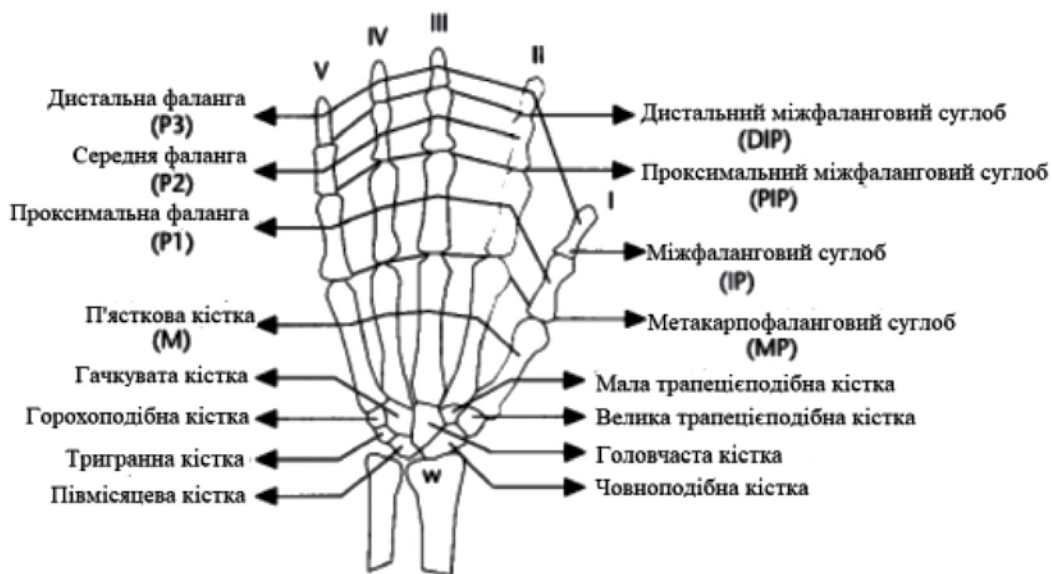


Рис. 6. Скелет руки

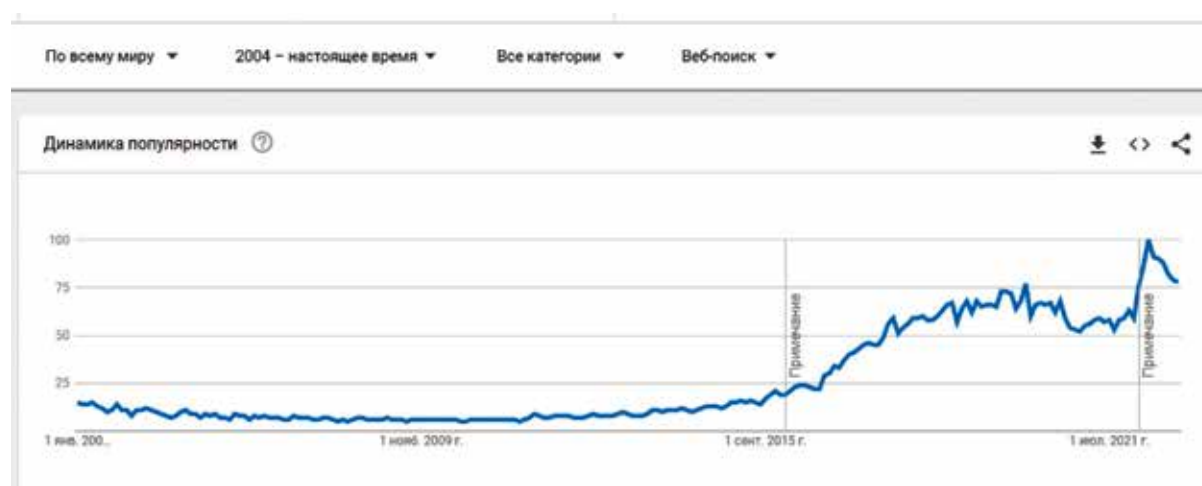


Рис. 7. Залежність записів Machine Learning в часі

дозволяють розпізнавати зображення або запускати різноманітні нейромережі для визначення інших даних. Всі розрахунки відбуваються в хмарних системах і майже не можливо зробити реал тайм систему – тому вони нам не відповідають нашим критеріям.

Також можна розглянути різноманітні готові бібліотеки. Вони дозволяють робити все те саме, що і клауд сервіси, але локально. Більшість із них написані на Python і створені у вигляді готового шаблону на основі котрого є можливість розробити саме власну власний алгоритм. Такий підхід дозволяє готові рішення адаптувати під власні задачі, але недоліком цих бібліотек є часткова закритість вихідного коду та заборона на використання їх

в комерційних проектах. Кожні дії потрібно погоджувати із розробниками бібліотеки.

Серед різноманітних фреймворків існує рішення, котре в середині 2019 року компанія Google представила на конференції з комп'ютерного зору та розпізнавання образів – MediaPipe. Крос-платформний фреймворк для машинного навчання з моделями для розпізнавання обличчя, рук, волосся та різних об'єктів навколишнього світу. При цьому, вихідний код знаходиться у відкритому доступі і кожен розробник має можливість інтегрувати MediaPipe у власні рішення. На рис. 8 представлено класифікацію жестів руки за допомогою MediaPipe.

Фреймворк MediaPipe містить три моделі штучного інтелекту, що працюють у взаємозв'язку.

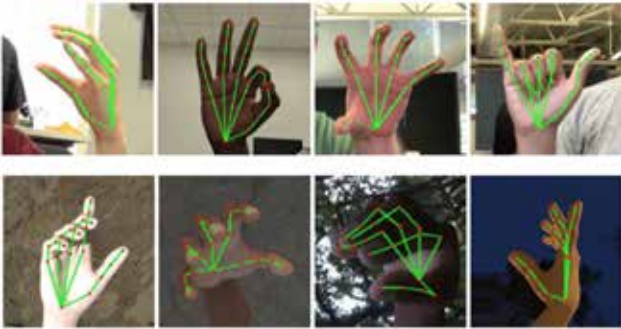


Рис. 8. Робота крос-платформеного фреймворку MediaPipe

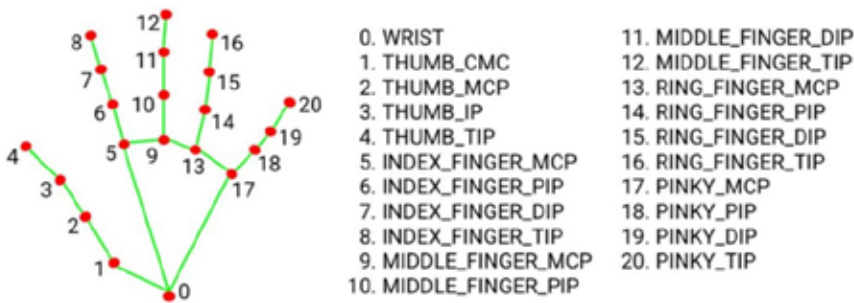
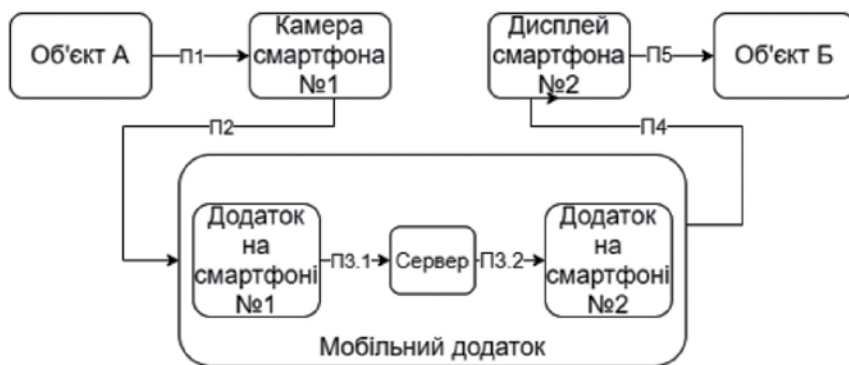


Рис. 9. Модель для розмітки долоні

Детектор долоні BlazePalm – аналізує кадри відеоряду і повертає прямокутні ділянки, в яких знаходяться долоні. Модель для розмітки долоні – аналізує прямокутну область зображення від BlazePalm та повертає 21 координату, що відповідає розташуванню суглобів та пальців і таким чином формують скелет руки (рис. 9). Модель, що класифікує отриману конфігурацію точок та ідентифікує їх із вхідним набором жестів;

Даний фреймворк дозволяє відрізнити закриті та відкриті положення та володіючи інформацією про точне розташування маркерних точок, можна ефективно будувати різноматні моделі. Процес детектування верхніх кінцівок можна налаштовувати в широкому діапазоні (від максимальної точності до визначення кількості рук на кадрі).

В результаті детального вивчення характеристик на офіційному сайті [9] та тестування MediaPipe [10] було встановлено, що даний



Процес передачі інформації від об'єкта "Б" до об'єкта "А"

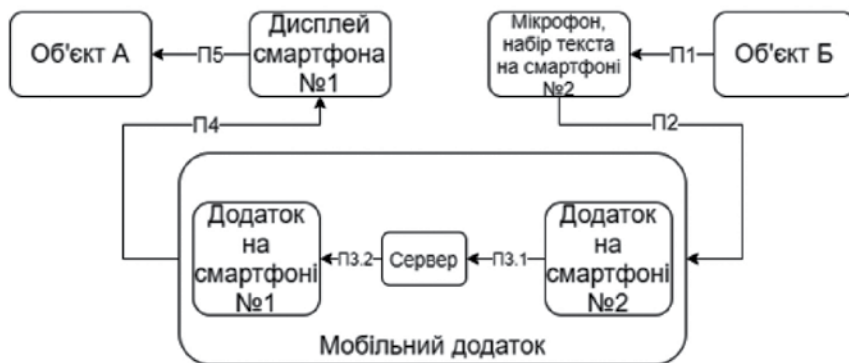


Рис. 10. Структурно-функціональна організація системи розпізнавання дактильно-жестової мови

фреймворк відповідає всім сформованим вище критеріям та дозволяє гнучко видозмінювати систему сурдоперекладу.

Основним подальшими дослідженнями є модифікація структурно-функціональної організації системи [4] розпізнавання дактильно-жестової мови (рис. 10) і реалізація прикладного результату на основі фреймворку MediaPipe.

Висновки. Проведено порівняльний аналіз фреймворків для визначення даних на зображенні та встановлено, що фреймворк MediaPipe від компанії Google дозволяє реалізувати систему сурдо-

перекладу на основі структурно-функціональної схеми, представленій в праці “Аналіз сучасних систем розпізнавання дактильно-жестової мови для системи сурдоперекладу” Лихошерстов Д.О та Лебедев Д.Ю.

Створено та проведено дослідження над власним фреймворком. Встановлено, що поточний рівень реалізації багатошарового перцептрона не дозволяє якісно визначати певні дані на зображенні. Експериментальним шляхом встановлено, що не експоненціальні функції активації мають більшу швидкодію та точність визначення даних на зображенні.

Список літератури:

1. American Sign Language Dictionary – <https://www.signasl.org/>.
2. AR окуляри від Facebook – <https://tech.liga.net/gadgets/novosti/reagiruet-na-jesty-i-impulsy-facebook-razrabatyvaet-gadjet-dlya-upravleniya-ochkami-ar>.
3. Керування Sony PlayStation VR за допомогою жестів – <https://www.playstation.com/uk-ua/ps-vr/>.
4. Стаття Лихошерстов Та Лебедев – <http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/32-71-6>.
5. База даних MNIST database – <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>.
6. Лістинг фреймворку – <https://github.com/date7887/Multilayer-perceptron>.
7. Відео роботи застосунка – <https://drive.google.com/drive/folders/19-RL--k3L91iW2-1JPjoTAEIaxpxeA8y?usp=sharing>.
8. Y. Bulatov, “Hand recognition using geometric classifiers,” / S. Jambawalikar, P. Kumar, and S. Sethia // in Biometric Authentication. Springer, –2004, – pp. 753 759.
9. Офіційний сайт MediaPipe та приклади роботи – <https://google.github.io/mediapipe/>.
10. Процес налагодження і тестування фреймворка MediaPipe – <https://www.youtube.com/watch?v=pG4sUNDOZfg&t=757s/>.

Lykshosherstov D.O., Lebedev D.Yu. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE WAYS OF IMAGE DETERMINATION ON A RANGE OF VIDEOS USING MACHINE LEARNING TOOLS

In work, a comparative study of the mechanisms of classification of information on the image was carried out. It is substantiated that gestures are an important component of communication mechanisms in society, management of modern technical means and allow for the improvement of the social level of people with hearing and speech impairments due to the introduction of sign language translation systems into everyday life. It is noted that the gesture processing process uses machine learning, which has the ability to classify and identify gestures on video frames in real-time. The main advantages and disadvantages of gesture recognition systems are formed, and the research task is defined, which consists of comparing existing recognition mechanisms and creating their own.

The criteria for evaluating the image data recognition system were formed and substantiated – identification accuracy, speed, cross-platform compatibility, the possibility of upgrading and scalability, the lightness of the system, and the possibility of supporting a ready-made solution.

A multilayer perceptron neural network was created from the training and test database MNIST database. The training and testing of the neural network were carried out to determine the data on the image for three different activation functions – sigmoid function, ModReLU (ReLU with leakage), and tangent. ModReLU was found to have the highest level of detection accuracy.

Existing data recognition frameworks were investigated and found that Google's MediaPipe framework has cross-platform, open code and developer support, available code, and high detection accuracy, especially for real-time upper limb gesture classification.

Directions for their further improvement of the sign language translation system have been substantiated and formed.

Key words: sign translation, machine learning, data transfer, gesture recognition, neural network, MediaPipe, MNIST database.

УДК 621.391

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/04>**Уривський Л.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Шмігель Б.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ БЕЗПРОВОДОВИХ КАНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

Сучасне суспільство прагне задовольнити потреби з боку отримання інформації за допомогою високої швидкості передачі та достовірності, саме тому проблема постає досить гостро в умовах обмежених ресурсів каналів зв'язку, а саме частотних та енергетичних. Перед науковцями та інженерами стоїть завдання як найефективніше використовувати дані ресурси та при цьому не втрачати показники головних параметрів каналу.

Незважаючи на те, що основним завданням існуючих та перспективних телекомунікаційних систем є передача заданого обсягу інформації, їх побудова часто ґрунтується виключно на критеріях достовірності. Саме тому актуальним для безпроводових систем зв'язку є завдання забезпечення ефективності використання обмежених енергетичних та частотних ресурсів каналу зв'язку. У той же час, для багатьох відомих систем характерна невиправдана надмірність засобів, що забезпечують достовірність та продуктивність каналу зв'язку, низька ефективність використання частотного та енергетичного ресурсів лінії зв'язку.

Для оцінки ефективності використання ресурсу каналу зв'язку використовується поняття інформаційної ефективності як відношення продуктивності джерела повідомлень, яка характеризує швидкість передачі інформації, яку отримує кінцевий користувач до пропускної здатності каналу зв'язку, яка використовується як для передачі інформації користувача, так і для передачі технічної інформації. Пропускна здатність каналу зв'язку оцінюється границею Шеннона і є максимально можливою швидкістю передачі інформації по каналу зв'язку.

Досягнення найкращої інформаційної ефективності означає прагнення максимально повно використовувати інформаційний ресурс каналу зв'язку з урахуванням перерозподілу енергетичних та частотних ресурсів каналу зв'язку.

У статті розглянуто ефективність використання ресурсів каналів зв'язку з багатопозиційною маніпуляцією та завадостійким кодуванням. Запропоновано комплексну методику оцінки інформаційної ефективності систем передавання дискретних сигналів. При цьому слід зауважити, що однакова інформаційна ефективність може бути досягнута як за низької частотної ефективності, чи за низьких показників енергетичної ефективності. Отже, автономно розглядати параметри інформаційної ефективності не доцільно, а сумісно з іншими показниками ефективності.

Ключові слова: енергія сигналу, границя Шеннона, частотна ефективність, енергетична ефективність, BER, багатопозиційні сигнали, сигнально-кодові конструкції.

Постановка проблеми. Для вирішення обмежень ресурсу каналу зв'язку, перспективним являється пошук нових методів передачі інформації, вибору ефективного виду модуляції та завадостійкого кодування.

Різні системи зв'язку для передачі дискретних і безперервних повідомлень, незважаючи на їх відмінність як за призначенням, так і за способами реалізації, характеризуються певними кількісними показниками. Основними з них є швидкість і достовірність передачі інформації.

Для забезпечення заданої швидкості передачі інформації R і заданої достовірності доводиться використовувати деяку потужність сигналу в точці прийому P_c і займати певну смугу частот в каналі зв'язку. Яка потужність і яка смуга частот при цьому будуть потрібні, залежить від використовуваної системи передачі інформації, а саме, від способу трансформації повідомлення в сигнал (модуляція, кодування і т.д.).

Ефективність використання ресурсів каналу описує показник інформаційної ефективності,

який являє собою відношення продуктивності до пропускної здатності каналу зв'язку. Для досягнення високого показника інформаційної ефективності необхідно оперувати оптимальним вибором сигнально-кодових конструкцій.

Являє інтерес порівняння між собою різні системи зв'язку по мірі ефективності використання ними основних ресурсів каналу — потужності сигналу і займаної смуги частот — і досягнутої при цьому пропускної здатності і продуктивності.

Нижче це порівняння проводиться для деяких систем у випадку, коли сигнали передаються в каналі з адитивним білим гауссовим шумом. При передачі дискретних повідомлень достовірність передачі визначається ймовірністю помилки в прийомі одиночного символу P_b .

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В якості показників, які використовуються для порівняння телекомунікаційних систем на фізичному рівні, проф. Зюко А. Р. запропоновано [1, 2] коефіцієнти енергетичної β і частотної ефективності γ , які кількісно дають оцінку питомої енергетичної і частотної ефективності систем передачі інформації (СП):

$$\beta = \frac{R}{\alpha} \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{R}{F} \quad (2)$$

де R – швидкість передачі символів від джерела (продуктивність джерела)

β – коефіцієнт використання каналу по потужності (показник енергетичної ефективності);

γ – коефіцієнт використання каналу по смузі частот (показник частотної ефективності);

$\alpha = P_c / N_0$ – енергетичний показник, що відображає відношення потужності сигналу в точці прийому P_c до спектральної щільності шуму N_0 ;

ΔF – смуга частот каналу, що надається для передачі сигналу.

Збільшення значень кожного з показників є ознакою зростання ефективності використання ресурсів.

Узагальненим показником ефективності використання ресурсів каналу зв'язку в [1] запропоновано показник інформаційної ефективності η :

$$\eta = \frac{R}{C} = \frac{R}{\Delta F \log(1+Q)} = \frac{\alpha}{\log(1+\frac{\alpha}{\beta})}, \quad (3)$$

де C – пропускна здатність каналу зв'язку, що визначається формулою Шеннона [2]:

$$C = \Delta F \log(1+Q), \quad (4)$$

де $Q = P_c / P_{ш}$ – енергетичний показник, що відображає відношення потужності сигналу в точці

прийому P_c до потужності шуму $P_{ш}$ у смузі прийому сигналу ΔF :

$$P_{ш} = \Delta F * N_0. \quad (5)$$

В припущенні, що значення $\eta_{max} = 1$, в [1] запропонована наступна гранична залежність між β і γ , виходячи з співвідношень (1)...(3):

$$\beta = \frac{\gamma}{2^{\gamma} - 1} \quad (6)$$

Формула (6) є граничною і показує найкращий обмін між β і γ . Проте в ній закладено діалектичне протиріччя показників: при незмінному значенні $\eta_{max} = 1$ показник β досягає максимуму при $\gamma = 0$, а γ досягає максимуму при $\beta = 0$.

При цьому значення показника γ може змінюватися в широких межах (від 0 до значень, які наближаються до ∞), в той час, як β обмежений зверху: $\beta_{max} = 1 / \ln 2 = 1,443$ при $\Delta F \rightarrow 0$.

Отже, при зростанні енергетичної ефективності β , частотна (спектральна) ефективність γ зменшується, тому максимальне значення β досягається при мінімальному γ і навпаки.

Це одна з головних закономірностей побудови нових телекомунікаційних систем: розробник системи має можливість вибрати одну із стратегій – максимум частотної (при мінімальній енергетичній) ефективності, максимум енергетичної (при мінімальній частотній) ефективності або компромісну стратегію.

Лінія показника інформаційної ефективності $\eta_{max} = 1$ в [1] побудована в площині енергетичної β і частотної γ ефективності у відповідність із співвідношенням (6).

З використанням співвідношень (1), (2), (5) можна показати, що показники β , γ і Q пов'язані співвідношенням:

$$\gamma = \beta \cdot Q. \quad (7)$$

Тоді, при використанні логарифмічного масштаба, згідно з співвідношенням (7), лінії з однаковими значеннями перевищення потужності сигналу над потужністю шуму $Q = \alpha / F = P_c / P_{ш}$ являють собою прями з кутом нахилу 45° в тій же площині, що і лінія показника інформаційної ефективності.

Постановка завдання. Наявність єдиної лінії інформаційної ефективності для значення $\eta_{max} = 1$ істотно ускладнює вибір компромісної стратегії при альтернативному протиріччі: максимізація β при заданій якості зв'язку (наприклад, при $P_b = const$ у разі передачі дискретних повідомлень), або максимізувати γ при $P_b = const$.

Очевидно, що порівняння систем за узагальненим показником інформаційної ефективності η

з використанням єдиної границі для $\eta = 1$ є недостатньо повним і об'єктивним.

Тому **однією з задач модифікації** існуючої методики є введення узагальненої шкали ефективності η для визначення числових значень в області $\eta = [0,1]$, яка обмежена межею Шеннона [1,2].

Така модифікація вперше запропонована в [3], при якій номограма (рис.1) дозволяє провести гнучкий вибір компромісної стратегії з використанням шкали $\eta = [0,1]$, оскільки в реальних системах $\eta < 1$.

Друга задача витікає з принципової можливості використання площини відображення $\{\beta; \gamma\}$ для оцінки інформаційних можливостей дискретних сигналів.

Незважаючи на те, що знаменник в (3) для показника η визначений для пропускної здатності безперервного сигналу (4), чисельник цього виразу цілком може бути використаний для випадку передачі дискретних повідомлень в заданих частотно-енергетичних умовах при обумовлених умовах достовірної передачі $P_b \leq P_{b \text{ зад.}}$

Важливо відзначити, що надлишкове кодування, як інструмент досягнення необхідної достовірності, є важливим фактором зміни потрібного для його реалізації частотного та енергетичного ресурсу: при збільшенні швидкості кодування погіршується частотна ефективність, в той же час підвищується енергетична ефективність.

Тому **третьою задачею** є розширення діапазону відображуваних параметрів (достовірності помилки до і після кодування) при оцінці інформаційної ефективності різних систем.

Четвертою задачею є відображення ефективності використання сигналів заданого виду модуляції на додатковій шкалі відношення сигнал/шум, накладеної на простір зазначених трьох попередніх показників ефективності. Така шкала використовувалася автором методики [1], однак не була об'єднана в нерозривний комплекс.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для вирішення першої з поставлених задач побудуємо еквіпотенціальні криві, які б відображали точки з однаковою інформаційною ефективністю η неперервного або дискретного каналу. Для цього скористаємося формулою (3), де замість інформаційної ефективності підставимо значення 0,5; 0,25; 0,125; 0,0625. Результати представлені на рис. 1.

Згідно запропонованій шкалі, інформаційна ефективність η зростає з наближенням до межі Шеннона, де вона наближається до 1.

При цьому слід відмітити, що однакова інформаційна ефективність може бути досягнута як при

низькій або високій частотній ефективності γ , чи при низьких або високих значеннях показника енергетичної ефективності β . Отже, автономно розглядати параметр інформаційної ефективності η не доцільно, а лише сумісно з іншими показниками ефективності.

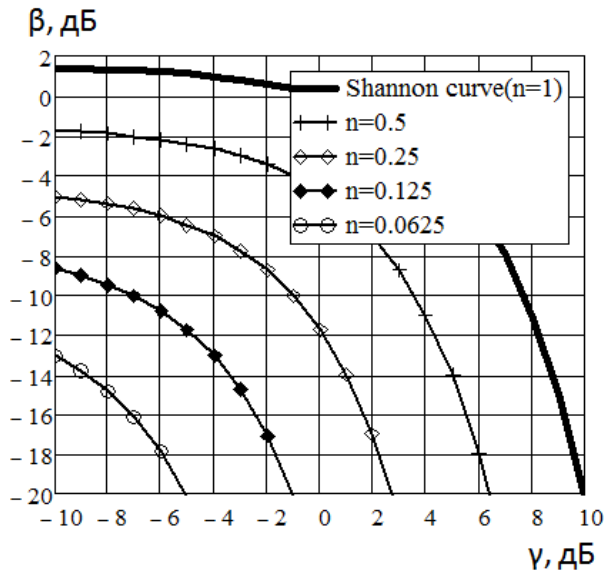


Рис. 1. Границя Шеннона і еквіпотенціальні криві, що відображають рівну інформаційну ефективність

Модифікація та формування комплексної методики оцінки інформаційної ефективності стосовно систем передавання дискретних сигналів.

При передачі дискретних сигналів з позиційністю M зі швидкістю V символів в секунду при ймовірності помилки прийняття символу в каналі P_s максимальна швидкість передачі інформації у дискретному каналі – пропускна здатність C_d визначається виразом:

$$C_d = V \cdot \left[\log M + P_s \log \frac{P_s}{M-1} + (1-P_s) \log(1-P_s) \right]. \quad (8)$$

Слід зазначити, що, згідно з теоремою Шеннона, швидкість C_d в каналі, де передбачається використання завадостійкого кодування, одночасно є обмеженням для продуктивності джерела дискретних повідомлень R_d , і, як наслідок, продуктивності системи R_d . Отже, $R_d \leq C_d < C_s$.

В каналі без кодування допустимо $R_d = C_d$.

Для цього випадку (без кодування) співвідношення для узагальненої інформаційної ефективності для дискретного каналу зв'язку [4] справедливо:

$$H_{10} = \frac{1}{2} \left(\log M + P_s \log \frac{P_s}{M-1} + (1-P_s) \log(1-P_s) \right) \quad (9)$$

Тоді

$$\eta = \frac{\frac{1}{2} \left(\log M + P_s \log \frac{1}{M-1} + (1-P_s) \log(1-P_s) \right)}{\log(1+h^2)} = \frac{1}{2} H_{10} \quad (10)$$

або

$$\eta_d = \frac{C_d}{C} = \frac{R}{C} = \frac{1}{2} \left(\log M + P_s \log \frac{1}{M-1} + (1-P_s) \log(1-P_s) \right), \quad (11)$$

де $h^2 = Q = P_c / P_{ш} = \alpha / V$, виходячи з допущення що $F = 2V$. Остаточо

$$\eta = \frac{R}{C} = \frac{H_{1d}}{\log(1+Q)}. \quad (12)$$

Саме єдність фізичної сутності показника η виду (12) дає підстави вважати допустимим використання уніфікованої шкали η $[0,1]$ для всіх видів сигналів.

Відповідно, для дискретних сигналів коефіцієнт енергетичної ефективності визначається виразом:

$$\beta_d = \frac{C_d}{\alpha} = \frac{R}{\alpha} = \frac{\log M + P_s \log \frac{1}{M-1} + (1-P_s) \log(1-P_s)}{h^2} = \frac{\gamma}{Q}, \quad (13)$$

Коефіцієнт частотної ефективності визначається виразом:

$$\gamma_d = \frac{R_d}{\Delta F} = H_{1d} \quad (14)$$

Перейдемо до задачі визначення параметрів ефективності для дискретних сигналів і оцінки впливу значення ймовірності помилки на інформаційні характеристики.

Визначення параметрів ефективності для дискретних сигналів.

Розглянемо кроки модифікації відомої методики оцінки ефективності СПІ для випадку дискретних сигналів на прикладі сигналів QPSK і QAM-M.

Відомо [2], що завадостійкість сигналів QPSK і QAM-M істотно розрізняється при зміні позиційності M , тобто кількості біт в одному відліку модульованого сигналу.

Виходячи з виду QAM-M, кожному значенню h^2 можна поставити у відповідність значення P_b .

На рис. 2 відображені залежності ефективності використання ресурсів багатопозиційної модуляції і СКК для різних вимог до P_b .

Збільшення позиційності M сигналів QAM-M змінює підхід до динаміки взаємозалежності частотної та енергетичної ефективності: з зростанням M покращується інформаційна ефективність η , частотна ефективність γ СПІ, а також енергетична ефективність β .

Найбільша зміна узагальненої ефективності η має місце при переході від QPSK до QAM-16 (від значення $\eta = 0,3$ до значень $\eta = 0,5...0,6$).

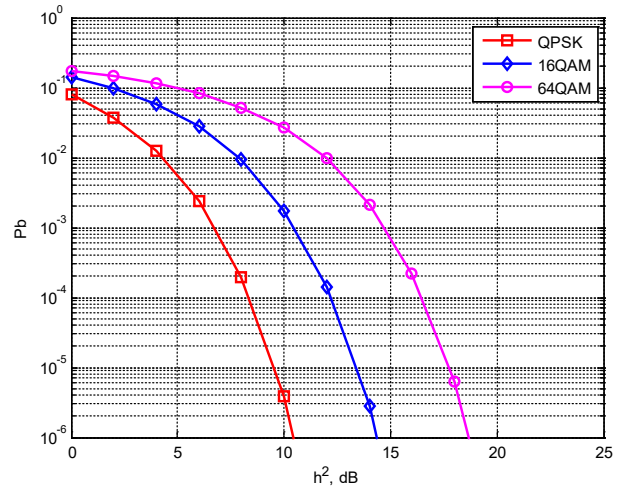


Рис. 2. Графік залежності ймовірності помилок біту від h^2 для QPSK, QAM-16, QAM-64

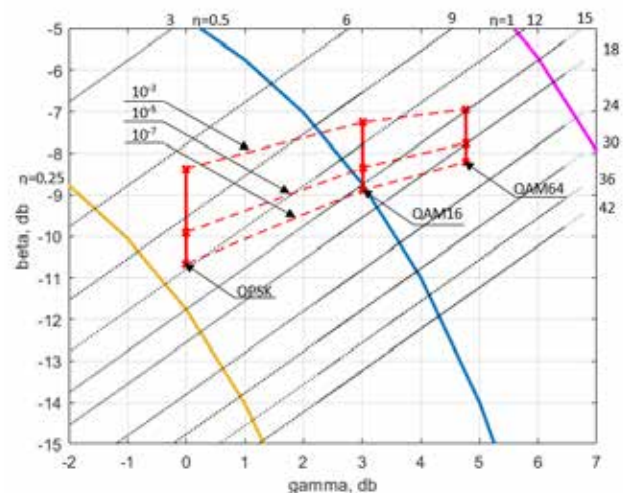


Рис. 3. Показники ефективності використання ресурсів каналів з багатопозиційними сигналами

Яскраво виражена тенденція витрати енергетичного ресурсу для забезпечення більш високої достовірності. В одиницях показника енергетичної ефективності діапазон $-8...-11$ дБ для QPSK при динаміці досяжної достовірності $10^{-3}...10^{-7}$, для QAM-16 – це $-7...-8,5$ дБ.

Завдяки додатковій шкалі абсолютних енергетичних ресурсів ($h^2 = Q$) можна судити про те, що зазначений діапазон достовірності для QPSK пов'язаний з енергетичним ресурсом каналу зв'язку $h^2 = 7...15$ дБ, а для QAM-16 – це $h^2 = 15...20$ дБ.

Отже, велика сукупна ефективність сигналів з великим значенням M вимагає більшої потужності сигналу в точці прийому. В умовах обмежень на потужність випромінювання базових станцій мобільного зв'язку подібна обставина, зокрема обумовлює істотне скорочення розмірів сот в системах нових поколінь (замість

радіусів в тисячу метрів в системах 2G, 3G до сотень метрів системах 4G і до десятків метрів в системах 5G).

Разом з тим, новим є наочне відображення тенденції погіршення узагальнених показників інформаційної ефективності при покращенні достовірності сигналів QPSK, QAM-16 та QAM-64. Можна бачити, що при покращенні достовірності, інформаційний показник η суттєво зменшується на фоні значного погіршення енергетичної ефективності β при практичній стабільності показника частотної ефективності γ .

Перевагою наведеної методики є те, що вона дозволяє порівняти між собою не тільки системи з різними видами маніпуляції, але системи зв'язку, які для підтримки високої завадостійкості використовують різні види кодування.

Введення ступені кодування впливає на (1) і (3) наступним чином [5]:

$$\beta = \frac{k \left(\log M + P_b \log \frac{P_b}{M-1} + (1-P_b) \log(1-P_b) \right)}{h^2}; \quad (15)$$

$$\eta = \frac{k \left(\log M + P_b \log \frac{P_b}{M-1} + (1-P_b) \log(1-P_b) \right)}{\log(1+h^2)}, \quad (16)$$

де k – кількість інформаційних символів в кодовому блоці довжиною n (відношення $r_k = k / n$ називається швидкістю кодування);

M – позиційність символу.

P_b – ймовірність помилки біта на виході декодера.

Результати розрахунку ефективності з урахуванням маніпуляції та завадостійкого кодування дозволяють при необхідній достовірності вибрати спосіб і оцінити ціну досягнення цієї достовірності.

Так, на прикладі сигналів з модуляцією QPSK (рис. 4) показано [5], як варіюються ефективності для досягнення необхідної бітової достовірності помилки 10^{-7} . При вихідній бітовій ймовірності 10^{-3} в каналі (точка 1), можна використовувати завадостійкий блоковий код (127,99,4) для досягнення $P_b = 10^{-7}$ (точка 4), а при вихідній бітовій ймовірності 10^{-5} в каналі (точка 2), можна використовувати завадостійкий блоковий код (127,113,2) для досягнення $P_b = 10^{-7}$ (точка 5).

Як можна помітити з рис. 4, застосування ступені завадостійкого кодування завжди призводить до зниження частотної ефективності, і чим більше швидкість коду, тим меншу частотну ефективність воно забезпечує. Водночас, слід зауважити, що при застосуванні завадостійкого кодування енергетична ефективність покращується.

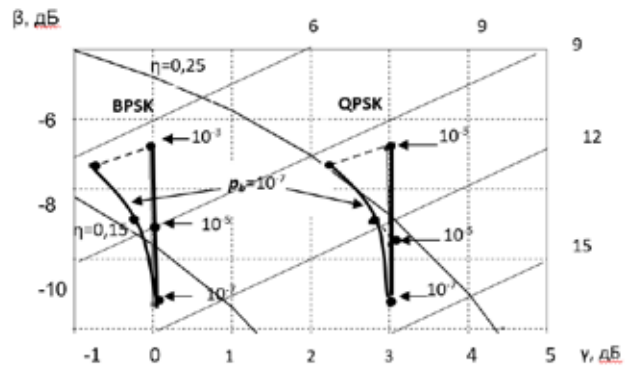


Рис. 4. Показники ефективності використання ресурсів при $P_b = 10^{-7}$

Отже, застосування нової модифікованої шкали ефективності дозволяє провести комплексну оцінку системи за показниками частотної, енергетичної та узагальненої (інформаційної) ефективності, а також за показником задіяного енергетичного ресурсу h^2 .

При цьому модифікована шкала ефективності дозволяє комплексно оцінити частотну та енергетичну ефективність використання багатопозиційної маніпуляції та завадостійкого кодування. Такий спосіб оцінки розширює спектр пошуку оптимальних за відносним критерієм енергетичної і частотної ефективності систем передачі, а також абсолютним енергетичним показником h^2 , оскільки забезпечує великі можливості варіювання параметрами для досягнення максимальної продуктивності при мінімальних витратах ресурсів каналу зв'язку.

Висновки:

Запропонована методика оцінки ефективності передавання дискретних сигналів дозволяє наочно відображати різні шкали, які визначають динаміку зміни відношення потужності сигнал шум на вході демодулятора в залежності від енергетичної ефективності β , частотної ефективності γ та узагальненої інформаційної ефективності η , тобто оцінювати ефективність використання ресурсів каналів зв'язку при всьому різноманітті засобів підвищення інформаційних можливостей цих каналів, включаючи використання сигнально-кодових конструкцій на основі сигналів багатопозиційної маніпуляції, що особливо актуально в каналах зі слабкою енергетикою, зокрема, в системах безпроводового зв'язку.

Методика дозволяє оцінити ефективність використання ресурсів каналів зв'язку з багатопозиційною маніпуляцією та завадостійким кодуванням, а також кількісно оцінити витрати на реалізацію

заходів щодо підвищення достовірності або продуктивності у вимірі запропонованих показників. Такий спосіб оцінки розширює сферу пошуку

оптимальних систем передачі, оскільки враховує можливість варіювання параметрами сигналів в каналах зв'язку в широкому діапазоні значень.

Список літератури:

1. Зюко, А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. Москва: Связь, 1972. 359 с.
2. Основи теорії телекомунікацій / О. В. Корнейко, О. В. Кувшинов, О. П. Лежнюк та ін.; за ред. М. Ю. Ільченка. Київ: ІССЗІ НТУУ «КПІ», 2010. 786 с.
3. Урывський Л.О., Мошинська А.В., Прокопенко К.А. Модифікована методика оцінки ефективності систем передачі інформації. Наукові вісті НТУУ «КПІ». Київ, 2010. № 6. С. 24-29.
4. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. Москва: Сов.радио, 1974. 720 с.
5. Урывский Л.А., Прокопенко Е.А. Оценка эффективности использования передачи с многопозиционными сигналами на основе модифицированной методики Зюко А.Г. Научно-техническая конференция «Проблемы телекоммуникаций»: Сборник тез. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. С. 127.

Uryvsky L.O., Shmigel B.O. EFFICIENCY EVALUATION OF RESOURCES IN WIRELESS COMMUNICATION CHANNELS

Modern society seeks to satisfy the needs of receiving information with high transmission speed and reliability, which is why the problem is quite acute in conditions of limited resources of communication channels, namely frequency and energy. Scientists and engineers are faced with the task of how to use these resources most efficiently and at the same time not to lose the main parameters of the channel.

Despite the fact that the main task of existing and future telecommunication systems is to transmit a given amount of information, their construction is often based solely on reliability criteria. That is why the task of ensuring the efficiency of the use of limited energy and frequency resources of the communication channel is relevant for wireless communication systems. At the same time, many well-known systems are characterized by unjustified redundancy of means that ensure the reliability and performance of the communication channel, low efficiency of use of frequency and energy resources of the communication line.

To assess the effectiveness of the communication channel resource, the concept of information efficiency is used as the ratio of the productivity of the message source, which characterizes the speed of transmission of information received by the end user to the bandwidth of the communication channel, which is used both for the transmission of user information and for the transmission of technical information. The bandwidth of the communication channel is estimated by the Shannon boundary and is the maximum possible speed of information transmission over the communication channel.

Achieving the best information efficiency means striving to make the most of the information resource of the communication channel, taking into account the redistribution of energy and frequency resources of the communication channel.

The article considers the efficiency of using the resources of communication channels with multi-position manipulation and noise immune coding. A comprehensive methodology for assessing the information efficiency of discrete signal transmission systems is proposed. It should be noted that the same information efficiency can be achieved either at low frequency efficiency or at low energy efficiency. Therefore, it is not advisable to consider the parameters of information efficiency independently, but in conjunction with other performance indicators.

Key words: *signal energy, Shannon limit, frequency efficiency, energy efficiency, BER, multi-position signals, signal-code constructions.*

УДК 621.3.038

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/05>**Хаченко О.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Лисенко О.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДИФІКОВАНА КЛАСИФІКАЦІЯ ТИФЛОТЕХНІЧНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АРХІТЕКТУРИ РОЗРОБЛЮВАНОВОГО НАВІГАЦІЙНОГО РІШЕННЯ

Проаналізовано останні дослідження та публікації щодо функціональних можливостей сучасних тифлотехнічних навігаційних систем для сліпих та слабозорих, реалізованих, зокрема, на основі GPS, інерціальних систем навігації, різноманітних Wi-Fi/Bluetooth радіомаяків, тег-міток у вигляді спеціальних кольорових картинок, технологій штучного інтелекту і технічного зору з використанням тактильних, вібраційних, звукових та інших способів взаємодії користувача з вадами зору з тифлотехнічною системою, а також специфічних пристроїв синтетичного зору з візуальними відчуттями та використанням нейронної пластичності людського мозку.

Встановлено, що протягом останнього часу на ринку спостерігається безпрецедентне зростання кількості різноманітних нових тифлотехнічних навігаційних інструментів компенсації відсутніх у незрячих та слабозорих користувачів сенсорних даних для досягнення пункту призначення, що потребує подальшого їх упорядкування та систематизації.

Розглянуто, модифіковано та розширено із врахуванням новостворених технічних рішень класифікацію тифлотехнічних навігаційних систем відповідно до трьох основних функціональних критеріїв: способу взаємодії користувача з навігаційною системою (людино-машинного інтерфейсу або інтерфейсу користувача), виду системи позиціонування та способу моніторингу оточуючого середовища.

На основі модифікованої та доповненої класифікації обґрунтовано вибір архітектури для розроблення власного тифлотехнічного навігаційного рішення на основі смартфона та програмного SPA додатку.

Обґрунтовано вибір для використання у веб застосунку фреймворку OpenCV.js, доступного та апробованого багатьма фахівцями у галузі комп'ютерного зору і який є "open source" проектом з великою аудиторією людей, що його розвивають, удосконалюють і вишукують помилки.

Ключові слова: тифлотехніка, навігація для сліпих та слабозорих, класифікація, система позиціонування, моніторинг оточуючого середовища, інтерфейс користувача, смартфон, SPA додаток.

Постановка проблеми. Відомо, що на сьогодні у світі понад 217 мільйонів людей мають проблеми із зоровою системою, із них 36 мільйонів людей є сліпими [1]. Цей стан сильно впливає на самопочуття і поведінку людини та якість її життя навіть у простих повсякденних справах. Це спонукало до пошуку нових технічних рішень, які могли б компенсувати відсутні у незрячих та слабозорих сенсорні дані та стало причиною появи великої кількості різноманітної тифлотехніки, однією з основних функцій якої є створення для людини з вадами зору можливостей отримання інформації про світ, у якому вона живе, адаптації до навколишнього середовища та для самостійного життя в суспільстві.

При цьому однією із найбільших проблем для інвалідів по зору є труднощі їх самостійного пере-

сування поза межами свого житла для досягнення пункту призначення на маршрутах у приміщенні та на відкритому повітрі, в тому числі з використанням громадського транспорту. Для надання користувачам з вадами зору необхідних та корисних даних, щоб допомогти їм дістатися до пункту призначення, відстежуючи їхнє положення, актуальним і важливим стало створення тифлотехнічних навігаційних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перші проекти в зазначеному вище напрямку були зосереджені на забезпеченні підтримки знаходження та уникнення перешкод і стали основою для розроблення численних пристроїв з мінімальними вагою, споживанням, вартістю, високою надійністю тощо. Прикладами таких рішень

є пристрої на основі сонара Bat K Cane [2], вбудована тростина UltraCane [3] та портативний пристрій MiniGuide [4].

Проте когнітивне навантаження обмежувало обсяг даних, яку користувач з вадами зору міг би ефективно засвоїти. Саме це змусило дослідників створювати навігаційні системи, що включають в себе комп'ютерно-модельовані карти навколишнього середовища і потребували кількох вбудованих датчиків та зовнішніх орієнтирів для відстеження положення користувачів. Прикладами використання одометрії є GuideCane Мічиганського університету [5] та NavBelt [6].

Одним із технічних досягнень, які зробили найбільший вплив на такі навігаційні рішення, була поява глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS) і, зокрема, глобальної системи позиціонування (GPS). Її використання потребувало проведення значної кількості обчислень, що суттєво ускладнило виготовлення компактних мобільних навігаційних пристроїв. Однак, на сьогоднішній день майже всі користувачі з вадами зору мають смартфони з достатніми обчислювальними потужностями, що дозволяє вирішити вказану вище проблему.

Тим не менш, оскільки навігаційні системи продовжували свій розвиток, а обсяг інформації, зібраної для сліпої навігації, зростав, потреба в ефективних інтерфейсах користувача стала ще більш очевидною. Кілька класичних технічних рішень передбачали також мовлення, починаючи із записаних повідомлень; пізніше також поступово були включені синтез та розпізнавання мови. На цьому етапі сенсорна заміна стала привабливим рішенням для інтерфейсів користувача навігаційної системи для сліпих, особливо коли йому потрібно було швидко отримати детальну інформацію про його найближче оточення, зберігаючи при цьому низьке когнітивне навантаження. Найкращим прикладом цього рішення є Google Maps [7] з його голосовим супроводом.

Також великого розвитку дала поява комп'ютерного зору, яка дозволила за допомогою камери надавати користувачам з вадами зору дієві підказки. Такі пристрої можуть знаходити певні картини, пейзажі, рухомі об'єкти з їх ідентифікацією і надавати по ним рекомендації та коментарі, так як це зроблено в NaviLens[8]. Ще цікавим прикладом є передача сприйняття глибини простору через тактильні відчуття. Такі прилади, зазвичай, використовують пару камер для захоплення 3D-середовища та представлення його користувачеві з вадами зору у вигляді тактильних подразни-

ків у його пальцях чи вібрації на тілі, так як це зроблено в Navi [9] чи Virtual Haptic Radar [10].

Якщо йдеться про знаходження певних реперних точок при пошуці певних картинок чи об'єктів середовища, то слід згадати про популярність Bluetooth, Wi-Fi та радіомаяки. Коли користувач з вадами зору знаходиться достатньо близько від радіомаяка, прилад бачить його поблизу, розуміючи при цьому місцезнаходження користувача і надає йому певні підказки про оточуюче середовище. Наприклад, технологія WayFindr [11] використовує навігацію за допомогою Bluetooth маяків.

Деякими розробниками створено більш незвичні пристрої, які навчають користувача з вадами зору візуалізувати певний звук, щоб у нього з'явилося розуміння в залежності від параметрів звуку про розмір об'єкта та відстань, на якій він знаходиться, так як це зроблено в vOICe[12].

Зазначена вище многогранність підходів та технічних рішень їх реалізації викликало потребу в їх систематизації, упорядкуванні та узагальненні шляхом проведення класифікації для подальшої ґрунтовної роботи з ними.

Спроба класифікувати наявні тифлотехнічні рішення станом на 2017 рік представлена в роботі [13], де автор розподіляє їх на засоби оптичної корекції, навчальні тифлотехнічні засоби, засоби пересування, засоби культурно-побутового і господарського призначення та засоби інформаційного забезпечення. Однак, ця класифікація є занадто широкою, вона не враховує особливості саме навігаційних рішень для користувачів з вадами зору, а з появою та впровадженням в останні роки в тифлотехніку новітніх технологій вже не є повною.

Один із останніх варіантів класифікації тифлотехнічних навігаційних рішень наведено в роботі [14], де авторами зроблено спробу надати цілісне уявлення про навігаційні системи для інвалідів по зору та класифікувати їх за трьома складовими функціональних можливостей, а саме: способам позиціонування, моніторингу навколишнього середовища та інтерфейсу користувача (рис. 1). Розглянуто доцільність використання класичного та нового дизайну архітектури навігаційних систем, запропоновано нову потенційну архітектуру їх побудови, функціональні вимоги та доцільність якої розглянуто виходячи із минулого досвіду, наявних технологій та потреб і обмежень користувачів з вадами зору.

Однак, наведений варіант потребує модифікації і доповнення через появу на ринку протягом останніх кількох років великої кількості нових

тифлотехнічних навігаційних інструментів компенсації відсутніх у незрячих та слабозорих користувачів сенсорних даних для досягнення пункту призначення.

Постановка завдання. З огляду на безпрецедентне зростання на ринку числа різноманітних нових тифлотехнічних навігаційних рішень актуальним і важливим є вирішення завдання їх подальшого упорядкування, систематизації та розширення класифікації тифлотехнічних навігаційних систем відповідно до трьох основних функціональних критеріїв: інтерфейсу користувача, виду системи позиціонування та способу моніторингу оточуючого середовища, а також обґрунтування вибору архітектури для розроблення власного тифлотехнічного навігаційного рішення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Зазначена вище класифікація потребує, насамперед, розширення, оскільки потрібно врахувати, що обладнання може бути як зовнішнім, так і портативним. Щодо зовнішнього – це може бути акустичне обладнання у вигляді колонок або п’єзодинаміків, яке використовується у метро, на спеціальних світлофорах тощо. Цікавою є робота [15], де авторами було розроблено засоби навігації для інвалідів по зору, які здійснювали озвучення об’єктів інфраструктури шляхом використання Wi-Fi-маяків з активним каналом радіозв’язку і оснащених гучномовцями. Реалізовано також можливість проведення сканування довкілля на наявність активних найближчих маяків. При наближенні до одного з них на відстань (50 – 70) м генерується звуковий або вібросигнал, який інформує користувача про можливість керування маяком, наприклад, шляхом включення звукового сигналу на ньому.

Щодо портативних технічних рішень, то серед них також є акустичні, які використовують мікро-

фон для голосових асистентів та голосових команд, як це використовує розумна тростина WeWalk [16], оснащена вбудованим динаміком і мікрофоном, який ідеально працює з голосовою системою Alexa від Amazon. І тому варто додати мікрофон як складову інтерфейсу користувача для взаємодії з додатком. Звісно, при цьому не слід забувати і про навушники, зазвичай, кісткової звукопровідності (кісткові вібратори), щоб користувач міг слухати підказки, залишаючи слуховий канал відкритим для звукового потоку із зовнішнього світу після включення кісткових навушників.

До речі, є дослідницька група Virtual Acoustic Space [17], яка працює над сприйняттям простору лише через звук. Він передбачає створення ілюзії, ніби об’єкти покриті невеликими джерелами звуку, які постійно випромінюються певним чином. Тим самим створюється віртуальний світ звуку, де фізичні тіла виробляють звуки з усіх координат своїх поверхонь.

Ще одним новим цікавим рішенням є використання технології звукового бачення vOICe [12], яка передає зображення з відеокамери на комп’ютер, де спеціальна програма перетворює картинку у звук. Після конвертації зображення в колірний режим у відтінках сірого спеціальна програма використовує різні характеристики звуку, відтворюючи візуальне панорамування, просуваючись зліва направо. Положення об’єкта визначається висотою звучання: чим вище позиція об’єкта на знімку, тим вищою є висота звуку. Яскравість об’єкта на знімку визначається гучністю звучання.

Теоретично це може призвести до синтетичного зору із справді візуальними відчуттями, використовуючи нейронну пластичність людського мозку шляхом навчання. Нейронаукові дослідження показали, що зорова кора навіть дорослих сліпих може реагувати на звук, а викликані

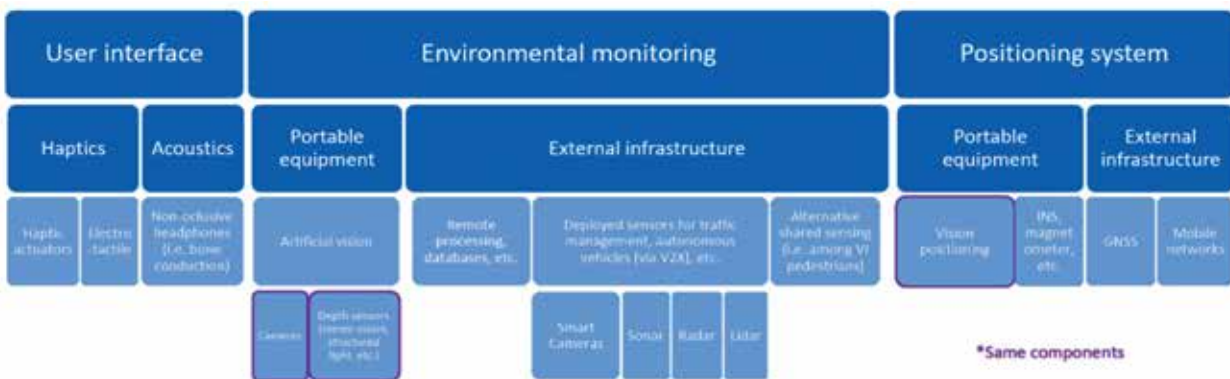


Рис. 1. Класифікація тифлотехнічних навігаційних пристроїв згідно роботи [14]

звуком ілюзорні спалахи можуть бути викликані у більшості зрячих людей. Крім функціональної значущості, викликання зорових відчуттів через звук (наприклад, штучна синестезія) може мати велике психологічне значення. Акустична складова з кістковими навушниками наявна в існуючій класифікації, хіба що варто змінити їх на навушники загалом, щоб покривати класифікацією більшу кількість аудіо-навігаційних пристроїв, оскільки не всі технічні рішення використовують саме кісткові вібратори.

Окрім акустичних, існують також пристрої, спрямовані на тактильні відчуття, які варто залишити в існуючій класифікації. Прикладом цього є тактильний дисплей Vlitab [18], який може сприяти застосуванню тактильних карт, але портативні альтернативи обмежені вібраційними інтерфейсами. Вказані пристрої жодним чином не використовують усі можливості дотику, що перешкоджає подальшим дослідженням у таких сферах як застосування розширеного дотику у контексті змішаної реальності.

Однак, останні наукові досягнення можуть сприяти розвитку універсального класичного рішення, відомого як «електротактильне, яке також присутнє в існуючій класифікації і його варто залишити. Наприклад, відомим є неінвазивний пристрій BrainPort [19], який підвищує функціональну незалежність сліпих людей. Пристрій надає незрячим користувачам більше інформації про навколишнє середовище, ніж звичайні допоміжні пристрої, завдяки електротактильному інтерфейсу язика, який створює тактильний стимул і був штучно індукований за допомогою поверхневих струмів у язичі, спрямованих на відповідні аферентні нерви кожної ділянки.

Іншим прикладом є система Forehead Retina System [20], що складається з невеликої камери та 512 електродів на лобі, яка фіксує зображення спереду, виділяє контури із зображення та перетворює контури на тактильні відчуття за допомогою електричної стимуляції. Щоб система стала компактною та довговічною, використовується електротактильний дисплей. Для запобігання неприємних відчуттів під час стимуляції було розроблено спеціальний гелевий шар. Система, насамперед, спрямована на те, щоб люди з вадами зору «бачили» навколишнє середовище.

Ще одним чудовим прикладом є система HamsaTouch [21], яка складається з електротактильного дисплея з 512 електродами, такою ж кількістю оптичних датчиків під кожним електродом, а також смартфона з камерою та РК-дисплеєм.

Смартфон отримує навколишнє зображення, виконує його обробку та виводить на РК-дисплей. Зображення фіксується оптичними датчиками та перетворюється на тактильне зображення за допомогою електротактильного дисплея. Хоча концепція подавлювача імпульсних стрибків напруги є класичною, але поєднання загальнодоступного мобільного пристрою та електротактильного дисплея дозволяє створити недорогу, але потужну та компактну систему.

До класифікації варто додати складову з пристроями, що використовують тачпад, як це втілено у “розумній” тростині WeWalk, яка відчуває рух і тиск пальців. Тачпад тут також використовується для керування підключеним додатком до смартфона.

Вібрація є теж важливою складовою, яку варто додати, адже вона має допоміжні властивості, наприклад, знову ж таки у WeWalk при виявленні перешкоди вібрують одразу дві кнопки. Чи як це використано в системі NAVI [9], яка використовує Microsoft Kinect і відстеження оптичних маркерів, щоб допомогти людям із вадами зору знайти дорогу всередині будівель, забезпечуючи постійний вібротактильний зворотний зв'язок на талії людини, створюючи враження про навколишнє середовище та попереджаючи про перешкоди. Також чудовим прикладом є радарная система Virtual Haptic Radar (VHR) [10], яка є прототипом віртуального тактильного радара, що допомагає акторам усвідомлювати присутність невидимих віртуальних об'єктів на їхньому шляху під час еволюції у віртуальній студії. VHR є природним розширенням тактильного радара (HR) і його принципу. В той час як кожен модуль HR мав невеликий вібратор і далекомір для вимірювання відстані до реальних перешкод, модуль VHR не має далекоміра, але натомість містить систему внутрішнього позиціонування на основі ультразвуку.

Прикладом використання для навігації одночасно кількох підсистем є робота [22] дослідників зі Стенфорда, які створили самостійну “розумну” тростину, що використовує датчик LIDAR для обчислення відстані до сусідніх об'єктів, а також містить додаткові датчики, подібні до тих, які є на смартфонах: GPS, акселерометри, магнітометри та гіроскопи, що контролюють положення, швидкість і напрямок користувача з вадами зору. Методи орієнтування на основі штучного інтелекту та методи робототехніки, такі як одночасна локалізація та відображення (SLAM) і Visual Servoing – спрямування користувача до об'єкта на зображенні – використовуються “розумною”

тростиною для прийняття рішень. Найцікавіше, це використання моторизованого все спрямованого колеса, яке підтримує контакт тростини із землею. При цьому воно обережно ніби штовхає та тягне користувача з вадами зору вліво або вправо навколо перешкод. З використанням вбудованого GPS і картографічних можливостей таке рішення може навіть направляти користувача до певних місць призначення.

В результаті аналізу розглянутих вище технічних рішень по функціональному критерію інтерфейс користувача отримаємо розширену класифікацію, наведену на рис. 2.

Зосереджуючись на допомозі на маршруті, навігаційна система потребує даних позиціонування, але її характеристики можуть відрізнитися залежно від запропонованого рішення. Наприклад, такі програми як Lazzus [23] ефективно вказують на розташування та характер географічних об'єктів, відмічених на карті (POI англ. point of interest, дослівно – “цікаві точки”) з точністю близько 1 м. З іншого боку, проекти, які імітують віртуальні джерела звуку, такі як Virtual Acoustic Space[24], зазвичай, потребують позиціонування із точністю до см, на додаток до часток секунди, щоб узгодити вихідні звуки з функції моделювання сприйняття звуку (HRTF англ. Head Related Transfer Function) із рухами голови. Це типові обмеження поточних програм змішаної реальності.

В існуючій на сьогодні класифікації по функціональному критерію виду підсистеми позиціонування варто замінити портативне та зовнішнє обладнання на пристрої з використанням Інтернету та GPS або ні. Такий розподіл дає більше можливостей для науковців в цій сфері, які планують імплементувати свої пристрої в умовах вулиці, де присутній надійний зв'язок або ж в умовах метро, де зв'язок є надто нестабільним.

Звісно, одними із найбільш привабливих технічних рішень є ті, які використовують переваги

вже розгорнутої інфраструктури, що відображається в абсолютній поширеності GNSS для зовнішнього розташування. Його також можна поєднати з мобільними мережами або портативними альтернативами, такими як INS (інерційна навігація) та/або раніше обговорюване позиціонування зору. Прикладом цього є всім відомий Google Maps [7], який може привести людину до певної адреси за допомогою аудіо підказок.

У той час як більшість GNSS і мобільних мереж можуть розмежовувати місцезнаходження користувача в межах кількох метрів навіть усередині приміщень, позиціонування без використання Інтернету та GNSS підвищує його точність аж до см. Крім того, ті самі перешкоди, які погіршують сигнали GNSS, наприклад, будівлі або мости, можуть стати хорошими опорними точками для технічних рішень, заснованих на обробці зображень, компенсуючи накопичену помилку.

Варто додати до класифікації також як окремі складові згідно критерію за видом позиціонування мережі Bluetooth та Wi-Fi, оскільки на їх базі вже є достатня кількість навігаційних розробок. Наприклад, використання Bluetooth-маяків вдало демонструє стандарт Wayfindr [11]. В основу технології реалізації цього стандарту покладено комбінацію Bluetooth-маяків, програмних додатків смартфона та навушників для керування рухом людей з вадами зору. Маяки складаються із модулів, розташованих в стратегічних місцях, наприклад, підземки або залізничного вокзалу, BLE-передавачі (Bluetooth Low Energy) яких використовуються для оповіщення мобільних пристроїв користувачів з порушеннями зору. При цьому програмний додаток смартфона збирає сигнали трьох найближчих маяків, фізичні місця яких вже запрограмовані в додатку як шляхові реперні точки та порівнюючи їх рівні визначає розташування користувача відносно точок маршруту, передаючи йому голосові навігаційні

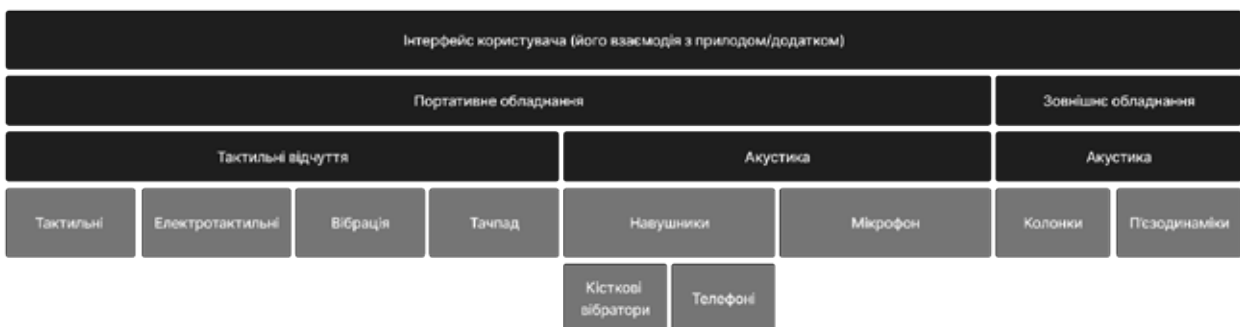


Рис. 2. Розширена класифікація на основі критерію інтерфейс користувача

інструкції через навушники. Іншим аналогічним прикладом є робота [15] з використанням Wi-Fi радіомаяків.

Також слід врахувати в класифікації за критерієм виду системи позиціонування складову у вигляді підсистеми технічного зору, що вдало демонструє технологія NaviLens [8], яка допомагає людям із вадами зору орієнтуватися у просторі та слухати рідну мову. Її основу складає набір кольорових піксельних тегів (схожих на QR-коди) і супутній додаток для смартфона. Камера смартфона користувача сканує оточення на предмет тегів, в той час як додаток вмикає збережену аудіо-інформацію тега. Кожна мітка стратегічно розміщена і індивідуально запрограмована з інформацією про маршрут, відстань і напрямок до платформ, інформацію про прибуття та відправлення, а також про квіткові кіоски і місця відпочинку. Тег має квадратну форму зі сторонами приблизно 13 см і найважливіше, що зі смартфона його можна прочитати на відстані до 12 м за 30 мс. Зчитування працює також і під час руху і навіть без фокусування.

В результаті по функціональному критерію вид системи позиціонування отримуємо доопрацьовану класифікацію, наведену на рис. 3.

Якщо класифікувати існуючі навігаційні технології по функціональному критерію моніторингу довкілля, то в першу чергу їх можна розділити на пристрої, які використовують портативне або зовнішнє обладнання, як це наразі і є в існуючій класифікації.

Але у зовнішньому обладнанні у порівнянні з існуючою класифікацією є сенс лише для зовнішньої обробки даних, яка робить додатки більш оптимізованими і гнучкими до змін. Наприклад, при оновленні певного повідомлення чи процедури надання інструкції користувачу з вадами

зору немає необхідності оновлювати сам додаток, оскільки він може зберігатися віддалено і користувач просто зможе отримувати оновлену інформацію завдяки своєму запиту.

Зручним і оптимальним рішенням, яке буде менше навантажувати пристрій користувача, наприклад, смартфон, буде визначення його позиціонування по відео, тегам тощо з використанням віддаленої обробки. Звісно, це є ефективним при умовах наявності Інтернет-з'єднання, але таким чином можна знизити завантаженість пристрою, яка може призвести до непередбачуваних помилок. А надання користувачам Інтернет-з'єднання в метро є набагато простішим, аніж надання з'єднання зі супутником.

Навігаційні системи для користувачів з вадами зору повинні збирати конкретні дані про навколишнє середовище для ефективного та безпечного пересування користувачів, при цьому слід розрізняти статичні та динамічні перешкоди на їх шляху.

Статичні перешкоди, наприклад, сходи, будівлі, огорожі тощо можна відносно легко виявляти за допомогою записів про їх знаходження в спільних базах даних. Прикладом цього може бути вже згадана вище технологія Wayfindr, оскільки близькість користувачів до її Bluetooth-маяків запускає генерацію вказівок та сповіщень про найближчі перешкоди.

Динамічні ж елементи, наприклад, пішоходи, автівки, мотоцикли повинні визначатися за допомогою датчиків, таких як камери, сонар, LiDAR тощо незалежно від того, чи йдеться про віддалене зовнішнє обладнання чи про навігаційні пристрої, яке має користувач з вадами зору при собі. Класичними прикладами таких рішень є пристрої для виявлення перешкод на основі ехолота Ultrascane [3] і Miniguide [4] або ті, що працюють на основі комп'ютерного зору чи інфрачервоного випромінювання.

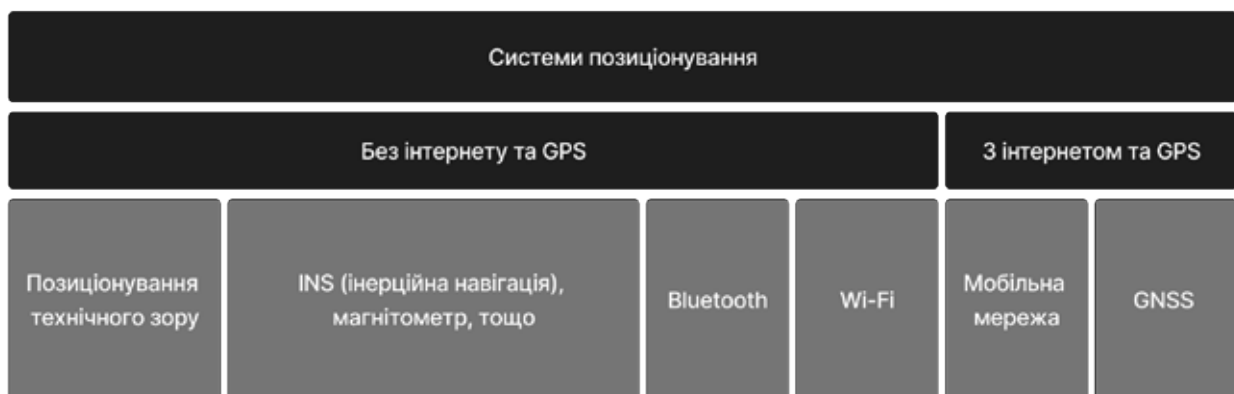


Рис. 3. Модифікована класифікація на основі критерію вид системи позиціонування

Щодо використання датчиків для керування пересуванням, то доцільніше буде перемістити їх в портативне обладнання. В той час як альтернативне спільне інформування, яке дозволяє знаходити одному користувачу перешкоду та додавати її на сервер чи одразу ділитися з користувачами неподалік, варто розуміти як частину віддаленої обробки.

В результаті проведеного аналізу навігаційних рішень за функціональним критерієм моніторинг довкілля отримаємо класифікацію, наведену на рис. 4.

Виходячи із наведених вище результатів аналізу сучасних навігаційних пристроїв і систем для користувачів з вадами зору та, як наслідок, доповненої і модифікованої їх класифікації проведемо обґрунтування вибору архітектури власного розроблюваного навігаційного рішення.

На нашу думку за функціональним критерієм інтерфейс користувача більш доцільним для розробки є вибір портативного обладнання, оскільки воно об'єктивно є зручнішим і більш доступним, має поєднувати тактильні відчуття як вібрація та тачпад, а також мати акустичні складові у вигляді мікрофону і кісткових вібраторів. Це дозволить одразу охопити як незрячих та слабозорих людей,

які більше сприймають оточуючий світ через дотик (кінестети), так і тих, хто сприймає краще довкілля через звук (аудіали). Результати вибору складових архітектури розроблюваного навігаційного рішення виділено зірочками в модифікованій авторами класифікації на основі функціонального критерію інтерфейс користувача (рис. 5).

При виборі складових архітектури за критерієм вид системи позиціонування великі можливості має позиціонування на основі технічного зору, яка потребує використання лише камери та портативного пристрою чи зовнішнього сервісу для обробки. При цьому також не буде зайвим наявності додаткового підстраховуючого функціоналу на основі Bluetooth та Wi-Fi радіомаяків для місць з неякісним зв'язком сотової мережі. Нижче на рис. 6 зірочками виділено складові архітектури розроблюваного рішення на основі модифікованої авторами класифікації за функціональним критерієм вид системи позиціонування.

При виборі складових архітектури за критерієм моніторинг довкілля оптимальним буде використання камер (виділено зірочкою, рис. 7), оскільки вище в розроблюваному рішенні за



Рис. 4. Модифікована класифікація на основі критерію моніторингу довкілля



Рис. 5. Складові архітектури розроблюваного навігаційного рішення (виділено зірочками): критерій – інтерфейс користувача

критерієм вид системи позиціонування обрано технічний зір. З метою оптимізації розрахунків, зберігання та оновлення нових даних також знадобиться зовнішнє обладнання у вигляді складової “Віддалена обробка та бази даних” (виділено зірочкою, рис. 7).

Таким чином, можна констатувати сукупність всіх необхідних складових (виділених зірочками) функціоналу архітектури навігаційної системи для користувача з вадами зору, яка буде покладена в основу розроблюваного власного рішення. При цьому їх аналіз дозволяє стверджувати, що в якості основи для реалізації цього рішення доцільно використати смартфон, функціональні можливості якого забезпечують більшість із необхідних складових функціоналу.

Звичайно, слід звернути увагу на існуючий наразі стереотип, що незрячі використовують для навігації лише тростини і не користуються смартфонами чи комп'ютерами. Однак, це хибна думка, оскільки на сьогодні є немало технічних апробованих рішень для незрячих, в яких використову-

ються саме смартфони, що обумовлено, в тому числі, і наявністю технологій для озвучування всього тексту на екрані, наприклад, в Iphone – це VoiceOver, в Android – це TalkBack.

В контексті вибору програмного додатку для смартфона в розроблюване рішення заслугоує на увагу односторінковий веб застосунок / веб сайт SPA (Single Page Application), який розміщується на одній сторінці з метою забезпечити користувачу з вадами зору досвід, близький до використання настільною програмою. Його перевага полягає в тому, що він не потребує скачування і встановлення, завантажуючи цим пам'ять телефону. Також не буде необхідності користувачу скачувати оновлення, особливо критичні, адже все це буде відбуватися автоматично при оновленні сайту, тому це є визначальним фактором при виборі саме такої архітектури, яку пропонується покласти в основу реалізації власного тифлотехнічного навігаційного рішення.

На додаток до цього слід зазначити, що з розвитком технологій на базі веб застосунків з'явилася

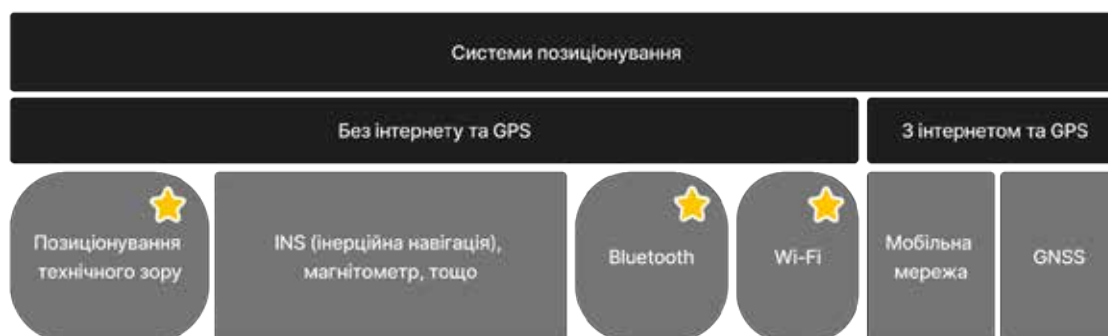


Рис. 6. Складові архітектури розроблюваного навігаційного рішення (виділено зірочками): критерій – вид системи позиціонування



Рис. 7. Складові архітектури розроблюваного навігаційного рішення (виділено зірочками): критерій – спосіб моніторингу довкілля

велика кількість фреймворків для технічного зору, зокрема, такі як:

- TensorFlow.js [25], одна з найбільших фреймворків машинного навчання;
- Amazon Rekognition [26], потужний хмарний інструмент, який може детально розпізнавати деталі обличчя;
- OpenCV.js [27], одна з найстаріших фреймворків комп'ютерного зору, яка має версію JavaScript, що дозволяє розробникам впроваджувати ці функції на веб-сайті;
- Tracking.js [28], дозволяє інтегрувати розпізнавання обличчя з JavaScript з досить простим налаштуванням;
- WebGazer.js [29], дозволяє додаткам знати, куди людина дивиться за допомогою входу з камери;
- Three.js [30], фреймворк від Google, розширює функціональні можливості ARCore на зовнішній JavaScript, що дозволяє інтегрувати виявлення поверхонь і об'єктів у браузері.

З наведених вище фреймворків виділяється OpenCV.js, оскільки він доступний та апробований багатьма фахівцями у галузі комп'ютерного зору. Також досить важливим є те, що він є "open source" проектом з великою аудиторією людей, які його розвивають, удосконалюють і вишукують помилки. Тому створювати, підтримувати та оновлювати додатки на його базі в подальшому буде набагато простіше у порівнянні з іншими переліченими вище інструментами.

Висновки. Проаналізовано останні дослідження та публікації щодо функціональних можливостей сучасних тифлотехнічних навігаційних систем для сліпих та слабозорих, реалізованих, зокрема, на основі GPS, інерціальних систем навігації, різноманітних Wi-Fi/Bluetooth радіомаяків, тег-міток у вигляді спеціальних кольорових картинок, технологій штучного інтелекту і технічного зору з використанням тактильних, вібраційних, звукових та інших способів взаємодії користувача з вадами зору з тифлотехнічною системою,

а також специфічних пристроїв синтетичного зору з візуальними відчуттями та використанням нейронної пластичності людського мозку.

Встановлено, що протягом останнього часу на ринку спостерігається безпрецедентне зростання кількості різноманітних нових тифлотехнічних навігаційних інструментів компенсації відсутніх у незрячих та слабозорих користувачів сенсорних даних для досягнення пункту призначення, що потребує подальшого їх упорядкування та систематизації.

Розглянуто, модифіковано та розширено із врахуванням новостворених технічних рішень класифікацію тифлотехнічних навігаційних систем відповідно до трьох основних функціональних критеріїв: способу взаємодії користувача з навігаційною системою (людино-машинного інтерфейсу або інтерфейсу користувача), виду системи позиціонування та способу моніторингу оточуючого середовища.

На основі модифікованої та доповненої класифікації обґрунтовано вибір архітектури для розроблення власного тифлотехнічного навігаційного рішення на основі смартфона та програмного односторінкового веб застосунку SPA – програмного додатку, який не потребує скачування і встановлення, завантажуючи цим пам'ять смартфона, а також скачування оновлень, особливо критичних, оскільки все це буде відбувається автоматично при оновленні веб сайту.

Обґрунтовано вибір для використання у веб застосунку фреймворку OpenCV.js, доступного та апробованого багатьма фахівцями у галузі комп'ютерного зору і який є "open source" проектом з великою аудиторією людей, що його розвивають, удосконалюють і вишукують помилки. Тому створювати, підтримувати та оновлювати додатки на його базі в подальшому буде набагато простіше у порівнянні з іншими фреймворками.

Напрямок подальших досліджень є розроблення згідно запропонованої авторами архітектури алгоритмічних і програмних рішень власного тифлотехнічного навігаційного пристрою.

Список літератури:

1. Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Causes of blindness and vision impairment in 2020 and trends over 30 years: evaluating the prevalence of avoidable blindness in relation to "VISION 2020: the Right to Sight". *Lancet Global Health* 2020. DOI:10.1016/S2214-109X(20)30489-7
2. Hersh, M.A.; Johnson, M.A. *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*; Springer: London, UK, 2008; ISBN 9781846288661.
3. Ultracane. URL: <https://www.ultracane.com/>
4. Miniguide. Hersh, M.A.; Johnson, M.A. *Assistive Technology for Visually*
5. Borenstein, J. The guidecane—A computerized travel aid for the active guidance of blind pedestrians. In *Proceedings of the 1997 International Conference on Robotics and Automation (ICRA 1997)*, Albuquerque, NM, USA, 20–25 April 1997; IEEE: Piscataway, NJ, USA; Volume 2, pp. 1283–1288.

6. Shoval, S.; Borenstein, J.; Koren, Y. Mobile robot obstacle avoidance in a computerized travel aid for the blind. In Proceedings of the 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, CA, USA, 8–13 May 1994; pp. 2023–2028.
7. Google Maps. URL: <https://www.google.com/maps/about/#/>
8. NaviLens. Technology for the visually impaired. URL: <https://www.navilens.com/>
9. NAVI. URL: https://www.researchgate.net/publication/221054048_NAVI_-_A_Proof-of-Concept_of_a_Mobile_Navigational_Aid_for_Visually_Impaired_Based_on_the_Microsoft_Kinect
10. Virtual Haptic Radar. URL: https://www.researchgate.net/publication/234802354_Virtual_Haptic_Radar
11. Open Standard for Audio-based Wayfinding. (2018). URL: <http://www.wayfindr.net/wp-content/uploads/2018/07/Wayfindr-Open-Standard-Rec-2.0.pdf>
12. vOICe. URL: <https://www.seeingwithsound.com/>
13. Classification of visually impaired devices. URL: <https://thelib.info/mashinostroenie/1194948-klassifikaciya-tiflotekhnicheskikh-ustrojstv/>
14. Real, S., Araujo, A. Navigation Systems for the Blind and Visually Impaired: Past Work, Challenges and Open Problems. *Sensors* 2019, 19, 3404. <https://doi.org/10.3390/s19153404>
15. Poliakov A. O., Radchenko K. M. (2017-2018). Aparatno-prohramnyi kompleks navihatsii dlia liudei z invalidnistiu za zorom. Naukova robota dlia uchasti u Vseukrainskomu konkursi studentskykh ta naukovykh robot z pryrodnychkyh, tekhnichnykh i humanitarnykh nauk u haluzi «Elektronika» [Hardware and software navigation system for the visually impaired. Scientific work for participation in the All-Ukrainian competition of student and scientific works in natural, technical and human sciences in the field of Electronics Retrieved from <http://inel.stu.cn.ua/konkurs/2018/BlindNavigation.pdf> Kyiv: NAU (in Ukrainian)
16. WeWalk. URL: <https://wewalk.io/en/>
17. Virtual Acoustic Space. URL: <https://www.iac.es/en/projects/virtual-acoustic-space-eav>
18. Blitab. URL: <https://blitab.com/cgi-sys/suspendedpage.cgi>
19. BrainPort. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0145482X1611000202>
20. Forehead Retina System. URL: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.497.8483&rep=rep1&type=pdf>
21. HamsaTouch. URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2559206.2581164>
22. Stanford Researchers make a Self-Navigating Smart Cane. URL: <https://www.newsdeskindia.com/news/technology/4464.Stanford-Researchers-make-a-Self-Navigating-Smart-Cane-.html>
23. Lazzus. URL: <http://www.lazzus.com/en/>
24. Virtual Acoustic Space. URL: <https://www.iac.es/en/projects/virtual-acoustic-space-eav>
25. TensorFlow.js. URL: <https://www.tensorflow.org/js>
26. Amazon Rekognition. URL: <https://docs.aws.amazon.com/rekognition/latest/dg/faces-detect-images.html>
27. OpenCV.js. URL: https://docs.opencv.org/3.4/d5/d10/tutorial_js_root.html
28. Tracking.js. URL: <https://trackingjs.com/>
29. WebGazer.js. URL: <https://webgazer.cs.brown.edu/>
30. Three.ar.js. URL: <https://github.com/google-ar/three.ar.js>

Khapchenko O.V., Lysenko O.M. MODIFIED CLASSIFICATION OF TIFLOTECHNICAL NAVIGATION SYSTEMS AND JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF ARCHITECTURE OF THE DEVELOPED NAVIGATION SOLUTION

Analyzed the latest research and publications on the functional capabilities of modern typhlo-technical navigation systems for the blind and visually impaired, implemented, in particular, on the basis of GPS, inertial navigation systems, various Wi-Fi / Bluetooth beacons, tag labels in the form of special color pictures, artificial intelligence and technical vision technologies using tactile, vibration, sound and other ways of interaction of the user with visual impairments with the typhlo-technical system, as well as specific synthetic vision devices with visual inputs and using neural plasticity of the human brain.

It has been established that recently the market has seen an unprecedented growth in the number of various new typhlo-technical navigation tools to compensate for the lack of sensory data for blind and visually impaired users to reach their destination, which requires further streamlining and systematization.

The classification of tiftotechnical navigation systems in accordance with three main functional criteria: the way of user interaction with the navigation system (human-machine interface or user interface), the type of positioning system and the way of monitoring the environment are considered, modified and expanded taking into account the newly created technical solutions.

On the basis of the modified and supplemented classification, the choice of architecture for the development of its own typhlo-technical navigation solution based on a smartphone and SPA software application is substantiated.

The choice of the OpenCV.js framework, which is available and tested by many specialists in the field of computer vision and which is an "open source" project with a large audience of people who develop, improve and search for errors, for use in the web application is substantiated.

Key words: typhlotronics, navigation for the blind and visually impaired, classification, positioning system, environmental monitoring, user interface, smartphone, SPA application.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.4+ 338.43.008

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/06>

Антонюк Д.С.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Лабенський В.А.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Медведєв В.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Новачук Р.О.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОЕКТУВАННЯ СИМУЛЯТОРА УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛЬНИМ ПОРТФЕЛЕМ ОБЛІГАЦІЙ ВНУТРІШНЬОЇ ДЕРЖАВНОЇ ПОЗИКИ

Стрімкий розвиток цифрових технологій сприяє все більшому розвитку різних засобів прикладного значення. Не виключенням є і сфера фінансів та економіки. Для вивчення можливостей управління персональним портфелем облігацій внутрішньої державної позики в нагоді стають так звані симулятори. Симулятор це цифровий засіб, призначений для імітації певного виду діяльності, що за певних умов чи зовнішніх факторів не можливо проробити в дійсності. Метою роботи є проектування та розробка симулятора для роботи з облігаціями внутрішньої державної позики. Основною метою розробки симулятора є: ознайомлення з принципами та методикою роботи з облігаціями внутрішньої державної позики. Впровадження симулятора допоможе покращити навички в сфері інвестицій, прискорить процес опанування роботи з цінними паперами. Система дасть змогу контролю за якістю навчання користувача. У даному дослідженні було спроектовано та реалізовано симулятор для роботи з облігаціями внутрішньої державної позики України. Проведений аналіз предметної області дозволив визначити основні аспекти розроблюваного симулятора, провести огляд наявних аналогів та виявити їх переваги та недоліки. Спроектовано базу даних відповідно до потреб, яка буде зберігати всі дані симулятора, працюватиме стабільно та безперебійно. Розглянуто архітектуру програмного комплексу та умови розгортання проекту. Система може бути використана для навчання базовим навичкам роботи з облігаціями внутрішньої державної позики та отримання прибутку після навчання користувачів. В подальшому дана система може зазнати змін, а саме зміни рейтингової системи, після додаткового розширеного тестування на користувачах. Також можливі вдосконалення шляхом впровадження нових функціональних можливостей. Завдяки обраній архітектурі масштабування системи відбуватиметься без ускладнень.

Ключові слова: проектування, симулятор, управління, персональний портфель, облігації, внутрішня державна позика.

Постановка проблеми. Інвестиції – операції, що передбачають вкладення капіталу в різні види активів з метою його наступного зростання, обмін на кошти або майно. У широкому розумінні інвестиції є вкладенням капіталу з метою його збільшення. При цьому приріст капіталу повинен бути на достатньому рівні, щоб компенсувати інвестору відмову від використання коштів на споживання в теперішньому періоді,

винагородити його за ризик та відшкодувати збитки від інфляції в майбутньому періоді. Інвестиції – це те, що «відкладають» на завтрашній день, щоб мати можливість більше споживати в майбутньому.

В епоху інформаційних технологій людина має змогу навчатися процесу інвестування сидячи дома за комп'ютером, телефоном чи планшетом, адже в Інтернеті є достатня кількість книг,

статей та інших матеріалів для вивчення основних понять. Для цього було б доцільно розробити симулятор, який дасть змогу симулювати процес роботи з облігаціями внутрішньої державної позики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика, яка досліджується в даному дослідженні, поєднує в собі кілька складових. По-перше це розробка фінансових симуляторів, і по-друге це економічна складова, яка включає цінні папери та інвестиційний ринок. Так, І.М. Браткова у своєму дослідженні провела аналіз та надала оцінку ОВДП саме як інвестиційному інструменту, дослідила роль державних цінних паперів у теперішній час на інвестиційному ринку нашої країни [2]. У. Ватаманюк-Зелінська досліджувала аспекти функціонування ринку державних облігацій саме нашої держави, в результаті чого проаналізувала динаміку розміщення на первинному ринку ОВДП в Україні, а також динаміку коштів, що були залучені до держбюджету України [3].

Л. Маршук та М. Клименко досліджували інвестиції у розрізі складової управління особистими фінансами. Автори прийшли до висновку, що інвестиційні процеси в нашій державі розвиваються дуже повільно у порівнянні із іншими країнами. Науковці запропонували для підвищення стимулювання трансформації заощаджень населення розробляти інвестиційні продукти [5].

О. В. Капраль та Я. І. Яричевська досліджували інші аспекти, а саме гейміфікацію та її суть у фінансовій сфері [4]. В своєму дослідженні автори навели типи гравців з їх мотивами та бажаними винагородами, виокремили характеристики ігрової системи для фінансової сфери. У своїй роботі науковці охарактеризували моделі необанків (банки, зоклад надають свої послуги виключно онлайн), а також описали принципи, на яких, на думку авторів, повинна ґрунтуватися гейміфікація та продукти таких банків [4].

Метою роботи є проектування та розробка симулятора для роботи з облігаціями внутрішньої державної позики, серверної частини додатку.

Виклад основного матеріалу. Симулятор це цифровий засіб, призначений для імітації певного виду діяльності, що за певних умов чи зовнішніх факторів не можливо проробити в дійсності. Основною метою розробки симулятора є: ознайомлення з принципами та методикою роботи з облігаціями внутрішньої державної позики. Впровадження симулятора допоможе покращити навички в сфері інвестицій, прискорить процес

опанування роботи з цінними паперами. Система дасть змогу контролю за якістю навчання користувача. Він матиме власний рейтинг, який буде змінюватись під час роботи з симулятором, зможе бачити власний інвестиційний портфель, його поточну вартість в минулий момент часу та в поточний, відслідковувати історію власного портфелю.

Вибір архітектури веб-додатка.

Для розробки симулятора було обрано клієнт-серверну архітектуру. Модель цієї системи полягає в тому, що клієнт надсилає запит до сервера, де він обробляється, після обробки сервер надсилає готовий результат клієнтові. В свою чергу сервер може обслуговувати велику кількість клієнтів одночасно. Немає дублювання коду, як би використовувались тільки клієнтські машини, на кожній із них зберігався б однаковий код для обробки логіки і потрібно було б встановлювати базу даних на кожен із них. Використовуючи таку архітектуру сервер і БД винесені в окремі ланки і на клієнтських машинах звільняється багато місця. Не дублюється код, вся основна логіка винесена на сервер, який має більшу продуктивність за клієнтський пристрій.

Сервер буде розроблено з використанням Node.js, де в основі роботи лежить асинхронність і це дозволяє серверному додатку обслуговувати набагато більше клієнтських запитів за одиницю часу. Фреймворк Express.js. Для збереження інформації симулятора буде використовуватись документо-орієнтована БД MongoDB та бібліотека Mongoose для створення зв'язку між БД та Express. Express.js побудований на структурі MVC та використовує патерн dependency injection.

MVC – це патерн проектування веб-додатків, який включає в себе декілька дрібних шаблонів. При використанні MVC має три окремі компоненти розділені моделі даних програми, інтерфейс користувача і логіка взаємодії користувача з системою, завдяки чому модифікація одного із компонентів має мінімальний вплив на інші або немає його зовсім.

Обґрунтування вибору інструментальних засобів та вимоги до апаратного забезпечення

Для написання клієнтської та серверної частини було обрано мову програмування JavaScript. Для розгортання проекту було обрано хмарну платформу Microsoft Azure.

React.js – це JavaScript-бібліотека, що була розроблена компанією Facebook для зручної розробки інтерфейсів, тобто клієнтської частини

сайтів і додатків, з якою взаємодіє користувач. Бібліотека значно полегшує створення інтерфейсів завдяки розбиттю кожної сторінки на маленькі фрагменти. Ці фрагменти називаються компонентами.

Node.js – це платформа, в якій відкритий вихідний код для роботи з мовою JavaScript на стороні сервера. Платформа працює на двигуні Chrome V8. Це в свою чергу дозволяє писати серверний код для веб-застосунків і динамічних веб-сторінок, а також програм командного рядка. В основі платформи лежить подієво-керована модель з неблокуючими операціями введення-виводу, що робить її ефективною та легкою. Node.js був створений під впливом систем: Event Machine в Ruby або Twisted в Python. Він використовує подієву модель значно ширше, він приймає event loop за основу, замість того, щоб використовувати його в якості бібліотеки. В інших системах завжди стається блокування виклику, щоб запустити цикл подій.

Express.js – це відкритий, мінімалістичний та гнучкий веб-фреймворк для програм на Node.js, що надає широкий набір функцій для створення API, мобільних та веб-додатків. Допомогає легко керувати потоком даних між сервером і маршрутами в додатках на стороні сервера. Express додає гнучкості для програми величезним набором модулів, доступних на npm, які можна безпосередньо підключати до Express відповідно до вимог.

MongoDB – це документно-орієнтована NoSQL система керування базами даних. Замість використання таблиць та рядків, як у традиційних реляційних базах даних, Mongo використовує колекції та документи. Документи складаються з пар ключ-значення, які є основною одиницею даних у СУБД. Колекції містять набори документів та функції, які еквівалентні таблицям реляційної бази даних. Основні переваги Mongo: гнучкість, швидкість роботи, мультиплатформеність, динамічні запити до документів, реплікація – може працювати на декількох серверах, дані зберігаються у вигляді JSON документів, легка в масштабуванні. Недоліки – це труднощі при роботі з жорстко пов'язаними даними.

Mongoose – це ODM бібліотека, яка створює зв'язок між MongoDB та платформою веб-додатків Express і надає величезний набір функціональних можливостей для створення та роботи зі схемами.

Microsoft Azure – хмарна платформа, яка дає можливість розгортання додатків та зберігання даних на віддаленому сервері.

Визначення варіантів використання та структури симулятора

Система симуляції роботи з облігаціями розробляється із метою максимального реалізму процесу роботи з ОВДП у віртуальному світі та проведення аналітики навчання користувачів у симуляторі.

Вимоги не автентифікованих користувачів:

1. Реєстрація
2. Автентифікація
3. Перегляд списку облігацій
4. Перегляд інформації про облігацію

Автентифікований користувач буде розширювати можливості не автентифікованого користувача.

Вимоги автентифікованих користувачів:

1. Придбання облігацій
2. Продаж облігацій
3. Перегляд кабінету користувача
4. Перегляд власного інвестиційного портфеля
5. Поповнення балансу
6. Перегляд власного рейтингу

Адміністратор буде мати всі можливості автентифікованого користувача, але також для нього буде доступ до функціоналу, який є обмежений для простого користувача.

Вимоги адміністратора:

1. Перегляд списку зареєстрованих користувачів
2. Перегляд інвестиційного портфеля користувача
3. Історія зміни інвестиційного портфеля
4. Історія рейтингу користувача
5. Перегляд діаграми кількості користувачів із відповідним рейтингом
6. Перегляд активних та неактивних зареєстрованих користувачів
7. Діаграма кількості облігацій у різних валютах
8. Діаграма валют, які переважають в портфелі користувачів

На рисунку 1 продемонстровано діаграми класів, зображена об'єктно-орієнтована модель «симулятора роботи з ОВДП». Для розробки серверної частини було використано патерн проектування "Відкритий модуль".

Відкритий модуль – це шаблон проектування, який дозволяє організувати JavaScript код у модулях і надає кращу структурованість коду. Це дає можливість створювати загальнодоступні або приватні змінні та методи.

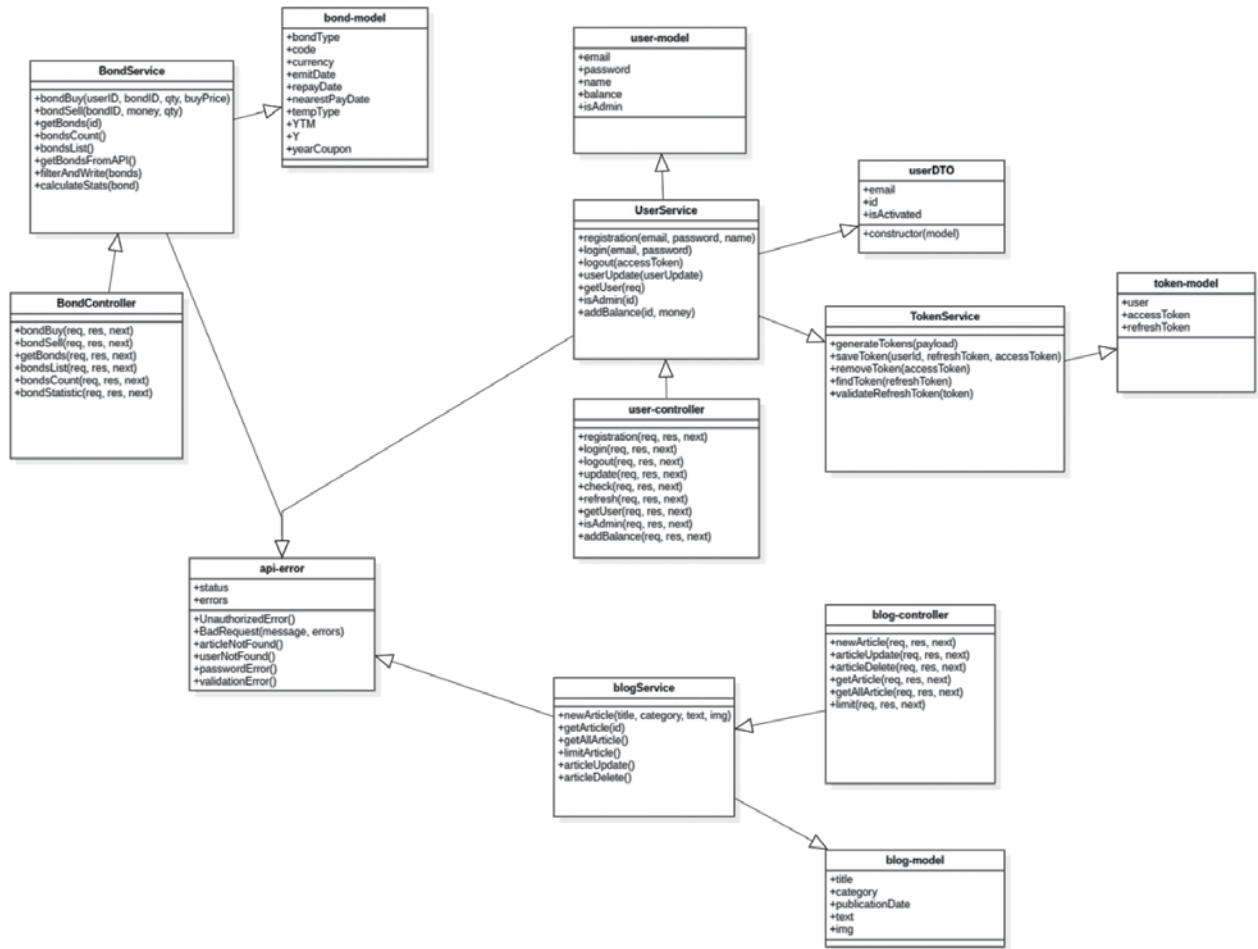


Рис. 1. Діаграма класів серверної частини симулятора

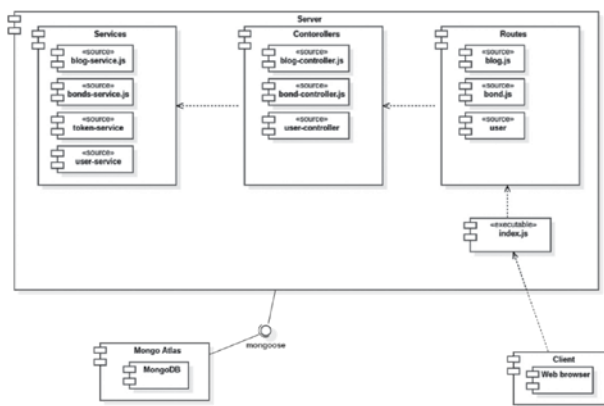


Рис. 2. Діаграма компонентів серверної частини симулятора

Розробка бази даних системи

Під час проектування симулятора було вирішено використати нереляційну систему управління базами даних MongoDB. Було надано перевагу саме нереляційній БД із-за хорошої можливості масштабування в подальшому порівняно

із традиційними SQL-системами, швидкого виконання процесу читання та запису. Серед переваг також і наявний недолік, а саме складність у роботі з пов'язаними даними, наприклад отримати список придбаних облігацій користувачем і отримати з окремої колекції інформацію про облігації.

На рисунку 3 продемонстровано діаграму бази даних симулятора. Наявні колекції, зв'язки колекцій та їх документи. У реляційних базах даних можна встановлювати зовнішні ключі, коли поля однієї таблиці посилаються на поля іншої таблиці. У MongoDB також можна встановити посилання.

Проектування та реалізація алгоритмів роботи системи

Основним модулем в симуляторі є операції з облігаціями внутрішньої державної позики, а саме купівля та продаж, отримання списку облігацій з API НБУ України, процес їх фільтрування, запису або оновлення інформації в колекцію «bonds».

Необхідним було розробити процес фільтрування облігацій, тому що з API НБУ приходить

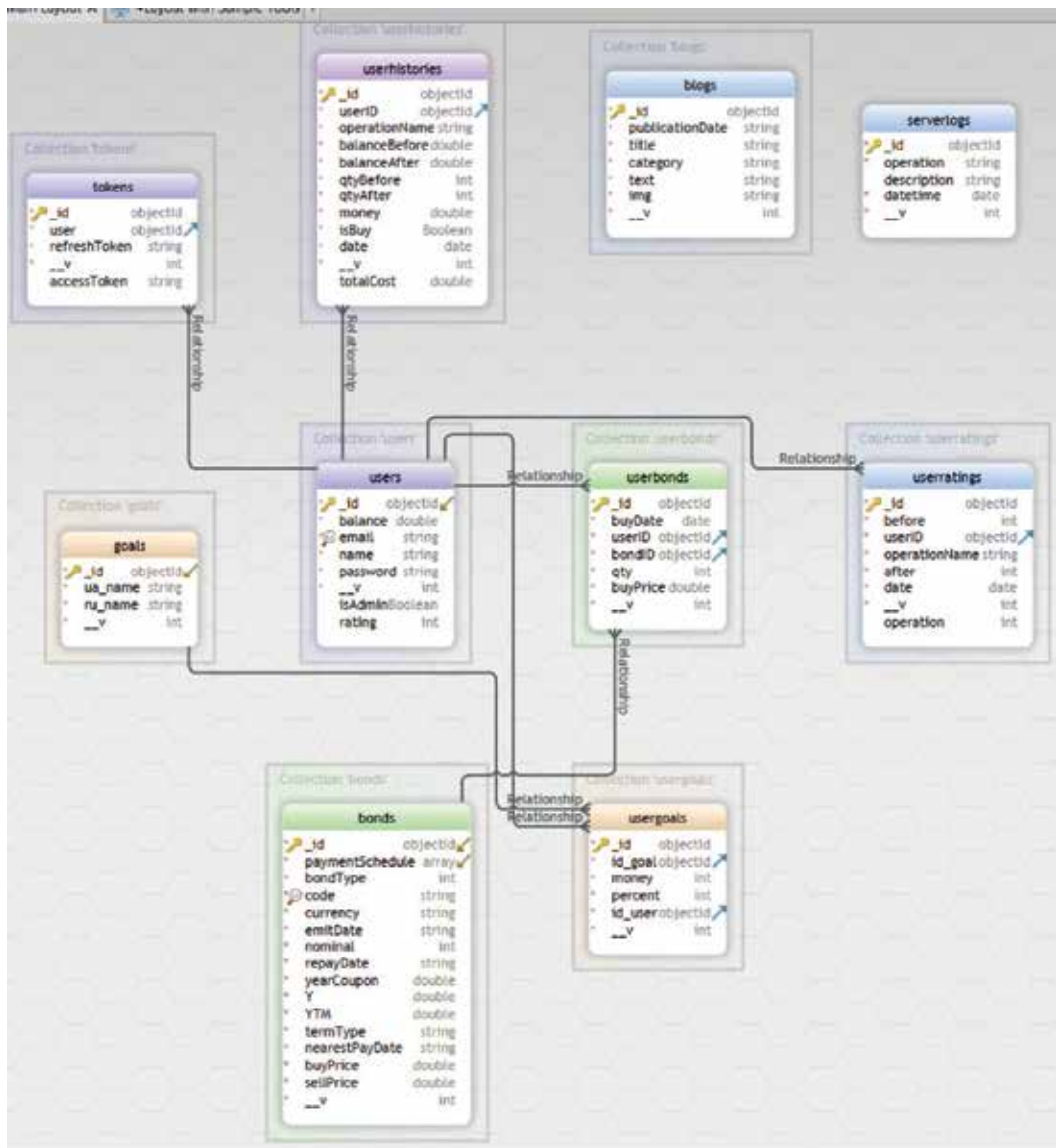


Рис. 3. Діаграма бази даних

великий масив, але цей масив містить облигації, які вже не є актуальними і вийшли з обігу. Немає сенсу витратити ресурси та зберігати всі облигації в колекцію «bonds». Використання їх для тренувань користувачів на цінних паперах, які вже вийшли з обігу не дасть ніякого прогресу у навчанні також, тому що в масиві з НБУ наявні облигації навіть аж за 2015 рік.

При розробці системи роботи з облигаціями було найбільше точно реалізовано процес купівлі та продажу. Вони мають максимумну подібність, як би користувач купував облигацій в реальному житті у брокера.

Процес купівлі розпочинається із того, що клієнт, який розробляв мій колега, надсилає запит на сервер в результаті чого отримує список актуальних облигацій, що доступні для купівлі. На сто-

рінці людина може переглянути детальну інформацію по кожній із облигацій. Якщо користувач вирішив виконати операцію придбання, обирає необхідну йому кількість і натискає кнопку «Придбати». Клієнт надсилає запит на сервер із необхідними даними для виконання операції купівлі. Після чого розпочинається процес перевірки чи доступна така кількість для купівлі та чи достатньо балансу у користувача. Якщо в обох випадках маємо позитивний результат, то користувач успішно купує цінний папір в свій інвестиційний портфель. З балансу користувача списується сума за придбану облигацію. Виконується процес збереження купівлі облигації до відповідної колекції, проходить процес оцінювання купленої користувачем облигації і зміни рейтингу відносно успішності цього придбання і також зберігається

інформацію в колекцію. В результаті сервер надсилає відповідь на клієнт із повідомлення про успішну купівлю цінного паперу.

Наступною необхідною операцією в симуляторі є продаж облігацій із власного інвестиційного портфеля користувача. Користувач перейшовши у власний кабінет, отримує список облігацій в його розпорядженні. Він може також отримати необхідну йому інформацію або виконати операцію продажу. Обравши облігацію, яку він хоче продати та скорегувавши значення кількості, він натискає кнопку «Продати». Клієнт в свою чергу надсилає запит на сервер по відповідному маршруту та з необхідними даними. На сервері починається виконуватись метод продажу, який перевіряє чи є така кількість облігацій у користувача, якщо ні – повертаємо клієнтові помилку. В разі наявності, операція продажу виконується успішно, користувачеві на баланс зараховуються кошти з продажу цінного паперу. Виконується процес оцінювання облігації, яку було продано і наскільки вигідно. В результаті чого маємо оновлення оцінки користувача та відповідь про успішний продаж для клієнтської частини.

Реалізація функціоналу «Симулятора для роботи з облігаціями внутрішньої державної позики»

Робота з базою даних виконується за допомогою mongoose. Для цього створено файл «connectDB.js». В цьому файлі встановлюється зв'язок із БД, а дані конфігурації необхідні для підключення отримуються із environment файлу. Далі цей модуль підключається у точці входу «index.js» і виконується разом із запуском сервера.

Для роботи з колекціями було створено моделі. Дані, які використовуються в mongoose описуються відповідною схемою. Далі буде наведено приклад однієї із таких схем, а саме «bonds-model». Схема для роботи з колекцією облігацій. В якій зберігається загальна інформація про облігацію і використовується для формування статистики.

Симулятор має можливість реєстрації та автентифікації користувачів в системі – це дає змогу використання розширеного функціоналу, який не доступний для незареєстрованого та неавтентифікованого користувача. Для авторизації користувача використовується JWT-токен.

Для роботи з токеном доступу було розроблено окремий сервіс, в якому виконується генерація, збереження, видалення, пошук та валідація JWT.

Архітектура програмного комплексу для роботи з облігаціями внутрішньої державної позики.

На рисунку 6 представлена діаграма розгортання додатку. На діаграмі продемонстровано,

що веб-додаток має три вузли: WebServer, Client, MongoDB Atlas Server (рис. 4). *WebServer* – це компонент серверу на якому працює бізнес-логіка додатку. *MongoDB Atlas Server* – компонент хмарного сервера бази даних на якому зберігається вся інформація симулятора. *Client* – компонент з яким взаємодіє користувач при роботі з симулятором.

Структура інтерфейсу. Інтерфейс та порядок роботи з системою симуляції.

Симулятор роботи з ОВДП – це веб-додаток, який розроблений із використанням веб-технологій. В свою чергу це дасть можливість працювати у будь-якому браузері за наявності доступу до Інтернету та девайсу, що буде підтримувати працездатність браузера.

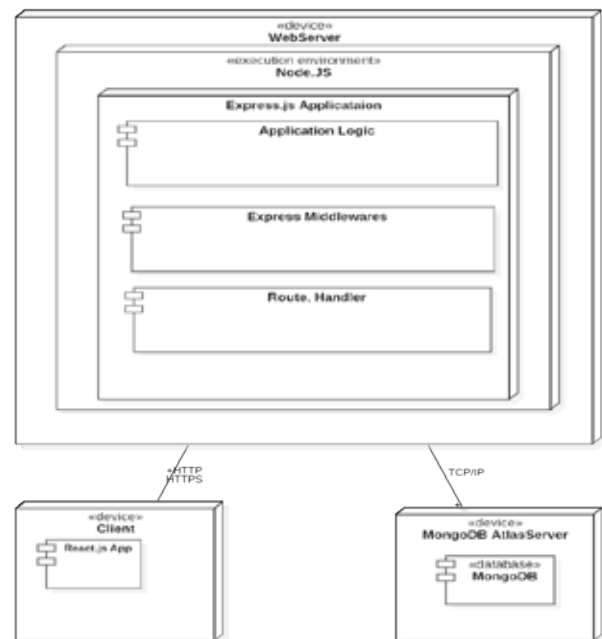


Рис. 4. Діаграма розгортання симулятора

Після переходу за посиланням користувач опиняється на головній сторінці. На цій сторінці відображаються 6 найбільш актуальних статей зі світу економіки. З цієї сторінки користувач може перейти на сторінку облігацій, блог або скористатись входом, якщо він зареєстрований в системі.

Сторінка «Облігації» – тут користувач може побачити актуальні облігації, що доступні для придбання, виконати фільтрування за необхідними критеріями, переглянути детальну статистику по кожній із облігацій та обрати необхідну для придбання облігацію, якщо користувач захоче придбати її. Обравши необхідну кількість та натиснувши кнопку «Купити облігацію» розпочинається процес купівлі. Для користувача симулятора цей процес є миттєвим, але за лаштунками проходить

процес перевірки доступної кількості для купівлі, балансу користувача. Тільки по завершенню цих процесів на сервері, користувач отримує облігацію у власному інвестиційному портфелі, в іншому випадку, якщо у користувача недостатньо коштів або така кількість не можлива для купівлі. Він отримує повідомлення з помилкою і пропозицію повторити спробу зменшивши кількість.

Сторінка блогу симулятора – тут будуть висвітлюватись новини із світу інвестицій, економіки світової та України. Також тут публікуватимуться новини про зміни в роботі симулятора, поява нового функціонала чи вдосконалення наявного. Сторінка «Про нас» – на цій сторінці проведено опис місії симулятора, описано механізм роботи системи оцінювання. Щоб кожен користувач зміг переглянути та ознайомитись із цією інформацією. Для того щоб в подальшому не виникало додаткових питань, щодо користування симулятором.

Кабінет користувача – тут він може побачити власний баланс, загальну кількість облігацій в його інвестиційному портфелі та вартість самого портфелю. Вартість портфелю кожного разу перераховується на сервері при надсиланні запиту, щоб користувач завжди бачив максимально актуальну вартість його цінних паперів. На цій сторінці користувач

може здійснити поповнення власного балансу, здійснити зміни налаштування профілю. Найголовнішим функціоналом у кабінеті є можливість продажу власних цінних паперів та отримання прибутку. Користувач обирає цінний папір і натискає кнопку «Продати». Клієнт надсилає запит на сервер на якому непомітно для користувача виконуються процеси перевірки. В результаті яких, облігація буде успішно продана і користувачу на баланс будуть зараховано гроші, а в іншому випадку буде помилка.

Із кабінету користувача за наявності відповідних прав доступу, а саме користувач є адміністратором – він може перейти до адмін панелі.

Головна сторінка адміністративної панелі. Тут адміністратор має змогу побачити коротку інформації про роботу симулятора, а саме:

1. Загальну кількість актуальних облігацій, які доступні для купівлі в симуляторі.
2. Скільки всього облігацій було придбано користувачами симулятора.
3. Кількість всього зареєстрованих користувачів у системі.
4. Кількість користувачів, які зареєструвались в системі та користуються нею.
5. Загальну кількість новин, які відображаються на сайті.

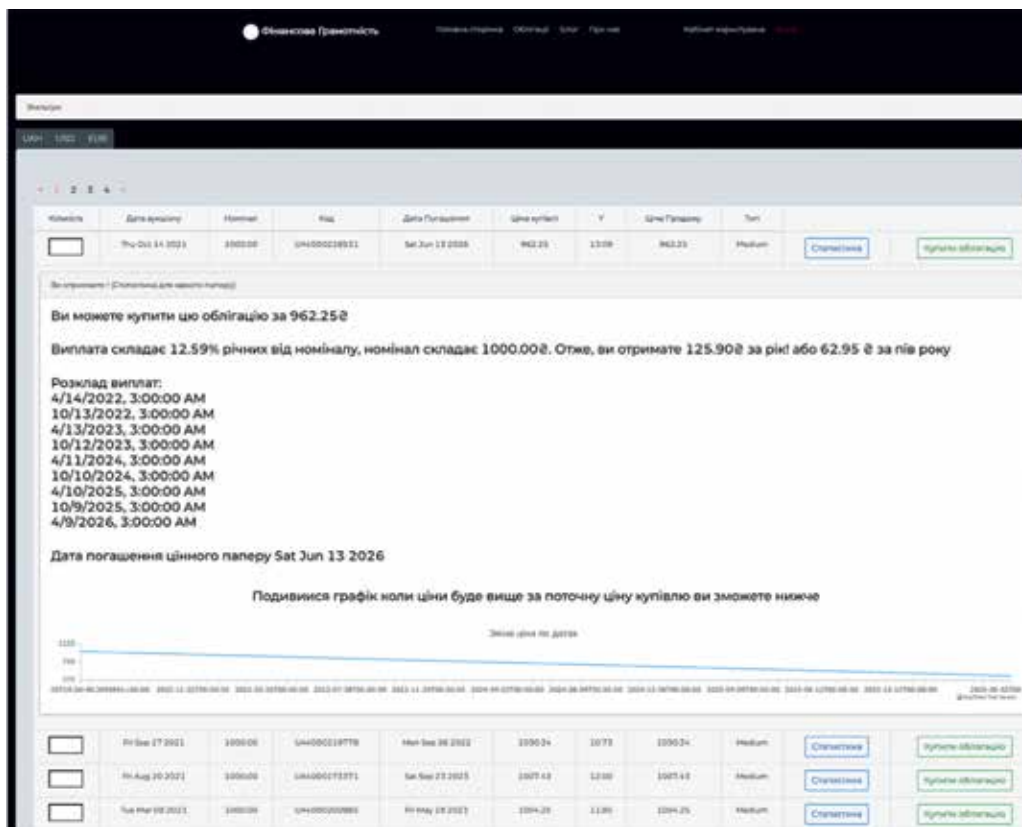


Рис. 5. Сторінка з облігаціями

Адміністратор перейшовши на сторінку зареєстрованих користувачів, бачить таблицю у якій відображається інформація про кожного користувача, а саме його ім'я, електронна адреса, баланс та рейтинг.

Із сторінки зареєстрованих користувачів, адміністратор може обрати необхідного йому користувача і перейти на сторінку з детальною інформацією. На цій сторінці буде детальна інформація про користувача, а саме:

1. Поточна вартість портфеля користувача
2. Список цінних паперів в портфелі користувача та інформацію по кожній із облігацій.
3. Історія змін інвестиційного портфеля при роботі із симулятором
4. Графік витрат балансу
5. Графік зміни вартості інвестиційного портфеля
6. Історію змін успішності користувача під час роботи із симулятором
7. Графік зміни рейтингу користувача

Змінивши вкладку на історію інвестиційного портфеля, адміністратор має змогу детально побачити, як змінювався портфель користувача. Що він купував, продав, коли це було, скільки він витратив або отримав. Передбачено графічне відображення зміни балансу та вартості інвестиційного портфеля користувача.

На сторінці детальної інформації наявна також вкладка «Успішність» в якій відображається історія змін рейтингу користувача під час роботи із симулятором. З описом операції, оцінкою, що була до та після, час в який відбулась зміна.

Наступними сторінками є статистичні із інформацією, яка може в подальшому використовуватись для проведення аналізу навчання користувачів, їх роботи з ОВДП. Заплановано, що ця інформація буде використана при вдосконаленні та розширенні функціоналу симулятора.

Секторна діаграма рейтингу користувачі – діаграма на якій показано скільки користувачів мають рейтинг у відповідному діапазоні.

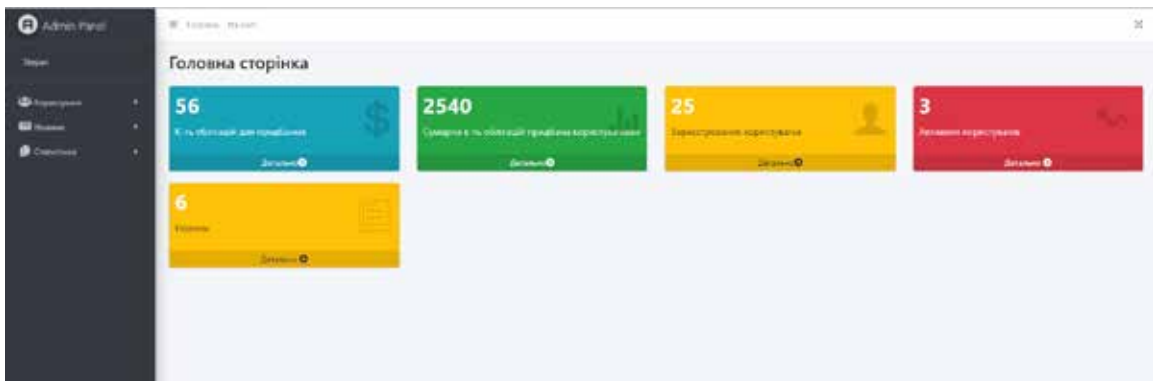


Рис. 6. Головна сторінка адмін-панелі

Ім'я: Volodymyr Zelensky		Email: zelenkyua@pov.ua		Баланс користувача: 37483.10			
Рейтинг: 42		Роль: Користувач					
Поточна вартість інвестиційного портфеля							
120,284.08							
Портфель		Історія інвест. портфеля		Успішність			
Операція	Баланс до	Баланс після	К-ть у портфелі до	К-ть у портфелі після	Отримано/витрачено	Вартість портфеля	Дата операції
Придбання облігації NBUA4000225791	150000.00	102037.00	0	50	-47963.00	52325.58	30 трав 2022 р., 23:20
Придбання облігації NBUA4000225791	102037.00	78055.50	50	75	-23981.50	78488.37	30 трав 2022 р., 23:21
Придбання облігації NBUA4000224570	78055.50	62007.60	0	15	-16047.90	94255.81	30 трав 2022 р., 23:26
Придбання облігації NBUA4000223981	62007.60	51995.50	0	10	-10012.10	104738.14	30 трав 2022 р., 23:27
Придбання облігації NBUA4000223561	51995.50	41983.40	10	20	-10012.10	115260.47	30 трав 2022 р., 23:47
Придбання облігації NBUA4000223561	41983.40	31871.30	20	30	-10012.10	125762.79	30 трав 2022 р., 23:47
Придбання облігації NBUA4000202236	31871.30	21858.10	0	10	-10013.20	135981.75	30 трав 2022 р., 23:48
Продаж облігації NBUA4000225791	21858.10	37483.10	75	60	+15825.00	120284.08	3 черв 2022 р., 01:44

Рис. 7. Історія портфеля користувача

Діаграма, яка слугує для проведення аналітики. Скільки користувачів зареєстрованих і користуються симулятором, а які не користуються. Після запуску симулятора і користування ним звичайний користувачів, якщо кількість неактивних користувачів переважає, можливо, варто провести більш детальне дослідження чому це саме так і внести корективи у роботу симулятора.

Діаграма, що відображає кількість операцій, які виконують користувачі. Із цих даних можна зробити висновки, яким операціям надають перевагу користувачі. Найчастіше використовуваною операцією буде купівля, але можна також відслідкувати кількість продаж облігацій до кількості їх

продажу. В подальшому зрозуміти, чи користувачі придбали облігації та тримають їх в своєму портфелі до закінчення терміну обігу. В іншому випадку придбали та використовуючи інформацію про облігацію планують продаж із максимальною вигодою для себе.

На основі цієї інформації можна побудувати портрет користувача симулятора.

На наступній діаграмі продемонстровано кількість облігацій у різних валютах, що доступні для купівлі користувачам.

Діаграма, що відображає валюту придбаних облігацій користувачами симулятора. На основі цієї інформації можна виконати аналітику найпопулярнішої валюти облігації у портфелі користувачів.

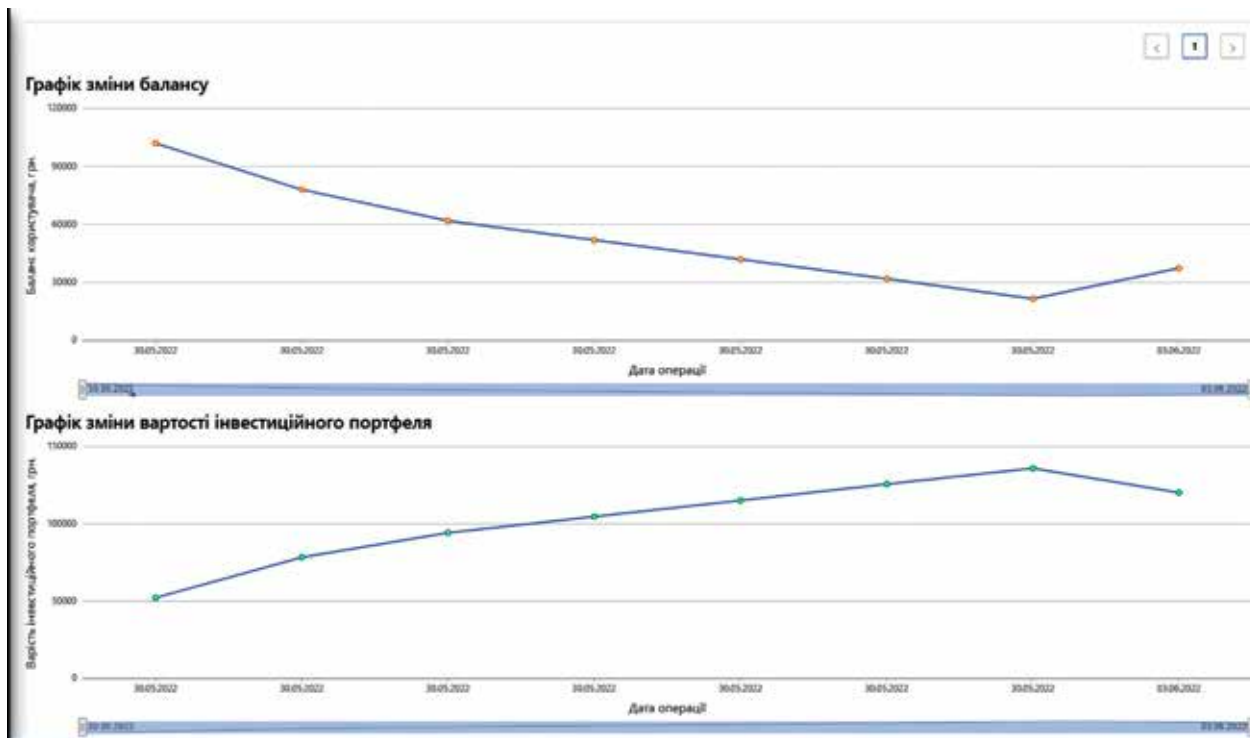


Рис. 8. Графіки зміни балансу користувача та вартості портфеля

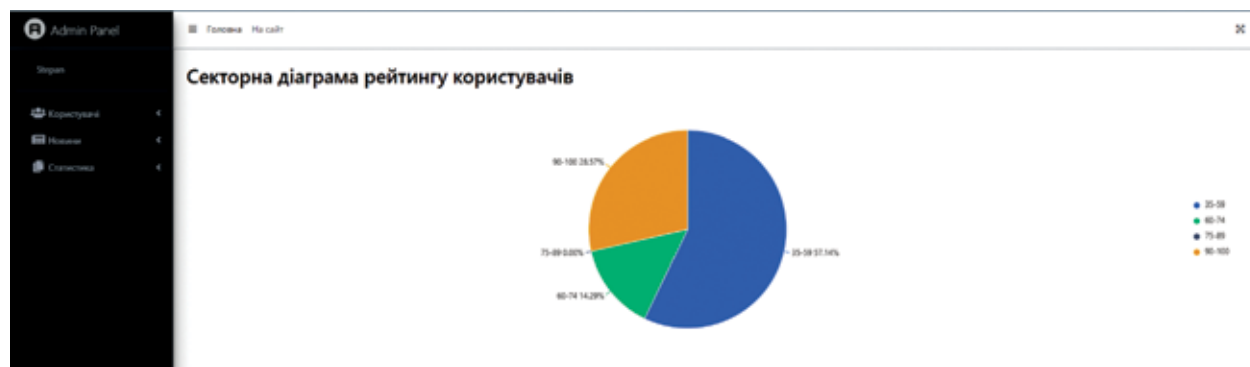


Рис. 9. Секторна діаграма рейтингу користувачів

Наявність облігацій у різних валютах

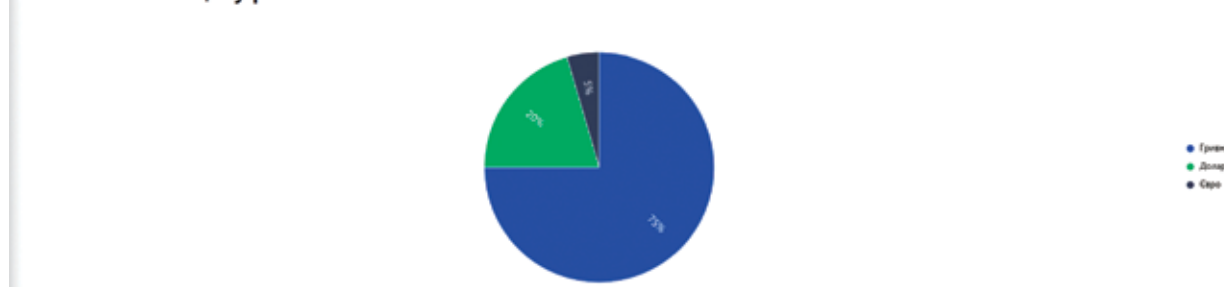


Рис. 10. Діаграма кількості облігацій у різних валютах

Висновки.

У даному дослідженні було спроектовано та реалізовано симулятор для роботи з облігаціями внутрішньої державної позики України. Проведений аналіз предметної області дозволив визначити основні аспекти симулятора, що розробляється, провести огляд наявних аналогів та виявити їх переваги та недоліки. Спроектовано базу даних відповідно до потреб, яка буде зберігати всі дані симулятора, працюватиме стабільно та безперебійно. Розглянуто архітектуру програмного комплексу та умови розгортання проекту.

Система може бути використана для навчання базовим навичкам роботи з облігаціями внутрішньої державної позики та отримання прибутку після навчання користувачів.

В подальшому дана система може зазнати змін, а саме зміни рейтингової системи, після додаткового розширеного тестування на широкому колі користувачів. Також можливі вдосконалення шляхом впровадження нових функціональних можливостей. Завдяки обраній архітектурі масштабування системи відбуватиметься без ускладнень.

Список літератури:

1. Симуляція. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Симуляція>.
2. Браткова І. М. Аналіз та оцінка ОВДП як інвестиційного інструменту. *Вісник Одеського національного університету. Серія: Економіка*. 2016. №. 21, Вип. 4. С. 153-159.
3. Ватаманюк-Зелінська, У. (2021). Функціонування в Україні ринку державних облігацій внутрішньої позики. *Економіка та суспільство*, (30). URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-30-15>
4. Капраль О. Р., Яричевська Я. І. Гейміфікація у сфері фінтех. *Журнал «Наукові інновації та передові технології» (Серія «Державне управління», Серія «Право», Серія «Економіка», Серія «Психологія», Серія «Педагогіка»)*, № 1(3), 2022. С. 120-132. URL: [https://doi.org/10.52058/2786-5274-2022-1\(3\)-120-132](https://doi.org/10.52058/2786-5274-2022-1(3)-120-132).
5. Маршук, Л., & Клименко, М. (2021). Інвестиції як складова управління особистими фінансами. *Економіка та суспільство*, (25). URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-25-84>

Antoniuk D.S., Labenskyi V.A., Miedviediev V.V., Novachuk R.O. DESIGN OF THE SIMULATOR FOR MANAGING A PERSONAL PORTFOLIO OF DOMESTIC GOVERNMENT LOAN BONDS

The rapid development of digital technologies contributes to the growing growth of various tools of applied value. The sphere of finance and economics is no exception. To study the possibilities of managing a personal portfolio of domestic government bonds, the so-called simulators will be useful. A simulator is a digital tool designed to simulate a certain type of activity that, under certain conditions or external factors, cannot be done in reality. The work aims to design and develop a simulator for working with domestic government bonds. The primary purpose of developing the simulator is to familiarize student with the principles and methods of working with domestic government bonds. The introduction of the simulator will help improve savings and investment skills and speed up the process of mastering working with securities. The system will allow you to control the quality of user training. In this study, a simulator was designed and implemented to work with the domestic government bonds of Ukraine. The subject area analysis made it possible to determine the main aspects of the developed simulator, review the available analogs and identify their advantages and disadvantages. A database has been designed according to the needs, which will store all the simulator's data, and will work stably and uninterruptedly. The architecture of the software package and the conditions for the deployment of the project are considered. The system can be used to teach the basic skills of working with domestic government bonds and make a profit after user training. In the future, this system may change, namely changes in the rating system, after the system is extensively tested on ordinary users. Improvements are also possible through the introduction of new functionality. Thanks to the chosen architecture, the scaling of the system will occur without complications.

Key words: design, simulator, management, personal portfolio, bonds, domestic government loan.

Батюк Л.В.

Харківський національний медичний університет

Кізілова Н.М.

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ БАЗ ДАНИХ І ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ОБРОБКИ МАСИВІВ МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У статті наведені результати систематичного огляду літератури з методів отримання, накопичення, обробки і використання різноманітної медичної інформації у вигляді часових рядів, зображень, числових показників та вербальних описів, які використовуються на рівні як окремих лікарень і діагностичних центрів, так і на рівні країн і регіонів.

В основі найбільш досконалих баз даних (БД) поточної фізіологічної інформації, які розробляються як в цілях удосконалення клінічної діагностики хвороб і патологій, оптимізації хірургічного і консервативного лікування, реабілітації і профілактики, так і для навчання студентів, проведення наукових досліджень і розробці нових методів і моделей, лежить систематизація типів і способу отримання вимірювань фізіологічних параметрів сигналів, постійне оновлення БД і поповнювання її новими параметрами, які постійно з'являються завдяки прогресу техніки медичних вимірювань. У зв'язку з цим медичну інформацію можна віднести до області «великих даних» (big data), головними ознаками якої є обсяг, зростання як швидкості надходження нових даних, так і їх різноманітності (volume, velocity, variety, VVV). Серед типів даних є часові ряди (залежності температури тіла, артеріального тиску, сигналів кардіо- і енцефалограми, і т.д. від часу), 2D зображення (ангіограми, ультразвукові знімки, поля температури) і 3D зображення (магніторезонансна і комп'ютерна томографія), а також описова інформація (симптоми, скарги, анамнез і т.д.). Для обробки інформації найбільш широко використовуються методи математичної статистики, розпізнавання і класифікації, спектральний, фрактальний і вейвліт аналіз сигналів і зображень. Серед математичних моделей поширені компартментальні моделі, методи аналізу динамічних систем, глибоке машинне навчання і штучний інтелект.

Більш детально наведені дані про БД LAVKA, яка охоплює більше третини населення Данії. Сучасні розробки, які існують в розвинених країнах Європи й Америки і отриманій ними досвід використання БД повинні бути враховані для вдосконалення системи охорони здоров'я в Україні під час її післявоєнного відновлення.

Ключові слова: медична діагностика, аналіз крові, бази даних, інформаційні системи, штучний інтелект.

Постановка проблеми. Сучасний період розвитку світового суспільства характеризується багаторівневою цифровою трансформацією [1]. До нашого життя все активніше входять різні технології безперервного моніторингу стану людини та навколишнього середовища (wearable technology) – фітнес- і кардіобраслети і годинники; «розумні» взуття і одяг, які можуть інтерактивно взаємодіяти з тілом людини і навколишнім середовищем, реєструвати і відсилати сигнали, обробляти інформацію і видавати рекомендації у реальному часі, та ін. [1,2]. Все ширше використовується концепція цифрового двійника (Digital Twin), яка базується на цифровій копії фізичного об'єкту або процесу і дозволяє моделювати і оптимізувати ефективність діагностики, профілактики, лікування і реабілітації пацієнтів з різними хворо-

бами завдяки використанню технологій штучного інтелекту (ШІ) [3]. Для виконання цих завдань потрібні детальні бази даних (БД) відповідних фізіологічних параметрів статистично репрезентативних груп як здорових індивідів різного віку, так і груп хворих на ті чи інші гострі та хронічні захворювання. Подібні БД існують на рівні окремих медико-діагностичних центрів різних країн, але вони відрізняються способами отримання, зберігання і обробки фізіологічних даних, а також самим типами даних у вигляді часових рядів, медичних зображень, числових значень і словесного опису, методів кодування та ін. [4].

Постановка завдання. Метою статті є огляд існуючих на сьогодні БД медико-біологічної інформації з детальним обговоренням шляхів моніторингу і аналізу даних, математичних

моделей для їх обробки і динамічної візуалізації, та інших важливих аспектів прийняття рішень у вигляді постановки діагнозу, рекомендованого лікування і подальшого спостереження за пацієнтом за допомогою систем ШІ. Отримані результати будуть корисними для використання в системі охорони здоров'я і профілактики захворювань під час післявоєнного відновлення економіки і медичної системи України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні серед досягнень світової спільноти є розробка єдиної БД генетичної інформації у вигляді наборів кодів ДНК (геноміка), білків тіл людини і тварин (протеоміка), широкого набору низькомолекулярних метаболітів (метаболоміка) з урахуванням всіх епігеномних модифікацій генетичного матеріалу в клітині (епідеоміка) [5]. Ця БД відкрита для доступу з науково-дослідними цілями і є важливим ресурсом для десятків тисяч щорічних публікацій як з генетики, порівняльної біології і медицини, так і з нових математичних моделей і методів для обробки і аналізу інформації. На жаль, аналогічні централізовані БД медико-біологічної інформації, які можуть дозволити статистичний аналіз даних різноманітних клінічних тестів, вимірювань і медичних зображень, які постійно і у великих обсягах реєструються у лікарнях і діагностичних центрах, з метою удосконалення існуючих і розробці нових методів і підходів, включаючи статистичну обробку, математичне моделювання і апробацію систем ШІ, на сьогодні відсутні.

Медична аналітика має потенціал для зниження витрат на лікування, прогнозування спалахів епідемій, запобігання захворюванням, яким можна запобігти, і поліпшити якість життя в цілому [3,4]. Щодня мільйони зразків крові аналізуються в рамках повсякденної клінічної роботи у лікарнях та медичних закладах у всьому світі. Виконані лабораторні тести аналізуються у клінічних лабораторіях та зазвичай реєструються у комп'ютерних лабораторних інформаційних системах [6]. Уніфікація вимог до обов'язкових типів даних і методів їх реєстрації є важливою складовою сучасних підходів до використання медичної інформації [4].

Існує приклад дослідницької БД клінічної лабораторної інформаційної системи LAVKA у Данії [7]. Ця БД містить мільйони збережених результатів лабораторних аналізів датських пацієнтів, які мешкають у регіонах Північної і Центральної Данії, що становить більше третини населення країни. Таким чином, дослідницька

БД LAVKA є важливим джерелом інформації для досліджень, які включають аналізи крові, а також для проведення епідеміологічних досліджень, які набули особливого значення у зв'язку з пандемією коронавірусу [8,9]. Датські реєстри охорони здоров'я і хвороб населення визнані одними з найкращих у світі, зокрема, завдяки їхньому великому розміру, тривалому періоду реєстрації, високій якості та повноті [10,11]. Медична реєстрація базується на Датській національній службі охорони здоров'я, діяльність якої координується п'ятьма адміністративними регіонами. Ця система забезпечує всебічне медичне обслуговування, яке для всіх жителів країни фінансується за рахунок податків. З 1968 р. всім жителям надається особистий цивільний реєстраційний номер, який використовується у всіх БД про здоров'я населення та полегшує однозначне комп'ютеризоване узгодження записів. Лікарні почали передавати дані до БД LAVKA, починаючи з 1990 р., а повне географічне охоплення було досягнуто з 1997 р. в Північній Данії, а з 2000 р. - в Центральній Данії.

Система LAVKA зберігає результати аналізів кожного зразка крові, взятого в будь-якій державній або приватній лікарні або будь-яким лікарем загальної практики та відправленого до будь-якого відділу клінічної хімії, розташованого у регіонах країни. Винятками є деякі результати, отримані за допомогою невеликих та швидких пристроїв, які використовуються медичним персоналом або самими пацієнтами вдома для миттєвого аналізу, наприклад, концентрації глюкози у крові (портативні глюкометри або смарт-браслети), гемоглобіну, температури тіла та ін. [12]. Коли зразок крові було проаналізовано в лабораторії відділення клінічної хімії, сам зразок знищується, а результати аналізу передаються в електронному вигляді до відділення лікарні або до лікаря загальної практики [13]. Інформація записується через міжнародну систему кодування NPU (Nomenclature, Properties and Units). Код NPU є унікальним ідентифікаційним номером для кожного окремого клінічного тесту і забезпечує єдину термінологію, спосіб і одиниці вимірювань для ідентифікації значень клінічних лабораторних тестів відповідно до міжнародних рекомендацій [14]. У БД є понад 1700 різних типів аналізів крові (кількість еритроцитів, тромбоцитів і різних типів лейкоцитів, рН, вміст гемоглобіну, альбумінів і різних типів глобулінів, та ін.), а також понад 80 фармакологічних аналізів на чутливість до медичних препаратів (антибіотики, алергени та ін.). Подібні локальні БД інформації мають медичні заклади різних

країн, але способи отримання даних і методи аналізу інформації не завжди є уніфікованими. За наявності подібних централізованих систем могли б успішно розвиватися нові методи експрес-діагностики різних захворювань або схильності до них, наприклад, харчових і лікарських алергій [15].

Подібні, але менш масштабні БД були розроблені в ряді країн Європи, Африки, Азії та США [16-18]. Аналіз, проведений на вибірці з 103 лікарень різних регіонів Італії, виявив значний позитивний вплив розміру і віку лікарні, кваліфікації і комп'ютерної грамотності лікарів на рівень цифрової трансформації [16]. Також був показаний позитивний вплив наявності відділення невідкладної допомоги та незначний вплив кількості відділень лікарні на рівень її цифрової трансформації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Аналіз літератури показав, що розвиток цифрової медицини можна розділити на кілька етапів відповідно до розроблених технологій отримання, накопичення і обробки медичної інформації. Сучасні апаратні технології набули поширення в медицині з другої половини XIX ст., а з кінця XX ст. ці технології стали все більш цифровими та керованими даними. Якщо у 1960-1980 рр. аналіз медичної інформації проводився з використанням персональних (ПК) і великих (mainframe) комп'ютерів, то у 1990-2000 рр. це були мережі ПК, інтернет- і бізнес системи (widespread PC adoption; Emergency Preservation and Resuscitation, EPR-technologies). В 2000-2010 рр. використовувалися комп'ютерні кластери, хмарні обчислення за допомогою математичних моделей «великих даних» на основі мобільних даних, які отримувалися з комп'ютеризованих медичних систем, смартфонів і соціальних мереж.

Останнє десятиріччя характеризується використанням машинного навчання і ШІ для аналізу великих масивів фізіологічної інформації для постановки діагнозу, а також нових джерел даних у вигляді «розумних» одягу і окулярів, мікрочипів (для відновлення зору, роботи мозку, керування імплантати), персональних роботів та ін. В результаті була створена галузь цифрової медицини, на яку в 2019 р. пішло \$350 млрд., і яка в 2020-2022 рр. показала значні успіхи в оперативному зборі і аналізі даних під час пандемії COVID-19. Нещодавня робота комісії Lancet/FT-2030 з управління здоров'ям показала, що цифрові технології вже мають значний вплив на здоров'я та благополуччя та відіграватимуть ще більш важливу роль, навіть потенційно допома-

гаючи досягти загального охоплення населення медичним обслуговуванням [19]. Таким чином, будь-які обговорення і заходи про розвинення, реорганізацію, розбудову медицини в країні не можуть уникнути питань, які пов'язані з цифровізацією медицини і медичних послуг.

У більшості проаналізованих БД різних країн і регіонів містяться дані аналізів крові (клінічний, біохімічний, імунологічний, covid, і т.д.), електрокардіографії (ЕКГ), ультрасонографії (УСГ) деяких органів, MRI і СТ зображення. Останні стали особливо важливими під час пандемії коронавірусу у зв'язку з ускладненнями системи дихання [8, 9].

Найбільш використаними підходами є

1) MapReduce - модель розподілених обчислювань у комп'ютерних кластерах, представлена компанією Google;

2) NoSQL - нереляційні бази даних і сховищ;

3) Hadoop - freeware-утиліти, бібліотеки і фреймворки для розробки і виконання розподілених програм, які працюють на кластерах;

4) R - мова програмування для статистичної обробки даних і роботи з графікою, яка стала стандартом для статистичних програм;

5) Апаратні рішення – готові апаратно-програмні комплекси, які призначені для обробки великих даних (Teradata, McKinsey, EMC та ін.).

Найбільш поширеними методами аналізу «великих даних» є

1) Data Mining - інтелектуальний аналіз даних для виявлення раніше невідомих знань;

2) Статистичний аналіз даних - аналіз сердніх і тренду, A/B-тестування, split testing;

3) Візуалізація аналітичних даних – подання інформації з використанням інтерактивних можливостей і анімації;

4) Просторовий аналіз (spatial analysis) – клас методів, що використовують топологічну і геометричну інформацію, яка вилучається із даних.

5) Когнітивний аналіз даних - аналіз з використанням теорії пізнання, нейрофізіології, когнітивної лінгвістики (когнітивістика);

6) Змішання та інтеграція даних (data fusion and integration) – набір технік, які дозволяють інтегрувати різноманітні дані з різних джерел з метою проведення їх глибинного аналізу;

7) Машинне навчання – використання моделей і методів розпізнавання і класифікації для побудови комплексних прогнозів на основі моделей процесів/явищ;

8) Нейронні мережі (штучний інтелект) – евристичні алгоритми пошуку, які використовуються для розв'язання задач оптимізації і моделю-

вання з використанням механізмів, аналогічних натуральному відбору у природі;

9) Прогнозна аналітика (predictive analytics) – методи аналізу даних для прогнозування майбутньої поведінки об'єктів з метою прийняття оптимальних рішень;

11) Імітаційне моделювання (simulation) – різновид експериментальних випробувань.

Висновки. Таким чином, цифрові технології все більше впроваджуються в системах охорони здоров'я в усьому світі. Основні глобальні установи охорони здоров'я, від ВООЗ до Фонду Гейтса, приймають участь у розбудові цифрових технологій для охорони здоров'я і навколишнього середовища. Метою цифровізації медицини у країні/регіоні є використання підходів, які вже апро-

бовані і долучені до світових систем моніторингу стану здоров'я на різних материках і територіях. Однією з сучасних інформаційних медичних систем з БД є система LABKA, яка впроваджена, випробувана, накопичує дані з 1990 р. і постійно оновлюється. Однак доробок інших розвинених країн Європи і Північної Америки слід використати для модифікації і поповнення БД України.

Серед найбільш важливих для цілей медичної діагностики показників є (1) анамнез, дані вакцинації та ін., (2) дані антропометрії в динаміці, (3) всі наявні сучасні стандартні аналізи крові, (4) записи ЕКГ; за наявністю - (5) УСТ, (6) ангиографія, (7) MRI, (8) СТ. Найбільш поширені методи, технологій і моделі перелічені в статті.

Список літератури:

1. Morze N.V., Strutynska O.V. Digital transformation in society: key aspects for model development. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1946. P. 012021. DOI: 10.1088/1742-6596/1946/1/012021
2. Gopal G., Suter-Crazzolaro C., Toldo L., Eberhardt W. Digital transformation in healthcare - Architectures of present and future information technologies. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*. 2018. Vol. 57. No. 3. Pp. 328–335. DOI: 10.1515/cclm-2018-0658
3. Kizilova N. Multidisciplinary Approaches in Cancer Diagnosis and Treatment: Towards Patient-Specific Predictive Oncology. *Acta Scientific Cancer Biology*. 2019. Vol.3. No. 8. Pp. 1-2. DOI: ASCB-03-0145
4. Батюк Л.В., Кізілова Н.М. Система моніторингу біофізичних властивостей еритроцитів крові пацієнтів для цілей медичної діагностики. *Системи обробки інформації*. 2020. № 3(162). С. 13-20. DOI: 10.30748/soi.2020.162.02
5. Soudy M., Anwar A.M., Ahmed E.A., Osama A., Ezzeldin S., Mahgoub S., Magdeldin S. Uniprot: Retrieving and visualizing protein sequence and functional information from Universal Protein Resource (UniProt knowledgebase). *Journal of Proteomics*. 2020. Vol. 213. P. 103613. DOI: 10.1016/j.jprot.2019.103613.
6. McQuilten ZK, Schembri N, Polizzotto MN, et al. Hospital blood bank information systems accurately reflect patient transfusion: Results of a validation study. *Transfusion*. 2011. Vol. 51. No. 5. Pp. 943-948. DOI: 10.1111/j.1537-2995.2010.02931.x.
7. Grann A.F., R. Erichsen, A.G. Nielsen, T. Frøslev, and R.W. Thomsen Existing data sources for clinical epidemiology: The clinical laboratory information system (LABKA) research database at Aarhus University, Denmark. *Clinical Epidemiology*. 2011. Vol. 3. Pp. 133–138. DOI: 10.2147/CLEP.S17901
8. Захарова А.А., Кізілова Н.М. Дослідження кореляцій динаміки захворювання на COVID-19 з деякими соціально-економічними факторами. *Вісник Харківського національного університету серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2020. Вип. 48. С. 49-56. DOI: 10.26565/2304-6201-2020-48-04
9. Костецька В.В., Кізілова Н.М. Математичне моделювання динаміки пандемії COVID-19. *Вісник Харківського національного університету серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2020. Вип. 48. С. 65-71. DOI: 10.26565/2304-6201-2020-48-06
10. Frank L. Epidemiology. When an entire country is a cohort. *Science*. 2000. Vol. 287. Pp. 2398–2399. DOI: 10.1126/science.287.5462.2398
11. Storm H.H., Michelsen E.V., Clemmensen I.H. The Danish Cancer Registry – history, content, quality and use. *Danish Medical Bulletin*. 1997. Vol. 44. P. 535–539. DOI: 10.1177/1403494810393562.
12. Hoedemaekers C.W., Klein Gunnewiek J.M., Prinsen M.A. Accuracy of bedside glucose measurement from three glucometers in critically ill patients. *Critical Care Medicine*. 2008. Vol. 36. pp. 3062–3066. DOI: 10.1097/CCM.0b013e318186ffe6
13. Andersen T.F., Madsen M., Jorgensen J. The Danish National Hospital Register. A valuable source of data for modern health sciences. *Danish Medical Bulletin*. 1999. Vol. 46. Pp. 263–268. DOI: 10.1007/s00415-022-11147-2
14. Pontet F., Magdal P.U., Fuentes-Arderiu X. Clinical laboratory sciences data transmission: The NPU coding system. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2009. Vol. 150. Pp. 265–269. DOI: 10.1161/JAHA.121.025173.

15. Кізілова Н.М., Черевко В.О. Спосіб діагностики медикаментозної та харчової алергії. *Патент на корисну модель U201009671. Укрпатент N57165* від 10.02.2011 р. Бюл. N3/2011 р.
16. Raimo N., De Turi I., Albergo F., Vitolla F. The drivers of the digital transformation in the healthcare industry: An empirical analysis in Italian hospitals. *Technovation*. 2022. Vol. 118. P. 102558. DOI: 10.1016/j.technovation.2022.102558
17. Neumark T. Digital diagnostics from Tanzania: Beyond mere technological fixing? *Social Science & Medicine*. 2022. Vol. 312. P. 115306. DOI: 10.1016/j.socscimed.2022.115306
18. Neumark T., Prince R.J. Digital health in east Africa: innovation, experimentation and the market. *Global Policy*. 2021. Vol. 12. Pp. 65-74. DOI: 10.1111/1758-5899.12990
19. Kickbusch I., Piselli D., Agrawal A., Balicer R., Banner O., Adelhardt M. The Lancet and Financial Times Commission on governing health futures 2030: growing up in a digital world. *The Lancet*. 2021. Vol. 398. No. 10312. P. 1727-1776. DOI: 10.1016/S0140-6736(21)01824-9

Batyuk L.V., Kizilova N.N. ANALYSIS OF MODERN DATABASES AND INFORMATION SYSTEMS FOR PROCESSING ARRAYS OF MEDICAL INFORMATION

The results of a systematic literature review on the methods of obtaining, accumulating, processing and using various medical information in the form of time series, images, numerical indicators and verbal descriptions, which are used at the level of individual hospitals and diagnostic centres, as well as at the level of countries and regions are summarized.

The most advanced modern databases (DB) of physiological information, which are developed for the purpose either improving clinical diagnosis of diseases and pathologies, optimizing surgical and conservative treatment, rehabilitation and prevention, or for teaching of medical students, conducting scientific research and developing new methods and models, are grounded on the systematization of the types and methods of measurements of physiological parameters and signals, permanent updating of the DB and its replenishment with new parameters that constantly appear thanks to the progress in medical measurement technology. Therefore, medical information can be attributed to the field of "big data", the main features of which are the volume, the growth of both the speed of new data arrival and its variety (volume, velocity, variety, VVV). Data types include time series (time dependence of body temperature, blood pressure, cardio- and encephalogram signals, etc.), 2D images (angiograms, ultrasound images, temperature fields) and 3D images (magnetic resonance imaging, MRI, and computer tomography, CT), as well as descriptive information (symptoms, complaints, medical history, etc.). The methods of mathematical statistics, recognition and classification, spectral, fractal and wavelet analysis of signals and images are most widely used for information processing. Compartmental models, dynamic systems analysis methods, deep machine learning and artificial intelligence are common among mathematical models.

More detailed information about the LABKA DB, which covers more than a third of the Danish population, is given. Modern approaches existed in the developed countries of Europe and America as well as the experience gained by them in the use of the global DB of medical information should be taken into account to improve the health care system in Ukraine during its post-war reconstruction.

Key words: *medical diagnostics, blood analysis, databases, information systems, artificial intelligence.*

Глухова Н.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПІЗНАННЯ В СИСТЕМАХ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОМЕРЕЖ

У статті проаналізовано сучасний стан розвитку концепції Інтернету речей. Виконано огляд перспективних напрямків застосування систем Інтернету речей в галузі промисловості, сільського господарства, медицині та побуті. Підкреслено необхідність здійснення обробки первинних даних, у тому числі вимірювальної інформації, на рівні сенсорів систем Інтернет речей, що буде сприяти підвищенню ефективності та надійності їх експлуатації.

Розглянуто перспективи застосування методів пізнання в системах Інтернет речей, які можуть застосовуватися для отримання даних і знань шляхом впровадження інтелектуальних пристроїв та інтелектуальних засобів вимірювань.

Проаналізовано різновиди загальнонаукових методів, які мають перспективи впровадження при застосуванні штучних нейронних мереж або інших методів штучного інтелекту в системах Інтернету речей. Зокрема представлено шляхи використання таких методів емпіричних досліджень як спостереження, вимірювання, порівняння. Підкреслено переваги впровадження наукового спостереження, як методу, для якого характерним є цілеспрямованість, наявність чітко визначених прийомів і методів для отримання об'єктивних даних про предмет спостережень.

Особливу увагу в рамках статті приділено аналізу способів застосування штучних нейронних мереж для розв'язання задач метрологічного забезпечення первинних та проміжних вимірювальних перетворювачів, зокрема можливостям апроксимації їх статичних та динамічних характеристик, корекції систематичних та додаткових складових похибок.

Розглянуто також способи застосування штучних нейронних мереж на рівні сервісів систем Інтернету речей, на якому розв'язуються проблеми аналізу даних, зокрема у сфері Data Mining. Запропонована класифікація основних напрямків застосування нейромереж на рівні сервісів, що включає задачі аналізу даних, керування виконавчими пристроями, моделювання та організацію кібербезпеки пристроїв Інтернету речей.

Ключові слова: штучний інтелект, аналіз даних, системи Інтернет речей, штучні нейронні мережі, метрологічне забезпечення.

Постановка проблеми. В теперішній час відбувається стрімкий розвиток концепції Інтернету речей (Internet of Things, IoT), яка за прогнозами буде створювати фундамент подальшого розвитку науково-технічного прогресу [1, с. 2-3]. Концепція Інтернету речей існує на рівні ідей в галузі інформатики. На сьогоднішній день Інтернет речей розуміється як всесвітня мережа великого спектру різноманітних речей, які підключені до Інтернету. У якості таких речей можуть виступати прилади та пристрої, у склад яких, як правило, входять сенсори, вимірювальні перетворювачі, засоби передачі та прийняття сигналів.

Технічні засоби, які входять до системи Інтернету речей є джерелом постійного потоку первинної інформації щодо стану речей (об'єктів), які підключені до мережі Інтернет. Ефективна обробка первинних даних (у тому числі вимірювальної інформації) може здійснюватися на базі засто-

сування сучасних засобів машинного навчання, зокрема з залученням штучних нейронних мереж.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ключовою ознакою системи Інтернету речей є те, що речі, з'єднані у такий спосіб повинні володіти наступними основними функціями: збір даних; попередня обробка даних; обмін даними; можливість керування параметрами Інтернет речі.

Зрозуміло, що концепція IoT ґрунтується на використанні сучасних високотехнологічних рішень в галузі електроніки та вимірювальної техніки. Для збору даних в IoT застосовуються сенсори, які забезпечують перетворення фізичних величин різної природи в електричні сигнали, які можна передавати, на основі подальшої обробки і аналізу яких здійснюється дистанційне керування пристроями інтернет речей.

Сфери практичного застосування технологій IoT дуже різноманітні і розповсюджуються від

автоматизованого виробництва [2, с. 142-144], систем розумних будівель [3, с. 2-3] до сільського господарства [4, с. 90-92].

Доля застосування в IoT інтелектуальних пристроїв та інтелектуальних засобів вимірювань постійно зростає [1, с. 1]. Оскільки в системах Інтернету речей активно залучаються інтелектуальні пристрої, то це вимагає вирішення завдання співвідношення та раціонального розподілу функції між апаратним і програмним рівнями. Раціональний розподіл навантаження на програмні і апаратні засоби є підґрунтям високих техніко-економічних показників функціонування Інтернету речей.

Згідно з [2, с.143], архітектура при розробці Інтернету речей складається з 4 функціональних рівнів, причому на нижньому розташовані об'єкти, у тому числі об'єкти, поєднані (інтегровані) з сенсорами (первинними вимірювальними перетворювачами). Зрозуміло, що без збору даних (причому, як правило, для Інтернет речей характерним є збір даних в масштабі реального часу) система втрачає усі свої функціональні можливості. Саме тому, сучасні технологічні рішення в галузі Інтернету речей передбачають необхідність перегляду в цьому контексті поняття методології, як філософського вчення, яке стосується методів пізнання, особливо при застосуванні інтелектуальних пристроїв та приладів.

Постановка завдання. Здійснити дослідження і аналіз застосування методів пізнання в системах Інтернету речей на базі штучних нейромереж, визначити шляхи раціонального впровадження нейромереж на різних рівнях систем Інтернету речей.

Викладення основного матеріалу дослідження. До загальнонаукових методів відносять наступні три основні рівні: емпіричні, логічні, евристичні. Усі вони можуть у певній мірі бути використані в системах Інтернету речей на базі штучних нейромереж та інших інструментів штучного інтелекту.

Відомо, що ключовою ознакою інтелектуальних пристроїв та систем є наявність функції виводу нового знання на основі зібраних даних, саме це відрізняє сучасні інтелектуальні системи від інших (наприклад, програмованих або адаптивних). Вивід нового знання можна розглядати як одну з функцій процесу пізнання.

Далі проаналізуємо які загальнонаукові методи можуть бути впроваджені при застосуванні штучних нейронних мереж (або інших методів штучного інтелекту) в системах Інтернету речей.

До групи методів емпіричних досліджень відноситься спостереження. При цьому, необ-

хідно окремо виділяти наукове спостереження, що характеризується цілеспрямованістю, передбачає певні прийоми та методи та повинно задовольняти умові об'єктивності. Даний метод може бути використаний в системах Інтернет речей для розумного будинку, в медичній галузі для дистанційного спостереження за станом пацієнта тощо.

Застосування інтелектуальних приладів у складі таких систем передбачає не тільки збір даних в реальному масштабі часу, але й інтелектуальну обробку і аналіз даних.

Впровадження штучних нейронних мереж в таких системах може бути реалізовано у наступних напрямках: розпізнавання образів (об'єктів); розпізнавання речі (голосових команд); автоматизований аналіз сигналів (наприклад, віднесення кардіограми пацієнта до певної групи – норма, стан хронічного захворювання, гострий стан); інтелектуальний пошук інформації в різних джерелах.

До групи методів емпіричних досліджень відносять також вимірювання (іноді його також класифікують і як різновид спостереження). Ключовою ознакою вимірювання, яке відрізняє цю операцію від спостереження, є обов'язковість представлення інформації щодо стану об'єктів або процесів у кількісній формі. Оскільки нижній рівень майже будь-якої системи Інтернет речей передбачає застосування датчиків (вимірювальних перетворювачів), то вимірювання фактично завжди за замовчуванням виконуються при функціонуванні Інтернету речей.

Однак, слід зауважити, що у багатьох галузях, таких як промисловість, сільське господарство, медицина, екологія тощо вимірювання передбачають не тільки отримання кількісного результату оцінки значення певної фізичної величини або параметру, але й надання інформації щодо якості здійснення вимірювальної процедури у вигляді похибок або невизначеностей вимірювань.

Остання вимога може бути забезпечена наявністю у складі системи Інтернету речей не тільки простих сенсорів, а інтелектуальних приладів, які побудовані на базі мікропроцесорів та здатні виконувати певні обчислювальні операції. Тоді оцінка якості вимірювань у вигляді розрахунку необхідних метрологічних характеристик може покладатися на інтелектуальний засіб вимірювань. Застосування сучасних інтелектуальних технологій вимірювань на нижньому рівні (рівні збору даних) в системах Інтернет речей дозволять не тільки обчислити похибку або невизначеність вимірювань, але й виконати додаткові вимірювальні завдання, що відносяться до метрологічного

забезпечення систем Інтернету речей, наприклад: калібрування; самодіагностика; внесення поправок; виявлення та корегування додаткових складових похибки.

При побудові сучасних інтелектуальних приладів, у тому числі призначених для використання в системах Інтернету речей, штучні нейронні мережі можуть застосовуватися при розв'язанні наступних задач:

- апроксимація статичної характеристики вимірювального перетворювача;
- адаптивна корекція систематичної складової похибки або невизначеності;
- автоматична корекція величини додаткової складової похибки або невизначеності, які викликані зміною умов експлуатації об'єкту Інтернету речей (наприклад, вплив на сенсори температури, вологості, електромагнітних полів тощо).

Третім емпіричним методом досліджень виступає експеримент, який є актуальним переважно у науковій сфері та в окремих випадках використовується також в умовах виробництва, наприклад, при впровадженні нової техніки або технологій.

Сфери можливого застосування штучних нейронних мереж при експериментальних дослідженнях надзвичайно широкі, але, безумовно, цілком визначаються метою досліджень. Серед основних напрямків можна відзначити наступні: апроксимація експериментальних даних; побудова моделей на базі експериментальних даних; розпізнавання образів; аналіз сигналів.

В методології наукових досліджень серед методів емпіричного пізнання виділяють такий метод як порівняння, який дозволяє виявити відмінності між певними об'єктами матеріального світу. Завдання порівняння також передбачає виявлення спільного в об'єктах. Взагалі спосіб пізнання у вигляді порівняння може бути реалізований на практиці безпосередньо органами чуття людини або за допомогою технічних пристроїв.

В системах Інтернету речей може бути задіяна первинна інформація різного походження: це можуть бути певним чином зареєстровані реакції людини (наприклад, у вигляді лінгвістичних змінних або оцінок у балах щодо комфорту та задоволення певними кліматичними умовами у розумному будинку) або інформація від первинних датчиків у вигляді сигналів (або зображень).

Однак, незважаючи на джерело надходження первинних даних, операція порівняння в сучасних інтелектуальних пристроях, зокрема тих, які ґрунтуються на алгоритмах на базі штучних нейромереж, як правило, зводиться до необхідності розв'язання кола завдань, різновиди яких представлені у вигляді схеми рис. 1.

Найпростішою операцією з наведеного переліку є контроль (у тому числі технічна діагностика пристроїв у складі системи IoT), який полягає у реєстрації первинної інформації (в системах Інтернет речей, як правило, в масштабі реального часу або з несуттєвою затримкою) та співставлення її з існуючою «нормою».

На відміну від операції вимірювання, здійснення контролю передбачає не тільки отримання поточної інформації про стан об'єкту спостережень (або пристрій IoT, якщо мова йде про технічну самодіагностику), але й наявність заздалегідь відомої «норми», з якою відбувається порівняння з метою зробити висновок: відповідає поточний стан об'єкту заданій «нормі» або ні. На базі зробленого висновку можуть надсилатися сигнали у мережу Інтернет для здійснення оперативного інформування (наприклад, інформування лікаря про зміни стану пацієнту і невідповідність визначених показників здоров'я певним межам встановленої «норми»).

Якщо операція порівняння здійснюється в системі Інтернет речей, яка містить виконавчі пристрої, то сигнал про невідповідність «нормі» може запускати відповідні виконавчі пристрої, які на базі алгоритмів автоматичного керування

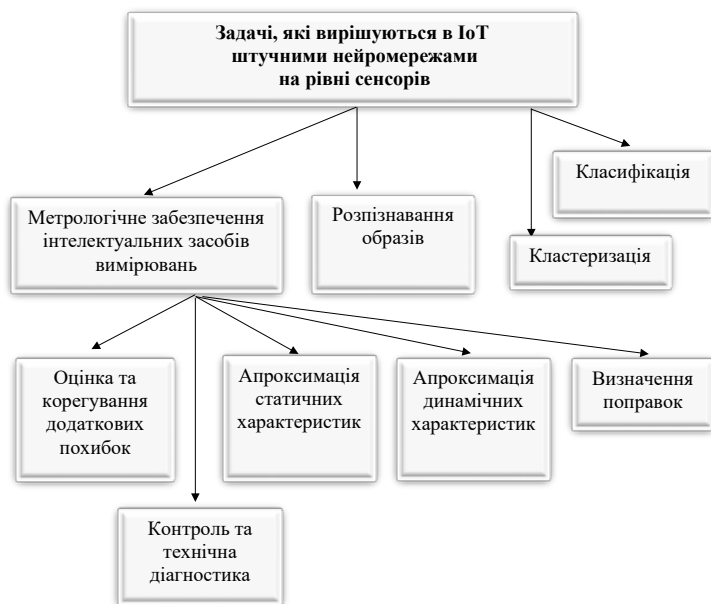


Рис. 1. Схема класифікації завдань, які вирішуються на базі штучних нейромереж, в IoT на рівні сенсорів

приводять параметри Інтернет речі до заданих значень, які відповідають «нормі».

Слід підкреслити, що у переважній більшості сучасних інтелектуальних пристроїв та приладів, «норма» для параметрів задається не у вигляді певної константи або їх набору для групи параметрів об'єкту, а являє собою адаптивну модель об'єкту, яка може будуватися на базі застосування штучних нейромереж. Перевагою використання штучних нейромереж для побудови моделей об'єктів є широкі можливості щодо адаптивного навчання, накопичення та виводу знань.

При використанні інтелектуальних датчиків в системі Інтернету речей в автоматичному режимі можуть бути здійснені деякі операції в галузі метрологічного забезпечення:

1. Оцінка та корегування додаткових похибок або невизначеностей. Відомо, що додаткові складові похибок або невизначеностей вимірювань обумовлені впливом зовнішніх неінформативних факторів (вологість, температура, електромагнітні завади тощо). Для кожного виду вимірювального приладу мінімальні та максимальні значення неінформативних впливаючих величин задаються у вигляді меж, котрі визначають появу додаткових складових похибок при експлуатації засобів вимірювальної техніки в умовах, які відрізняються від нормальних. В найпростіших випадках додаткові складові розраховуються за простими формулами, лінійними залежностями. Але слід підкреслити, що також у багатьох випадках додаткові складові (наприклад, температурні) мають суттєво нелінійний характер, тоді для виконання їх автоматичної корекції шляхом побудови відповідного рівняння регресії можуть використовуватися штучні нейромережі. Перевагою застосування нейромереж для побудови рівняння регресії є те, що вони є універсальними апроксиматорами.

2. Оскільки штучні нейромережі володіють властивостями універсальних апроксиматорів, то вони мають значні перспективи застосування у складі програмного забезпечення інтелектуальних сенсорів систем IoT для визначення і адаптивної корекції в процесі експлуатації статичних (градувальних) характеристик первинних та проміжних вимірювальних перетворювачів у складі інтелектуальних сенсорів, що забезпечить належну роботу інтелектуальних сенсорів та виконання вимог метрологічної надійності при їх роботі як в статичному, так і в динамічному режимах вимірювань.

3. Шляхом визначення додаткових та систематичних складових похибок інтелектуальних сен-

сорів можуть автоматично вноситися поправки для підвищення точності і достовірності вимірювань параметрів Інтернет речей.

Інші завдання, які можна віднести до складу операції порівняння, – це розпізнавання образів, класифікація і кластеризація. Усі вони наразі успішно вирішуються шляхом застосування штучних нейромереж. Оскільки вказані завдання часто використовуються в сучасних інтелектуальних пристроях, то виконаємо більш детальний аналіз можливих шляхів їх розв'язання з залученням апарату штучних нейромереж.

Стрімкий розвиток технологій IoT та їх широке практичне застосування в різних сферах людської діяльності призводить до ситуації, коли інші галузі науки підлаштовуються під потреби пристроїв IoT. Слід розуміти, що велика частина пристроїв, які використовують як Інтернет речі, характеризуються суттєво нижчими обчислювальними можливостями у порівнянні з комп'ютерами, мікропроцесорами, смартфонами. Для таких Інтернет речей також характерні і суттєво менші об'єми пам'яті (наприклад, до 10 КБайт ОЗП). Алгоритми і програмне забезпечення для таких пристроїв вимагає удосконалення і адаптації з урахуванням їх технічних характеристик.

Наприклад, у роботі [5, с. 3-4] запропонована спеціальна штучна нейронна мережа, розроблена для роботи на пристроях IoT, яка забезпечує здійснення функцій класифікації для виконання завдань кібербезпеки пристрою IoT. В роботі [6, с. 4-6] нейромережі з різними методами машинного навчання запропоновано використовувати для виявлення небезпечних зовнішніх атак на пристрій та виявлення відхилення від «норми» у поведінці IoT унаслідок кібератак.

У галузі сільського господарства інтелектуальні датчики в системах IoT також мають перспективи широкого розповсюдження [7, с. 139-138]. З огляду застосування технологій IoT в сільському господарстві можна зробити висновок про велике різноманіття датчиків, які використовуються для підвищення ефективності робіт: датчики місця розташування на базі GPS, оптичні датчики, механічні та електрохімічні тощо. Але, як зазначають автори роботи [7, с. 15-18], наявність великої кількості різноманітних складних датчиків вимагає застосування відповідних моделей машинного навчання, орієнтованих на комплексне розв'язання завдань у сільському господарстві.

Використання датчиків системи IoT для сільського господарства передбачає синтез інтелектуальної моделі для розв'язання завдань



Рис. 2. Схема класифікації завдань, які вирішуються на базі штучних неймереж, в IoT на рівні сервісів

прогнозування, причому без втручання людини. Найпоширенішим та ефективним інструментом для машинного навчання виступають штучні неймережі. На їх основі можна створювати інтелектуальні моделі для користування у системі IoT, які здатні автоматично накопичувати нові дані та навчатися на нових прикладах.

В результаті впровадження інтелектуальних моделей та алгоритмів машинного навчання у поєднанні з датчиками IoT дозволяють автоматично розв'язувати завдання розпізнавання образів, регресії, кластеризації та класифікації.

Системи IoT, окрім нижнього рівня, який складається з різноманітних вимірювальних перетворювачів та сенсорних мереж (наприклад, WiFi, Ethernet, ZigBee), включає також інші рівні, які містять такі компоненти як шлюзи; глобальні мережі; мікроконтролери; сигнальні процесори; сервіси, у тому числі на хмарних і туманних платформах [8, с. 101-104], додатки для розв'язання прикладних задач та зв'язку з зовнішнім оточенням IoT.

На рівні сервісів, які переважно зосереджені на проблемах аналізу даних, у тому числі у сфері Data Mining, штучні нейронні мережі також застосовуються для розв'язання широкого кола задач. Класифікація основних напрямків застосування неймереж на рівні сервісів схематично представлена на рис. 2.

Висновки. У роботі проаналізовано напрямки застосування методів пізнання в системах Інтернету речей на базі штучних неймереж. Запропоновано конкретні сфери застосування способів аналізу та обробки даних на базі штучних нейронних мереж на рівні сенсорів та на рівні сервісів в системах Інтернету речей. Зроблений детальний розгляд сфер застосування штучних нейронних мереж в галузі метрологічного забезпечення на рівні сенсорів, що є необхідним підґрунтям забезпечення якості вимірювань параметрів пристроїв Інтернету речей та також повинно підвищити

Список літератури:

1. Kumar S., Tiwari P., Zymbler M. Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big data*. 2019. Т. 6. №. 1. С. 1-21. <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>.
2. Самойленко М.Ю. Принципи застосування технології інтернет речей у сучасному світі техніки. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Том 31 (70). Ч. 1. № 6. 2020. С. 142-148.
3. Wahiba Ya'ici, Karthik Krishnamurthy, Evgueniy Entchev, Michela Longo. Recent advances in Internet of Things (IoT) infrastructures for building energy systems: A review. *Sensors*. 2021. Т.21. № 6. С. 2152. <https://doi.org/10.3390/s21062152>.
4. Дідич З. «Інтернет речей»: можливості та перспективи їх використання у сільському господарстві України. *Аграрна економіка*. 2018. Т. 11. № 1-2. С. 88-93.
5. Huang K, Yang J, Hu P, Liu H. A Novel Framework for Open-Set Authentication of Internet of Things Using Limited Devices. *Sensors*. 2022. Т. 22. №. 7. С. 2662. <https://doi.org/10.3390/s22072662>.
6. Usman Inayat, Muhammad Fahad Zia, Sajid Mahmood, Haris M. Khalid, Mohamed Benbouzid. Learning-Based Methods for Cyber Attacks Detection in IoT Systems: A Survey on Methods, Analysis, and Future Prospects. *Electronics*. 2022. №11. P.1502. <https://doi.org/10.3390/electronics11091502>.
7. Sivakumar R. et al. Internet of Things and Machine Learning Applications for Smart Precision Agriculture/ Sivakumar, B. Prabadevi, G. Velvizhi, S. Muthuraja, S. Kathiravan, M. Biswajita and A. Madhumathi. *IoT Applications Computing*. 2021. С.135-165.
8. Козак Є.Б. Аналіз даних і машинне навчання у хмарних і туманних платформах як основа ефективної передачі даних. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32 (71). № 5. 2021. С.100-107.

Glukhova N.V. ANALYSIS OF THE APPLICATION OF COGNITION METHODS IN INTERNET OF THINGS SYSTEMS BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

The article analyzes the current state of development of the Internet of Things concept. An overview of promising areas of application of Internet of Things systems in industry, agriculture, medicine, and everyday life was performed. The need to process primary data, including measurement information, at the level of sensors of Internet of Things systems is emphasized, which will contribute to increasing the efficiency and reliability of their operation.

Prospects for the application of cognitive methods in Internet of Things systems, which can be used to obtain data and knowledge through the introduction of intelligent devices and intelligent measuring devices, are considered.

Varieties of general scientific methods that have prospects for implementation in the application of artificial neural networks or other methods of artificial intelligence in Internet of Things systems are analyzed. In particular, the ways of using such methods of empirical research as observation, measurement, comparison are presented. The advantages of implementing scientific observation as a method characterized by purposefulness, the presence of clearly defined techniques and methods for obtaining objective data on the subject of observations are emphasized.

In the article, special attention is paid to the analysis of methods of applying artificial neural networks to solve the problems of metrological support of primary and intermediate measuring transducers, in particular; the possibilities of approximating their static and dynamic characteristics, correcting systematic and additional component errors.

Methods of applying artificial neural networks at the service level of Internet of Things systems, which solve data analysis problems, in particular in the field of Data Mining, are also considered. A proposed classification of the main areas of application of neural networks at the level of services, which includes tasks of data analysis, control of executive devices, modeling and organization of cyber security of Internet of Things devices.

Key words: *artificial intelligence, data analysis, Internet of Things systems, artificial neural networks, metrological support.*

Горбачук В.М.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Лупей М.І.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Ніколенко Д.І.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Дунаєвський М.С.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Сулейманов С.-Б.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Батіг Л.О.

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

ПРОЦЕСИ ГЕНЕРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ДАНИХ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Стаття присвячена процесам датафікації для перетворення широкого кола явищ в цифровізовані кількісно вимірювані одиниці інформації для їх аналізу. У зв'язку з масовим проникненням інтелектуальних технологій у повсякденне життя та підвищенням фільтрації соціальної взаємодії через платформи соціальних медіа й інші онлайн-сервіси, дані сьогодні генеруються і збираються від різноманітного спектру практик. Визначено, що датафікація та обчислювальні соціальні науки можуть запропонувати новітні уявлення про життя з збудованими цифровими технологіями. Водночас багато вчених із соціальних наук стверджують, що процес датафікації звужуватиме складність об'єкта дослідження і багатство соціального контексту, в якому відбувається власне датафікація. Датафікація стосується процесу, за допомогою якого суб'єкти, об'єкти і практики перетворюються в цифрові дані. У зв'язку з розвитком цифрових технологій, цифровізацією та великими даними багато фахівців стверджують, що датафікація посилюється з розгортанням нових вимірів соціального життя в цифрових просторах. Датафікація відтворює різного роду інформацію у кількісно вимірювані та зчитувані машиною дані з метою агрегації й аналізу. Датафікація також використовується як термін для опису логіки, за якою речі у світі – це джерела даних, що добуватимуться для уточнення чи продажу, за допомогою яких можна діставати уявлення про людську поведінку та соціальні явища. У статті розкрито, що цей термін часто використовується тими, хто прагне критикувати подібну логіку і відповідні процеси перетворення інформації. З'ясовано, що поняття датафікації спочатку застосовувалося вченими, які прагнули перевіряти, як цифровий світ змінюється з розвитком великих даних та економік даних. Коли власне датафікація набуває поширення, науковий підхід у ряді дисциплін і піддисциплін потребує відповідної концептуалізації, щоб краще розуміти зрушення до відтворення інформації як даних для аналізу цифрових (віртуальних) образів реальних об'єктів, виходячи за межі онлайн-платформ. Науковці даних прагнуть виробляти висновки з широкого кола питань, досліджуючи сліди даних, які люди залишають після себе в кіберпросторі.

Ключові слова: цифрові платформи, соціальні мережі, інфраструктури, конфіденційна інформація, вимірювані індикатори, датафікація.

Постановка проблеми. Оскільки все більше аспектів соціального життя почали генерувати цифрові дані, природа орієнтації цифрових інфраструктур істотно змінилися через можливості проведення аналізу цих даних для вироблення прибуткових опцій. Наприклад, існуючі спромож-

ність аналізу великих (наборів) даних і здатність поєднувати уявлення з множинних наборів даних (через дані пошукових систем (search engine), соціальні медіа, демографічну інформацію, історію переглядів (viewing history) на YouTube тощо) суттєво змінили роботу онлайн-платформ.

Аналітика великих даних використовується у приватному секторі для різноманітних цілей, включаючи фільтрацію цифрового контенту чи продукцію на ринкових онлайн-майданчиках у формах рекомендацій та, найголовніше, цільових рекламних оголошень. Крім питань цифровізації, виникають нові проблеми так званої датафікації, яка вважалася можливістю діставати безпрецедентний доступ до даних для соціальних досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

З розвитком аналітики даних з'явилася сучасна концепція датафікації, яка описує і популяризує новий підхід до соціальних досліджень [1]. Хоча датафікація відрізняється від цифровізації, остання часто є частиною процесу датафікації [2]. Аналогічно кількісно вимірювані об'єкти датафікуються, коли зводяться до елементів інформації, які можна обліковувати, агрегувати, обчислювати і відтворювати у зчитувані машиною елементи. Тоді процес датафікації не бере до уваги якісні характеристики об'єктів, які не вимірюються кількісно, втрачаючи можливі значні складні залежності в логіці великих даних [3–5]. Крім того, з'являються методологічні та епістемологічні питання до уявлень, виведених з економік нових даних, в яких існує нерівність, а також до великої вартості, якої можна досягати з цифровою медіацією (digital mediation) шляхом заохочення участі в соціальних взаємодіях і практиках обміну особистою інформацією онлайн [6–8].

Постановка завдання. З 2010-х років більша увага приділяється до соціологічних уявлень, висунутих великими наборами даних, що іноді називають даталогічним чи обчислювальним поворотом. У соціальних науках теж виникло поживлення навколо використання великих даних (особливо даних соціальних медіа) для проведення аналізу культури і з'ясування соціальних проблем. Датафікація стала поширеною ідеологією, відомою як датаїзм (dataism), де неявно припускаються цінності та уявлення агрегованих даних [5]. Ця ідеологія також надає значної довіри і легітимності інституціям, які збирають ці дані, незважаючи на фінансові інтереси таких інституцій та відповідні викривлення інформації. Справді, така ідеологія чітко простежується в заявах, зроблених на початку революції великих даних про експоненціальну спроможність великих даних пояснювати соціальне життя, коли деякі прихильники аналізу великих даних оголошували про завершення епохи соціальної теорії. Ці заяви були зроблені на основі того, що міркування про причини певних дій людей, тобто про

основоположні питання соціального наукового пошуку (inquiry), визнавалися недоречними при здатності великих даних виявляти моделі дій людей у масових масштабах. По суті, датафікація вважалася способом уникати зайвих складнощій суспільного життя та виявлення кореляцій без потреби змістовних пояснень. Завданням є перевірка подібних тверджень, які видозмінювалися після спостережень реальних прогностичних спроможностей великих даних.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Дані, що агрегуються науковцями даних (data scientists), в основному, з'являються завдяки слідам даних, які генерують онлайн-взаємодії. Ці дані можна збирати й аналізувати шляхом датафікації соціального життя. Оскільки соціальні медіа-платформи перетворилися на хостинги більшості щоденних онлайн-взаємодій між людьми, то ці взаємодії стали пакетами (parcels) даних у формі лайків (likes), поширень (shares), кліків (clicks). Крім цих взаємодій, цифрове життя людей також включає низку діяльностей зі збору даних: перегляд веб-сторінок (web browsing), використання пошукових систем, потокове передавання (streaming) цифрового контенту, онлайн-купівля, взаємодії з рекламними оголошеннями та інші цифрові практики відображаються як фрагменти (pieces) даних, які можна сортувати для ідентифікації та аналізу трендів, а також, напевне, для створення подальших вирашних можливостей шляхом комерціалізації [9]. Не здійснюючи подібної діяльності, людина надає докладні геолокаційні дані від кожного свого цифрового пристрою чи кожної своєї цифрової мітки, які можна збирати й аналізувати. Така датафікація соціального життя суттєво змінила організацію цифрових платформ, спрямовану на пошук вирашних можливостей шляхом збору даних, а нагляд за онлайн-даними і метаданими (data surveillance, dataveillance) вбудовується у майже всі аспекти цифрової взаємодії.

Датафікація й аналітика даних поширюються від онлайн-взаємодії та використання соціальних медіа на інші сфери. Вчені виявили датафікацію здоров'я як у трендах технологій індивідуального самоконтролю (self-tracking) (фітнес-трекери, смарт-годинники тощо), так і способах, якими клінічна практика стає все більше керованою даними (data-driven), особливо способами, якими уряди працюють з медичною інформацією [10]. Датафікація теж вплинула на освіту, оскільки дітей все більше контролюють у школах шляхом радіочастотної ідентифікації (radio-frequency identification, RFID) шкільної форми, відео-

спостереження (замкненого телебачення; системи закритої трансляції телебачення; closed-circuit television, CCTV) з підтримкою розпізнавання облич (facial recognition-enabled) та онлайн-моніторингу класної роботи [11].

RFID використовує електромагнітні поля для автоматичної ідентифікації та відстеження міток (tags), прикріплених (attached) до об'єктів. Система RFID складається з мініатюрного радіотранспондера (RFID-мітки), радіоприймача (radio receiver) та передавача (transmitter). Коли спрацював (triggered) електромагнітний імпульс запиту (interrogation pulse) від розташованого поблизу пристрою зчитування (reader device; рідер; зчитувач; інтеррогатор) RFID, RFID-мітка передає радіосигналом цифрові дані, зазвичай ідентифікаційний інвентарний номер (identifying inventory number) назад до рідера (цей номер можна використовувати, наприклад, для відстеження товарних запасів у ланцюгах постачання). Пасивні мітки живляться (powered) енергією від запитувальних (interrogating) радіохвиль рідера RFID. Активні мітки живляться від батареї, а тому можуть зчитуватися на порівняно більшій відстані від рідера RFID (до сотень метрів). На відміну від штрих-коду (barcode), тег не обов'язково має знаходитися в межах прямої видимості (line of sight) зчитувача, а тому може вбудовуватися у відстежуваний об'єкт (tracked object). RFID є одним з методів автоматичної ідентифікації та збору даних (automatic identification and data capture, AIDC).

CCTV, відоме як відеоспостереження (video surveillance), – це система передавання інформації, яка полягає у використанні відеокамер або телевізійних камер для передачі сигналу у певне місце на обмежений набір моніторів та/або пристроїв запису. CCTV відрізняється від телевізійного мовлення (broadcast television) тим, що сигнал не передається у відкритому режимі, хоча може застосовуватися з'єднання (links) точка-точка (point-to-point, P2P), точка-багато точок (point-to-multipoint, P2MP), сітчасті дотові (mesh wired) чи бездротові з'єднання. Сітчаста мережа (mesh network, meshnet) – це топологія локальної мережі, в якій кожний вузол інфраструктури (мости, комутатори (switches), інші пристрої інфраструктури) з'єднується безпосередньо, динамічно та неієрархічно з якнайбільшою кількістю інших вузлів і кооперується з ними для ефективної маршрутизації даних до клієнтів і від клієнтів. Незважаючи на те, що всі відеокамери входять до CCTV, відеоспостереження найчастіше застосовується до нагляду в зонах, які потребу-

ють додаткової безпеки чи постійного (ongoing) моніторингу, чого зазвичай не потребують відеокамери відеотелефонії. Такими зонами є банки, банкомати, казино, вокзали, аеропорти, військові об'єкти, кордони, крамниці тощо.

Галузь промислового Інтернету речей (Industrial Internet-of-Things, IIoT) корисна для отримання джерел даних, а сфера машинного навчання – для обробки отриманих даних. Ланцюги постачання даних стають об'єктами блокчейн-застосунків.

По-перше, аналітика периферійних даних здійснюється на рівні інструментів з бездротовою передачею лише важливих доступних даних (і затримкою решти даних). Алгоритми аналітики даних можуть завантажуватися на програмовану користувачем вентиляну матрицю (ПКВМ; field-programmable gate array, FPGA) в інструменті, забезпечуючи також прогнозне технічне обслуговування. FPGA – це інтегральна схема, призначена для конфігурування на робочому полі (field-programming) клієнтом або розробником після її виготовлення. Дана конфігурація FPGA зазвичай вказується, використовуючи мову опису апаратного забезпечення (АЗ) (hardware description language, HDL), подібну до мови, що використовується для інтегральної схеми конкретного застосування (application-specific integrated circuit, ASIC). Якщо раніше для задання конфігурації використовували електросхеми (circuit diagrams), то зараз для цього зазвичай використовують електронні засоби автоматизації проектування. ПКВМ містять масив програмованих логічних блоків та ієрархію з'єднань (interconnects), які можна реконфігурувати, щоб підключати (wire) блоки разом. Логічні блоки можна реконфігурувати для виконання складних комбінаційних функцій чи роботи як простих логічних вентилів (наприклад, AND та XOR). У більшості ПКВМ логічні блоки також включають елементи пам'яті, які можуть бути простими тригерами (flip-flops) чи досконалішими блоками пам'яті. Багато ПКВМ можна перепрограмувати для втілення різних логічних функцій, що дозволяє гнучко реконфігурувати обчислення при їх виконанні комп'ютерним програмним забезпеченням (ПЗ). ПКВМ є важливими для розвитку вбудованих систем завдяки своїй спроможності розпочинати розробку ПЗ одночасно з розробкою АЗ, уможлилювати моделювання продуктивності системи (system performance) на початку її розробки, допускати різні випробування (trials) системи та проектні версії (design iterations) до завершення процесу вибору системної архітектури.

По-друге, аналітика на зашифрованих (encrypted) даних передбачає кіберзахист з шифруванням усієї інформації, але зашифровані дані теж можуть бути матеріалом роботи для оператора.

По-третє, технологія блокчейну разом з IoT дозволяє досягати консенсусу інструментів у випадках, коли деякі з них несправні, свідомо (deliberately wrong) (скажімо, внаслідок кібератак на деякі вузли) чи несвідомо (faulty). Тому доступ до пристроїв видається лише дозволеним особам (permissioned entities), як опубліковано на блокчейні.

Розуміння Інтернету речей (Internet of Things, IoT) та зв'язку 5G зсуває парадигму мобільних обчислень від централізованих мобільних хмарних обчислень (Mobile Cloud Computing, MCC) до мобільних периферійних обчислень (Mobile Edge Computing, MEC). Головна особливість MEC – переміщення мобільних обчислень, управління мережею та зберігання даних до країв (edges) мережі (наприклад, до базових станцій і точок доступу), щоб забезпечувати на мобільних пристроях (з обмеженими ресурсами) роботу застосунків, чутливих до затримок (latency-critical) або потребуючих багато обчислень. Очікується, що перехід до парадигми MEC дозволить істотно зменшувати затримки та енергоспоживання мобільними пристроями, відповідаючи на ключові виклики для реалізації бачення 5G. Ці сподівання мотивували зусилля науковців і промисловців до подальшої розробки технології MEC. Основним напрямком досліджень MEC є поступове злиття дисципліни бездротового зв'язку та мобільних обчислень для широкого спектру нових проєктів від методів розвантаження обчислень (computation offloading) до мережевих архітектур. Тому заслуговує уваги сучасний стан досліджень MEC, зокрема, менеджмент спільних обчислювальних ресурсів і радіоресурсів, розгортання системи MEC, MEC з підключеним кешем (cache-enabled), менеджмент мобільності для MEC, зелені (екологічні) MEC, MEC з урахуванням приватності (privacy-aware), стандартизація MEC, типові сценарії застосування MEC.

Нової комп'ютерною парадигмою стали хмарні обчислення (ХО) з централізацією обчислень, зберігання даних, мережевого менеджменту у хмарах – центрах обробки даних, магістральних (backbone) IP-мережах, стільникових опорних (core) мережах. Ці наявні у хмарах ресурси можна використовувати для надання еластичних обчислювальної потужності та можливостей зберігання даних, щоб підтримувати пристрої кінцевих користувачів з обмеженими ресурсами. ХО стали

рушійною силою швидкого зростання багатьох Інтернет-компаній. Наприклад, хмарні послуги стали найприбутковішим сектором для Amazon (заснована у 1994 р.; AMZN у лістингу біржі NASDAQ), сприявши успіху Dropbox (заснована у 2007 р.; DBX у лістингу біржі NASDAQ).

Водночас спостерігається новий тренд у комп'ютерних технологіях, коли функції хмар частіше зміщуються до країв (периферії) мережі. Найближчим часом очікується розгортання десятків мільярдів крайових (периферійних) пристроїв, швидкості процесорів яких зростають експоненціально за законом Мура. Парадигма MEC полягає у тому, що збір (harvesting) великої кількості незайнятих (idle) обчислювальних потужностей та місць для зберігання даних, розподілених на краях мережі, може давати достатні спроможності для здійснення на мобільних пристроях завдань, чутливих до затримок і потребуючих багато обчислень. Позаяк тривалі затримки поширення сигналів залишаються ключовим недоліком ХО, MEC з ближчим доступом до користувачів широко вважаються ключовою технологією для втілення різних бачень Інтернету наступного покоління – тактильного Інтернету (з часом реакції у мілісекундах), IoT, соціальних мереж, Інтернету себе (Internet of Me, IoM), який постачає в Інтернет дані про кожний окремих людський організм. У 2010-х роках популярність мобільних пристроїв та експоненціальне зростання мобільного Інтернет-трафіку впливали на значне просування у галузях бездротового зв'язку і створення мереж: досягнення у дрібностільникових (small-cell) мережах, багатоантенний зв'язок і зв'язок на міліметрових хвилях можуть забезпечувати користувачам гігабітний бездротовий доступ у системах наступного покоління. Високошвидкісний та високонадійний бездротовий (air) інтерфейс дозволяє запускати обчислювальні послуги мобільних пристроїв у віддаленому хмарному центрі обробки даних (ЦОД), створюючи MCC. Це передбачає значну відстань для поширення сигналу від кінцевого користувача до ЦОД, а також помітну затримку для мобільних застосунків. Оскільки MCC не підходять для широкого кола новопосталих мобільних застосунків, чутливих до затримок, то розробляються нові мережеві архітектури для кращої інтеграції ХО у мобільні мережі.

У бездротових системах 5G розгортатимуться надщільні периферійні пристрої, включаючи малостільникові (small-cell) базові станції (base stations, BSs) з малими робочими зонами, бездротові точки доступу (access points, APs), ноутбуки,

планшети, смартфони, причому обчислювальна потужність кожного пристрою буде порівнянною з потужністю сервера, виробленого десятиліттям раніше. Отже, велика кількість пристроїв буде незайнятою в кожний момент часу, що дозволить збирати великі обчислювальні ресурси і ресурси зберігання даних, наявні на периферії мережі. Цих ресурсів буде достатньо для забезпечення повсюдних (ubiquitous) мобільних обчислень.

Основною метою бездротових систем від 1G до 4G є досягнення дедалі вищих швидкостей бездротового зв'язку для підтримки переходу від голосоцентричного (voice-centric) трафіку до трафіку, спрямованого на мультимедійні технології (multimedia-centric). Оскільки швидкості бездротового зв'язку наближаються до швидкостей аналогічної дротової мережі (wireline), то метою 5G є підтримка вибухового розвитку інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та Інтернету загалом: системи 5G підтримуватимуть комунікації, обчислення, управління (communications, computing, control), надання контенту (content), або набір функцій 4С. Для 5G постає широкий спектр нових застосунків і послуг – онлайн-ігри в режимі реального часу, віртуальна реальність, потокове відео (video streaming) ультрависокої роздільної здатності, які вимагають надзвичайно високої швидкості доступу й низької затримки. Хоча виявилися дещо завищеними прогнози компанії Cisco (заснована у 1984 р. з назвою, що походить від міста San Francisco; CSCO у лістингу біржі NASDAQ) про підключення до Інтернету близько 50 млрд. гаджетів IoT (датчиків, носних (wearable) пристроїв) на 2020 р., більшість таких гаджетів має обмежені ресурси для обчислень, зв'язку, зберігання даних, а тому потребуватиме хмарних або периферійних пристроїв для підвищення їхніх спроможностей. Втілення амбіційних планів мілісекундних затримок для обчислень і комунікацій в 5G потребуватиме не лише ХО. Крім того, обмін даними між кінцевими користувачами та віддаленими хмарами збільшуватиме обсяги передачі даних і зменшуватиме ефективність транспортних мереж зв'язку (backhaul networks). Тому ХО слід доповнювати системою МЕС, яка спрямовує трафік, обчислювальні та мережеві функції на краї мережі. Це відповідає ключовій характеристиці мереж наступного покоління про те, що інформація все більше генерується і споживається локально внаслідок розвитку застосунків IoT, соціальних мереж і доставки контенту.

Поняття МЕС вперше запропонував у 2014 р. Європейський інститут телекомунікаційних стан-

дартів (European Telecommunications Standard Institute, ETSI) як нову платформу, що надає спроможності ІКТ і ХО у мережі радіодоступу (Radio Access Network, RAN) в безпосередній близькості до абонентів мобільного зв'язку.

Вчені також звернули увагу на форми нагляду за даними, що впливають на догляд за дітьми поза освітніми закладами, – застосунки для батьків (parenting apps) і технології відстеження дітей (child-tracking). Розповсюдження датафікації вказує на роль поширеної ідеології датафікації [5], за якою об'єктивну істину можна знаходити шляхом відображення будь-якої соціальної проблеми як цифрових даних для обчислювального аналізу.

Логіка датафікації суттєво критикувалася науковцями соціальних наук. Фахівці з конфіденційності (privacy) та стеження висвітлювали широко поширені питання навколо способів, якими датафікація пасивно сприяє збору персональної інформації і про які користувачі платформи можуть не знати, коли дані зберігаються для широкого кола застосувань у майбутньому, формально неузгоджених з користувачами. Оскільки датафікація поширюється на все більше сфер соціального життя, поняття згоди (consent) стає менш важливим, бо користувачі цифрових платформ і сервісів, пов'язаних з даними (datafied services), часто відчують свою неспроможність відхилити цифрові пропозиції. Крім того, масштабні витіки (leaks) даних і хакерські атаки (hacks) на платформи соціальних медіа демонструють крихкість систем захисту даних високих стандартів.

Крім створення проблем (concerns) приватності, датафікація може відтворювати і загострювати існуючі соціальні нерівності. Керовані великими даними системи оцінки ризиків, які тепер регулярно вживаються провайдерами фінансових послуг і страховими компаніями, можуть увічнювати (perpetuate) дискримінацію щодо маргіналізованих спільнот [12]. Така дискримінація маскується міфологією об'єктивності, прозорливості (insight), точності навколо цих систем, незважаючи на їх часто неясні практичні дії (opaque workings). Хоча різні форми дискримінації існували завжди, а датафікація й згадані системи не є першопричинами дискримінації, ці системи сприяють такій дискримінації, яку складно фіксувати і яка небезпечно легітимізує соціальні нерівності як підтвержене даними природне явище, а не продукт неявного суб'єктивного упередження, притаманного людині [13–15].

Вчені також висловлювали занепокоєння з приводу датафікації соціальних наук і шляхів, якими

обчислювальні методи впливали на соціальні дослідження. Комп'ютерним соціальним наукам приписують той недолік, що вони представляють великі дані, які кажуть самі за себе (*speaking for itself*) та своєрідно захоплюють соціальні відносини: великі дані виникають з нових форм цифрової соціальності та розгортаються комерційними силами. Наприклад, використання даних соціальних медіа як спосіб калібрувати (*gauge*) громадську думку часто неналежним чином видає такі дані за репрезентативні для суспільства в цілому, нехтуючи важливими відмінностями між демографічними характеристиками різних платформ і рівнями специфічної доступності (*affordance*) цифрових просторів, що може породжувати відмінності відгуків. Аналогічно ці великі дані можуть встановлювати кореляції між різнорідними (*disparate*) змінними, які виявляються оманливими у процесі доведення причинно-наслідкового зв'язку [4]. Можлива омана не означає, що вченим треба нехтувати цими даними: треба дотримуватися обережності в інтерпретації цих даних для гарантування того, що ці дані належним чином контекстуалізовані з теоретично обґрунтованим соціальним науковим аналізом. Якісні відмінності слід ретельно вивчати, а не обходити.

Одним з прикладів проблем аналізу даних у соціальному середовищі є застосування економіко-математичних методів у колишньому СРСР [16]. Леонід Канторович (народився у м.Санкт-Петербург Російської імперії у 1912 р., здобув наукові ступені магістра математики Ленінградського державного університету (ЛДУ) (заснованого у 1819 р.) у 1930 р. та доктора фізико-математичних наук (без захисту дисертації) у 1935 р., професор ЛДУ імені А.С.Бубнова з 1934 р., лауреат Нобелівської премії з економіки 1975 р., помер у м.Москва СРСР у 1986 р.) у 1930-х роках під час індустріалізації СРСР працював у Ленінградському інституті інженерів залізничного транспорту (заснованому у 1809 р.) і прагнув застосовувати математичні дослідження на практиці. У 1938 р. Канторович консультував фанерний трест з проблеми ефективного використання луцильних верстатів і формулював проблему як задачу максимізації лінійної функції багатьох змінних при великій кількості обмежень у формі лінійних рівностей і нерівностей. Для розв'язання цієї задачі Канторович запропонував модифікований метод невизначених множників Лагранжа (1736–1813) і опублікував книгу [17], де описав задачі математичної економіки, які можна чисельно розв'язувати згаданим методом, створивши засади лінійного програму-

вання. Коли у 1939 р. був заснований Військовий інженерно-технічний університет (ВІТУ), Канторович став завідувачем кафедри математики ВІТУ. Під час Другої світової війни у 1942 р. ВІТУ був евакуйований до м.Ярославль, а Канторович став звертатися зі своїми пропозиціями до Держплану (1923–1991) СРСР. У 1943 р. доповідь Канторовича була обговорена на нараді у голови Держплану СРСР, але економіко-математичні методи Канторовича були відхилені як такі, що запозичують положення так званих буржуазних економічних теорій і не відповідають трудовій теорії вартості Маркса (1818–1883). З 1948 р. підполковник Канторович очолював відділ в Інституті математики і механіки ЛДУ імені А.О.Жданова, який за розпорядженням Й.В.Сталіна був підключений до розрахунків, пов'язаних з розробкою ядерної зброї.

Аналогічно до оптимального розпилу фанерного листа, методи Канторовича були запропоновані до розрізання сталевих листів. У 1949 р. впровадження цих методів оптимізації на Ленінградському вагонобудівному заводі імені І.Є.Сторова дало такі наслідки: за теоретичними розрахунками, при даному обсягу сировини, на одному з видів продукції випуск мав збільшитися на 4%; цей розрахований показник був включений у план; на практиці продуктивність зросла на 2,5%, що означало зрив плану; завод також не виконав план з металобрухту, значна частина якого складалася з відходів сталевих листів; керівництво заводу отримало догану, а його працівники залишилися без премій. Однак після скарги в партійні органи СРСР працівники отримали премію як виняток, а інноваційний метод крою металу був завпроваджений у широку практику.

У конкурентному соціальному середовищі експертні брокери даних збирають інформацію про підписку на медіа (наприклад, газети та журнали), роздрібних продавців замовлень поштою (*mail-order*), опитування (*polls*), огляди (*surveys*), туристичні агенції, симпозиуми, конкурси, реєстрацію продуктів і гарантії, компанії з обробки платежів (*payment handling*), державні записи (*government records*) та інше [18]. З появою Інтернету галузь брокерів даних швидко розширювалася завдяки диверсифікації методів збору (*capture*) та консолідації даних, пропонуючи розмаїття продуктів і послуг [19]. Крім того, у повсякденному житті люди беруть участь у різноманітних онлайн-діяльностях, які розкривають їхню персональну інформацію. Такі онлайн-діяльності включають використання мобільних застосунків, купівлю житла чи автомобіля, підписку на видання, проведення

транзакцій кредитною карткою в універмагах або через онлайн-каталог, участь в опитуваннях, веб-серфінг (surfing the web), спілкування (chatting) з друзями на платформі соціальних медіа, участь у розіграшах призів (sweepstakes), підписку на новинні веб-сайти. Такі щоденні діяльності генерують різноманітні інформації про цих людей, яка, в свою чергу, доставляється чи продається брокерам даним [20].

Брокери даних агрегують дані з різноманітних джерел. На додаток до існуючих відкритих джерел даних, ці брокери також купують або орендують дані про окремих осіб у сторонніх (third-party) компаній. Зібрані дані можуть містити дії веб-перегляду (web browsing), інформацію про банкрутство, гарантію реєстрації, інформацію про голосування, дані про покупки споживачів, інформацію про іншу щоденну діяльність веб-взаємодії. Як правило, брокери даних не дістають дані безпосередньо від окремих осіб, а тому більшість людей не знають, що їхні дані збираються і споживаються брокерами даних. Отже, можливо, що подробиці життя окремих людей конструюватимуться та упакуватимуться в якості кінцевого продукту шляхом обробки й аналізу компонентів даних, які постачаються від різних джерел брокерів даних [21].

Брокери даних придбають і зберігають дані окремих осіб як продукти в інфраструктурі конфіденційних даних, яка зберігає, поширює і споживає дані через мережеві технології [22]. Ці дані здаватимуться в оренду чи продаватимуться з метою отримання прибутку. Продукти даних містять списки перспективних осіб, які задовольняють певним умовам, включаючи такі деталі, як імена, номери телефонів, адреси, адреси електронної пошти, а також такі елементи даних, як вік, стать, дохід, наявність дітей, етнічна приналежність, кредитний статус, володіння кредитною карткою, вартість житла, хобі, купівельна звичка та сімейний стан (background status). Ці колекції похідних продуктів даних, де брокери даних мають додану вартість через методи аналізу даних та інтеграції даних, використовуються для цільового маркетингу і рекламних промоцій, соціальної класифікації осіб, оцінювання кредитного рейтингу та послуг відстеження (tracing) [18].

Інтеграція та перепродаж даних, супроводжувані відповідними послугами з доданою вартістю, – це велика прибуткова галузь [23]. Ця галузь щогодини торгує великими обсягами даних і похідної інформації на ряді ринків, що спеціалізуються на фінансах, роздрібній торгівлі, логістиці, туризмі, нерухомості,

охороні здоров'я, політичному голосуванні, бізнес-аналітиці (business intelligence), приватній безпеці тощо. Ці дані охоплюють всі аспекти повсякденного життя і включають громадське адміністрування (public administration), споживання товарів і медіа, відпочинок, комунікації, подорожі, злочини та взаємодії в соціальних медіа [19].

Наприклад, Facebook використовує мережі користувачів, завантажений користувачами контент і профілі мільйонів своїх активних користувачів. Зібрані дані (коментарі, відео, фотографії та лайки (likes; вподобання) користувачів) застосовуються для формування набору таких рекламних продуктів, як Lookalike Audiences, Partner Categories, Managed Custom Audiences. Facebook у 2003 р. заснував як Facemash Марк Цукерберг (народився у м.Нью-Йорк у 1984 р., у середній школі збудував програму, що дозволила всім комп'ютерам між його будинком і стоматологічним кабінетом (dental office) його батька комунікувати один з одним, розробляв музичний плеєр Synapse Media Player з елементами машинного навчання про звички користувача (згаданий у квітні 2003 р. на веб-сайті Slashdot (заснували у 1997 р. Роб Малда (народився у 1976 р., здобув науковий ступінь бакалавра коледжу Хоуп (заснованого у 1865 р.) у м.Холланд штату Мічиган) та його однокурсник Джеф Бейтс (здобув наукові ступені бакалавра з історії та біології коледжу Хоуп у 1998 р.) та оцінений PC Magazine (заснували у 1982 р. Девід Баннелл (народився і помер у м.Берклі штату Каліфорнія у 1947 р. і 2016 р. відповідно, здобув науковий ступінь бакалавра з історії Університету Небраска (заснованого у 1869 р.) у 1969 р.), Джим Едлін (здобув науковий ступінь бакалавра Університету штату Мічиган (заснованого у 1855 р. і де навчався один з авторів даної роботи) з відзнакою), Шеріл Вудард). Сьогодні Facebook працює на 112 мовах світу і належить Meta Platforms (META у лістингу біржі NASDAQ).

Висновки. Продаж даних брокерам став головним потоком доходів для багатьох компаній. Наприклад, роздрібні торговці регулярно продають дані про такі транзакції клієнтів, які деталі кредитної картки, інформація про покупки клієнтів, програми лояльності клієнтів, менеджмент стосунків з клієнтами, інформація про підписку. Інтернет-магазини продають дані потоків кліків (clickstream) стосовно того, як людина переміщувалася (navigated) через веб-сайт і скільки часу витратила на різних сторінках. Аналогічно медіакомпанії (газети, радіо, телевізійні станції) збирають дані, що містяться в межах їхнього контенту (наприклад, новинні історії та рекламні

оголошення), а компанії соціальних медіа агрегують метадані та контенти своїх користувачів, щоб обробляти таку інформацію для побудови профілів осіб і вироблення своїх власних продуктів даних на продаж брокерам даних. Оскільки володіння циф-

ровими образами матеріальних і нематеріальних активів створює додаткові можливості маніпуляції, спекуляції та капіталізації, то процеси генерації та застосування цифрових даних потребують належного вивчення, висвітлення і регулювання.

Список літератури:

1. Southerton C. Datafication. *Encyclopedia of Big Data*. L.A.Schintler, C.L.McNeely (eds.) Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland, 2022. P. 358–361.
2. Горбачук В.М., Лупей М.І., Сулейманов С.-Б., Батіг Л.О., Симонов Д.І. До системної інженерії великих даних. *Збірник наукових праць університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2022. № 2 (489). С. 66–75.
3. Boyd D., Crawford K. Critical questions for big data. *Information, Communication and Society*. 2012. 15 (5). P. 662–679.
4. Kitchin R. Big data, new epistemologies and paradigm shifts. *Big Data & Society*. 2014. 1 (1). P. 1–12.
5. van Dijck J. Datafication, dataism and dataveillance: big data between scientific paradigm and ideology. *Surveillance & Society*. 2014. 12 (2). P. 197–208.
6. Birchall C. *Shareveillance: the dangers of openly sharing and covertly collecting data*. Minneapolis, MN: University of Minnesota Press, 2017. 86 p.
7. van Dijck J. *The culture of connectivity: a critical history of social media*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2013. 240 p.
8. Zuboff S. Big other: surveillance capitalism and the prospects of an information civilization. *Journal of Information Technology Impact*. 2015. 30 (1). P. 75–89.
9. Lupton D. *Data selves: more-than-human perspectives*. Cambridge, UK: Polity, 2019. 80 p.
10. Ruckenstein M., Schüll N.D. The Datafication of health. *Annual Review of Anthropology*. 2017. 46 (1). P. 261–278.
11. Taylor E. *Surveillance schools: security, discipline and control in contemporary education*. London, UK: Palgrave Pivot, 2013. 149 p.
12. Leurs K., Shepherd T. Datafication & discrimination. *The datafied society: studying culture through data*. M.T. Schäfer, K. van Es (eds.) Amsterdam, Netherlands: Amsterdam University Press, 2017. P. 211–231.
13. Горбачук В.М., Сирку А.А., Сулейманов С.-Б. Ірраціональність і раціональність у прийнятті рішень. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2017. Вип. 2 (08). Ч. 2. С. 132–136
14. Горбачук В.М., Макаренко О.С. Нейрофізіологія прийняття рішень людиною. *VII Конгрес Українського товариства нейронаук*. Київ: Інститут фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України, 2017. С. 82.
15. Горбачук В.М., Макаренко О.С. Особливості прийняття рішень людиною для розв'язання складних міждисциплінарних проблем. *Системні дослідження та інформаційні технології*. 2017. № 3. С. 73–87.
16. Великий А.П., Горбачук В.М., Єрмольєв Ю.М., Кнопов П.С. Взаємодія централізації і децентралізації у міждисциплінарній кібернетиці академіка Глушкова. *Сучасна інформатика: проблеми, досягнення та перспективи розвитку*. Київ: Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, 2013. С. 241–243.
17. Леонид Витальевич Канторович: человек и ученый. Т. 1. В.Л. Канторович, С.С.Кутателадзе, Я.И. Фет (ред.-сост.) Новосибирск: Ин-т математики им. С.Л.Соболева, Ин-т вычисл. математики и мат. геофизики СО РАН, 2002. 542 с.
18. *On the data trail: how detailed information about you gets into the hands of organizations with whom you have no relationship. A report on the Canadian data brokerage industry*. Ottawa, Ontario: Canadian Internet Policy and Public Interest Clinic (CIPPIC), 2006. 55 p.
19. Kitchin R. The data revolution: big data, open data, data infrastructures and their consequences. *Small data, data infrastructures and data brokers*. Revised edition. R.Kitchin (ed.). London, UK: Sage, 2014. P. 27–47.
20. Ramirez E., Brill J., Ohlhausen M.K., Wright J.D., McSweeney T. *Data brokers. A call for transparency and accountability*. Washington, DC: Federal Trade Commission, 2014. 110 p.
21. Anthes G. Data brokers are watching you. *Communications of the ACM*. 2015. 58 (1). P. 28–30.
22. Kitchin R., Lauriault T.P. Small data in the era of big data. *GeoJournal*. 2015. 80. P. 463–475.
23. Mayer-Schönberger V., Cukier K. *Big data: a revolution that will transform how we live, work, and think*. Boston, MA, New York, NY: An Eaman Dolan Book, Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company, 2013. 158 p.

Gorbachuk V.M., Lupei M.I., Nikolenko D.I., Dunaievskyi M.S., Suleimanov S.-B., Batih L.O.
DIGITAL DATA GENERATION PROCESSES AND THEIR APPLICATION

The article is devoted to datafication processes to transform a wide range of phenomena into digitalized (digitized) quantifiable units of information for their analysis. Due to the massive infiltration of smart technologies into everyday life and increased filtering of social interaction through social media platforms and other online services, data is generated and collected from a diverse range of practices today. It is defined that datafication and computational social science can offer essential insights into life with embedded digital technologies. At the same time, many scientists from the social sciences claim that the datafication process would narrow the complexity of the research object and the richness of the social context in which the datafication itself takes place. Datafication refers to the process by which subjects, objects and practices are transformed into digital data. In connection with the development of digital technologies, digitalization and big data, many experts claim that datafication is increasing with the deployment of new dimensions of social life in digital spaces. Datafication renders various types of information into quantifiable and machine-readable data for the purpose of aggregation and analysis. Datafication is also used as a term to describe the logic that things in the world are data sources to be mined for refinement or sale, which can be used to gain insights into human behavior and social phenomena. The paper reveals this term is often used by those who seek to criticize such logic and the corresponding information transformation processes. It has been clarified the concept of datafication was originally applied by scholars seeking to examine how the digital world is changing with the development of big data and data economies. As datafication itself becomes more widespread, the scientific approach in a number of disciplines and subdisciplines needs a corresponding concept to understand the broader shifts towards rendering information as data for image analysis, not limited to online platforms. Data scientists seek to draw conclusions about a wide range of issues by examining the cyberspace data traces that people leave behind.

Key words: digital platforms, social networks, infrastructures, confidential information, measurable indicators, datafication.

УДК 007

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/10>**Єманов В.В.**

Національна академія Національної гвардії України

Споришев К.О.

Національна академія Національної гвардії України

Онопрієнко О.С.

Національна академія Національної гвардії України

МЕТОД БАГАТОФАКТОРНОГО ВИБОРУ ЕКСПЕРТІВ ЗА МАКСИМУМОМ КОЕФІЦІЄНТА КОМПЕТЕНТНОСТІ

Проведено аналіз існуючих методів вибору групи експертів для проведення експертного оцінювання, розроблено метод вибору експертів на відміну від відомих процес вибору формалізовано, зменшена частка суб'єктивізму, в основі методу лежить комбінований багатофакторний метод відбору за критерієм максимуму коефіцієнта компетентності експерта.

Рішення, що приймаються у військовій галузі, відрізняються від рішень цивільних органів управління, але всі рішення (як і процеси їх підготовки, прийняття) повинні відповідати одним основним вимогам й науковим положенням – закономірностям процесів і принципам теорії прийняття рішень. Процес прийняття рішень у складних організаційних ієрархічних системах (СОІС) і в її ланках має низку особливостей.

Більшість рішень приймаються в ситуаціях, які раніше не зустрічалися, тобто повний за змістом збіг ситуацій у військовій (економічній, політичній) галузі – подія майже неймовірна;

Вибір варіантів дій відбувається, як правило, в умовах високого ступеня невизначеності, пов'язаної як із випадковістю керованого процесу, так і з неоднозначністю цілей, критеріїв, альтернатив дій та їх наслідків;

Рішення, навіть відповідальніші, приймаються в умовах жорсткого ліміту часу (обмеження часу на прийняття рішень).

Ці особливості ставлять певні вимоги як до організаційних питань у роботі органів управління, так і до математичного забезпечення процесів прийняття рішень (ПР) у СОІС. Організація процесів ПР і розробка математичного забезпечення в цих умовах має низку проблем. Ці проблеми виникають і при розгляданні системи у цілому, і при розгляданні її окремих ланок, діяльність яких регламентується вимогами вищестоящих органів управління та спрямована на керівництво підпорядкованими системами.

Ураховуючи особливості ПР під час виконання службово-бойових завдань найбільш прийнятний спосіб оцінки компетентності експерта є об'єктивний спосіб. Підготовка пропозицій до рішення на основі експертного аналізу проводиться в умовах невизначеності, тобто коли інформації про противника обмаль, на етапах підготовки до дій. Наявність жорсткого ліміту часу не завжди дозволяє використовувати експериментальний метод оцінки компетентності експерта. Проведений аналіз методів вибору експертів дозволяє зробити висновок про доцільність використання документального методу відбору експертів.

Ключові слова: експертне оцінювання, вибір експертів, коефіцієнт компетентності, метод аналізу ієрархій.

Постановка проблеми. Експертне оцінювання – одна з найрозповсюджених технологій на яку звертає увагу широке коло спеціалістів та на даний час сфера застосування експертного оцінювання постійно розширюється. Експертне оцінювання є найбільш доступним та універсальним методом отримання та аналізу інформації про стан об'єктів та суб'єктів, а також є єдиним способом отримання необхідної інформації для об'єктів

які не мають статистичної інформації та характеризуються своєю структурно-параметричною невизначеністю.

При формуванні експертних оцінок основним джерелом отримання інформації виступає експерт. Для підвищення ступеня об'єктивності та якості прийняття рішень доцільно враховувати думку декількох експертів. Таким чином, експертні методи ґрунтуються виключно на оцінках

експертів зроблених ними відносно проблеми або задачі котру вони розуміють краще від інших. Це обумовлює особливі вимоги при виборі складу групи експертів та їх професіональних компетентностей (рівень освіти, опит роботи за напрямком проблемної ситуації, участь у виконанні подібних завдань та ін.).

На даний час проблема підбору експертів для проведення експертиз є одною з найбільш складних в теорії та практиці експертних досліджень. Таким чином для проведення експертної оцінки слід використовувати найбільш компетентних спеціалістів для підвищення достовірності експертних оцінок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В працях [1-6] наведені дані про вибір експертів для проведення експертного оцінювання в різних галузях науки. Вибір експертів під час розроблення пропозицій для прийняття рішення в галузі військові науки розглянуто не достатньо. Наведені методи вибору експертів не ураховують жорсткі обмеження в часі, умов високого ступеня невизначеності обстановки. В [7] наведений метод аналізу ієрархій, який використовується під час розрахунків. В[8] наведені проблемні питання теорії прийняття рішень у складних організаційних ієрархічних системах управління, принципи побудови та обґрунтування структури основних моделей процесів підготовки й прийняття рішень. Наведений математичний апарат дозволяє формалізувати процеси прийняття рішення органами військового управління та отримати відповідно до ступеня невизначеності обстановки потрібну достовірність експертних оцінок. В праці [9] наведені пропозиції до рішення командира, яке здійснюється завжди у цейтноті часу, послідовно і незалежно один від одного з вкладанням відповідної інформації в кінцеві документи, які складають саме зміст рішення.

Постановка завдання – розробка формалізованого методу багатofакторного відбору експертів за критерієм максимуму коефіцієнта компетентності експерта.

Виклад основного матеріалу. Мета методів, пов'язаних з експертними оцінками, полягає в отриманні автентичної дійсності даних про об'єкт та процес з використанням інформації, отриманої від експертів. Узагальнений вид проблем, пов'язаних із експертними оцінками, визначається кортежами з множин $\langle e, w, s, a \rangle$, де e – безліч експертів; w – предметні галузі (завдання), що вимагають використання методів якісного аналізу, s – безліч методів аналізу експертної інфор-

мації, a – методи та моделі дослідження систем, методи моделювання, рисунок 1.

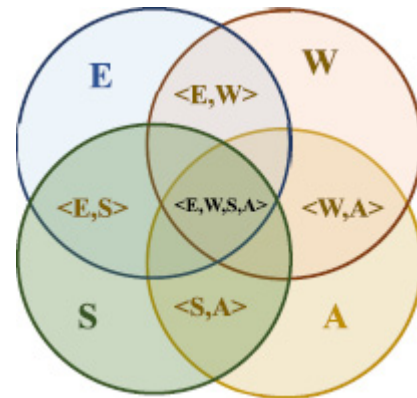


Рис. 1. Відношення множин у кортежі, що визначає методи експертних оцінок [4]

Визначення безлічі для конкретного процесу може представляти самостійне завдання, що включає виявлення компетенцій експертів у досліджуваній предметній галузі, від постановки ключових питань перед ними, до «відсіювання» тих, які можуть призвести до явно хибної мети в силу їх неспроможності як експертів [4].

Міра невизначеності одержуваного рішення при використанні експертних оцінок має бути меншою, ніж при використанні кількісних методів. У силу цього кортежі, що визначають безліч експертів та їх оцінки для прийняття рішення, забезпечують зниження ентропії в управлінні процесами, які можуть належати до різних галузей. Ефективність експертних оцінок залежить від методів аналізу експертних оцінок, процедур організації роботи з експертами. У більшості практичних застосувань експертних оцінок рекомендується використовувати багatoетапні алгоритми узгодження думок експертів, їх навчання та відсіювання з урахуванням викидів у відповідях. Використання двох і більше етапів, «оскільки результати першого етапу... незадовільні та варіабельність більша» має велике поширення. У разі може бути змінено склад експертів з урахуванням аналізу кортежів виду: $\langle e, w, s \rangle$ – відповідність експертів предметної галузі і завданням дослідження з урахуванням аналізу результатів опитування (анкетування) [4].

Процес формування експертних оцінок має вигляд, представлений на рисунку 2, причому отримання експертної групи може мати ітераційний процес, пов'язаний аналізом, оцінкою, навчанням та елімінацією неефективних експертів.

Методи оцінки експертів мають кількісний характер, що використовують їх абсолютні,

бальні (рейтингові) та релейні («є/ні», «так/ні») показники, які визначають цілі дослідження [5]. «Класичним» прикладом показників для формування експертів у сфері науково-технічного розвитку галузей є кількісні показники (стаж роботи, освіти, роботи – праці за напрямками досліджень), рейтингові (індекси цитування робіт, ефективність проектів, у яких брав участь експерт), релейні (наявність сертифікатів визнання експерта, досвід роботи у цій галузі).



Рис. 2. Загальна схема формування експертної групи

Об'єктивний спосіб оцінки компетентності експерта включає [3, 5]:

– документальний метод, який передбачає підбір експертів, виходячи з їх професійних характеристик. Експерти повинні мати науковий ступінь та звання, належний стаж роботи за спеціальністю та атестаційну категорію;

– експериментальний метод, який передбачає проведення перевірки ефективності експерта в минулому. При цьому здійснюється розрахунок надійності й точності оцінок експертів на основі їхньої попередньої діяльності.

Суб'єктивний спосіб розрахунку компетентності експерта полягає у поєднанні само- та взаємо оцінювання. Взаємо оцінювання чи голосування передбачає аналіз характеристик, які були дані певному спеціалісту його колегами. Процедура самооцінювання полягає в тому, що експерт сам визначає вагомість своєї оцінки за певним запитанням (як правило, використовується 10-бальна шкала: від 0 – повністю некомпетентний до 10 – максимально компетентний). Водночас експертам пропонується оцінити ступінь впливу різних джерел інформації на їх думку. Так, спеціалістам пропонується висловити свою думку щодо впливу на них таких джерел інформації, як «проведений теоретичний аналіз», «практичний досвід», «узагальнення праць вітчизняних авторів», «узагальнення праць закордонних авторів»,

«особистий досвід зі станом справ за кордоном», «інтуїція» [1, 2, 6].

Рішення, що приймаються у військовій галузі, відрізняються від рішень цивільних органів управління, але всі рішення (як і процеси їх підготовки, прийняття) повинні відповідати одним основним вимогам й науковим положенням – закономірностям процесів і принципам теорії прийняття рішень [8, 9].

Процес прийняття рішень у складних організаційних ієрархічних системах (СОІС) і в її ланках має низку особливостей.

1. Більшість рішень приймаються в ситуаціях, які раніше не зустрічалися, тобто повний за змістом збіг ситуацій у військовій (економічній, політичній) галузі – подія майже неймовірна.

2. Вибір варіантів дій відбувається, як правило, в умовах високого ступеня невизначеності, пов'язаної як із випадковістю керованого процесу, так і з неоднозначністю цілей, критеріїв, альтернатив дій та їх наслідків.

3. Рішення, навіть відповідальніші, приймаються в умовах жорсткого ліміту часу (обмеження часу на прийняття рішень).

Ці особливості ставлять певні вимоги як до організаційних питань у роботі органів управління, так і до математичного забезпечення процесів прийняття рішень (ПР) у СОІС. Організація процесів ПР і розробка математичного забезпечення в цих умовах має низку проблем. Ці проблеми виникають і при розгляданні системи у цілому, і при розгляданні її окремих ланок, діяльність яких регламентується вимогами вищестоящих органів управління та спрямована на керівництво підпорядкованими системами [8,9].

Ураховуючи особливості ПР під час виконання службово-бойових завдань найбільш прийнятний спосіб оцінки компетентності експерта є об'єктивний спосіб. Підготовка пропозицій до рішення на основі експертного аналізу проводиться в умовах невизначеності, тобто коли інформації про противника обмаль, на етапах підготовки до дій. Наявність жорсткого ліміту часу не завжди дозволяє використовувати експериментальний метод оцінки компетентності експерта. Проведений аналіз методів вибору експертів дозволяє зробити висновок про доцільність використання документального методу відбору експертів.

Підбір експертів для проведення експертиз запропоновано провести в три етапи. На першому етапі складаються список можливих N – кандидатів для проведення експертизи, на другому етапі здійснюється вибір експертної комісії п

Професіональна компетентність експерта

Фактори	Значення вагового коефіцієнта			
	Тактичний	Оперативно-тактичний	Оперативний	Кандидат наук (доктор наук)
Рівень освіти (рівень теоретичної підготовки в галузі проведення експертизи), Ф1	0,1	0,2	0,3	0,4
Стаж роботи (практичний досвід), Ф2	від 1 до 5 років 0	від 5 до 10 років 0,2	від 10 до 15 років 0,3	більше 15 років 0,5
Досвід роботи на посаді у визначеній галузі оцінювання, Ф3	немає 0	від 1 до 2 років 0,1	від 2 до 5 років 0,2	понад 5 років 0,7
Участь у виконанні завдань служби у визначеній галузі оцінювання, Ф4	жодного разу 0	1-2 рази 0,2	2-5 разів 0,3	5 та більше 0,5
Участь у експертному оцінюванні в галузі експертизи, Ф5	не приймав 0,1	1 раз 0,15	2-5 разів 0,25	постійно 0,5

з розмірністю $N > n$. В вибірку потрапляють експерти які набрали максимальний коефіцієнт компетентності. На третьому етапі визначається середня похибка вибірки p . Вибір експертів доцільно реалізовувати на основі максимального значення коефіцієнта компетентності тому найкраще скористатись комбінованим методом, який включає елементи різних методів та метод аналізу ієрархій (МАІ) [7]. Сутність комбінованого метода полягатиме в наступному.

Загальна ціль рішення задачі – вибір експертів з найбільшим коефіцієнтом компетентності, фактори оцінки експертів, безліч потенційних експертів N . Потреба вибору групи n експертів з максимальним значенням коефіцієнта компетентності. В таблиці 1 наведені професіональні компетентності експерта.

Розраховується сума балів набраних i -м експертом за всіма факторами за виразом (1):

$$SumX_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \quad (1)$$

Розрахунок вагових коефіцієнтів кандидатів в експерти представлений в таблиці 2.

та розраховується сума балів кожного фактору за всіма експертами вираз (2)

$$SumX_j = \sum_{i=1}^m \alpha_{ij} \quad (2)$$

Здійснюємо розрахунок вагового коефіцієнта кожного експерта за всіма факторами застосовуючи вираз (3):

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}}{\sum_{j=1}^n \alpha_{ij}}, \quad \sum_{i=1}^m W_i = 1 \quad (3)$$

Для більш детальної оцінки компетентностей експертів на основі таблиці 2 розраховуємо вагу експертів по кожному фактору та заносимо в таблицю 3 використовуючи вираз (4):

$$\beta_j = \frac{\alpha_{ij}}{Sum\Phi_i} = \frac{\alpha_{ij}}{\sum_{i=1}^m \alpha_{ij}} \quad (4)$$

також розраховується сума ваги експертів за всіма факторами за виразом (5):

$$SumE_i = \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \quad (5)$$

Розраховуємо ваговий коефіцієнт експертів застосовуючи вираз (6):

$$W_i = \frac{SumE_i}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij}} = \frac{\sum_{j=1}^n \beta_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij}} \quad (6)$$

Після ранжування даних таблиць 2 та 3 можливо розташувати експертів в наступній послідовності: 3, 9, 23, 26, 13, 25, 10, 14, 35, 28, 15, 16, 4, 11, 34, 33, 27, 18, 12.

Для визначення найбільш кваліфікованих експертів застосуємо метод аналізу ієрархій для цього визначаємо вектор пріоритетів факторів який застосовується в [5].

Для визначення компетентності експертів використаємо визначені фактори:

- Ф1 – Рівень освіти (рівень теоретичної підготовки в галузі проведення експертизи);
- Ф2 – Стаж роботи (практичний досвід);
- Ф3 – Досвід роботи на посаді у визначеній галузі оцінювання;
- Ф4 – Участь у виконанні завдань служби у визначеній галузі оцінювання;
- Ф5 – Участь у експертному оцінюванні в галузі експертизи.

Складемо матрицю парних порівнянь, з неї видно, що досвід роботи на посаді – Ф3 сприймається експертною групою як найбільш важливий фактор при виборі експертів.

Розрахунок ваги кожного експерта

Експерт	Фактори (Ф _i)					Sum Xi експерта	Wi
	(Ф1)	(Ф2)	(Ф3)	(Ф4)	(Ф5)		
1	0,1	0	0	0	0,1	0,2	0,003404
2	0,1	0,2	0,1	0	0,15	0,55	0,009362
3	0,4	0,5	0,7	0,5	0,5	2,6	0,044255
4	0,4	0,5	0,1	0,5	0,25	1,75	0,029787
5	0,4	0,5	0,2	0	0,5	1,6	0,027234
6	0,3	0,3	0,2	0,2	0,15	1,15	0,019574
7	0,3	0	0,1	0,2	0,5	1,1	0,018723
8	0,2	0,5	0,7	0	0,25	1,65	0,028085
9	0,3	0,5	0,7	0,5	0,5	2,5	0,042553
10	0,4	0,5	0,7	0,5	0,1	2,2	0,037447
11	0,4	0,3	0,2	0,3	0,5	1,7	0,028936
12	0,4	0,5	0,2	0,3	0,25	1,65	0,028085
13	0,2	0,5	0,7	0,5	0,5	2,4	0,040851
14	0,4	0,5	0,2	0,5	0,5	2,1	0,035745
15	0,4	0,5	0,2	0,3	0,5	1,9	0,03234
16	0,4	0,5	0,2	0,2	0,5	1,8	0,030638
17	0,4	0	0,2	0,3	0,5	1,4	0,02383
18	0,4	0,5	0,5	0,2	0,1	1,7	0,028936
19	0,3	0,5	0,2	0,5	0,1	1,6	0,027234
20	0,1	0	0,7	0,3	0,5	1,6	0,027234
21	0,4	0,2	0,2	0,5	0,25	1,55	0,026383
22	0,3	0	0,7	0,2	0,1	1,3	0,022128
23	0,4	0,3	0,7	0,5	0,5	2,4	0,040851
24	0,4	0,2	0,2	0,5	0,25	1,55	0,026383
25	0,4	0,5	0,7	0,5	0,15	2,25	0,038298
26	0,4	0,3	0,7	0,5	0,5	2,4	0,040851
27	0,3	0,5	0,7	0	0,25	1,75	0,029787
28	0,4	0,5	0,7	0	0,5	2,1	0,035745
29	0,1	0,5	0,2	0	0,15	0,95	0,01617
30	0,4	0,2	0,7	0	0,15	1,45	0,024681
31	0,1	0	0,2	0,3	0,1	0,7	0,011915
32	0,1	0,5	0,2	0,3	0,5	1,6	0,027234
33	0,4	0,5	0,7	0	0,15	1,75	0,029787
34	0,1	0,5	0,7	0,2	0,25	1,75	0,029787
35	0,2	0,2	0,7	0,5	0,5	2,1	0,035745
Sum Ф _i	10,7	12,2	14,8	9,8	11,25	58,75	1

Для отримання глобальних пріоритетів необхідно для кожного з експертів просумувати нормалізовані фактори (таблиця 3), помножені на свої вектори пріоритетів (таблиця 4), альтернативи з найбільшими значеннями глобального пріоритету є переважаючими для особи яка приймає рішення з вибору експертів (таблиця 6). Розраховуючи необхідної вибіркової сукупності n експертів за виразом (7)

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2 \cdot N}{\Delta^2 \cdot N + t^2 \cdot \sigma^2} \quad (7)$$

де: $t=5$ при вірогідності 0,95; $\sigma=0,002019024$ вибіркова дисперсія для глобального пріоритету приведеного в таблиці 5; $N=35$ – генеральна сукупність експертів; $\Delta=0,05$ – гранична помилка вибірки. Таким чином необхідна кількість експертів для проведення експертизи складає $n=20$ при генеральній вибірці респондентів $N=35$.

Вага експертів по факторам

Експерт	Фактори (Ф _i)					Sum E _i
	(Ф1)	(Ф2)	(Ф3)	(Ф4)	(Ф5)	
1	0,0093457	0	0	0	0,00888888	0,01823
2	0,0093457	0,0163934	0,0067567	0	0,01333333	0,04582
3	0,0373831	0,0409836	0,0472972	0,05102040	0,04444444	0,22112
4	0,0373831	0,0409836	0,0067567	0,05102040	0,02222222	0,15836
5	0,0373831	0,0409836	0,0135135	0	0,04444444	0,13632
6	0,0280373	0,0245901	0,0135135	0,02040816	0,01333333	0,09988
7	0,0280373	0	0,0067567	0,02040816	0,04444444	0,09964
8	0,0186915	0,0409836	0,0472972	0	0,02222222	0,12919
9	0,0280373	0,0409836	0,0472972	0,05102040	0,04444444	0,21178
10	0,0373831	0,0409836	0,0472972	0,05102040	0,00888888	0,18557
11	0,0373831	0,0245901	0,0135135	0,03061224	0,04444444	0,15054
12	0,0373831	0,0409836	0,0135135	0,03061224	0,02222222	0,14471
13	0,0186915	0,0409836	0,0472972	0,05102040	0,04444444	0,20243
14	0,0373831	0,0409836	0,0135135	0,05102040	0,04444444	0,18734
15	0,0373831	0,0409836	0,0135135	0,03061224	0,04444444	0,16693
16	0,0373831	0,0409836	0,0135135	0,02040816	0,04444444	0,15673
17	0,0373831	0	0,0135135	0,03061224	0,04444444	0,12595
18	0,0373831	0,0409836	0,0337837	0,02040816	0,00888888	0,14144
19	0,0280373	0,0409836	0,0135135	0,05102040	0,00888888	0,14244
20	0,0093457	0	0,0472972	0,03061224	0,04444444	0,1317
21	0,0373831	0,0163934	0,0135135	0,05102040	0,02222222	0,14053
22	0,0280373	0	0,0472972	0,02040816	0,00888888	0,10463
23	0,0373831	0,0245901	0,0472972	0,05102040	0,04444444	0,20473
24	0,0373831	0,0163934	0,0135135	0,05102040	0,02222222	0,14053
25	0,0373831	0,0409836	0,0472972	0,05102040	0,01333333	0,19001
26	0,0373831	0,0245901	0,0472972	0,05102040	0,04444444	0,20473
27	0,0280373	0,0409836	0,0472972	0	0,02222222	0,13854
28	0,0373831	0,0409836	0,0472972	0	0,04444444	0,17010
29	0,0093457	0,0409836	0,0135135	0	0,01333333	0,07717
30	0,0373831	0,0163934	0,0472972	0	0,01333333	0,11440
31	0,0093457	0	0,0135135	0,03061224	0,00888888	0,06236
32	0,0093457	0,0409836	0,0135135	0,03061224	0,04444444	0,1389
33	0,0373831	0,0409836	0,0472972	0	0,01333333	0,13899
34	0,0093457	0,0409836	0,0472972	0,02040816	0,02222222	0,14025
35	0,0186915	0,0163934	0,0472972	0,05102040	0,04444444	0,177847
Сума балів	1	1	1	1	1	5

Таблиця 4

Значення матриці парних порівнянь факторів

	Ф1	Ф2	Ф3	Ф4	Ф5	середнє геом.	вектор пріоритетів
Ф1	1	6	0,111111	2	4	1,397654238	0,193008
Ф2	0,166667	1	0,166667	2	3	0,698827119	0,096504
Ф3	9	6	1	7	3	4,082466324	0,563765
Ф4	0,5	0,5	0,142857	1	5	0,708536772	0,097845
Ф5	0,25	0,333333	0,333333	0,2	1	0,35395292	0,048879
Сума	10,91667	13,83333	1,753968	12,2	16	7,241437372	1

Розподіл експертів за глобальним пріоритетом компетентності

№ з/п	Експерт	Глобальний пріоритет	№ з/п	Експерт	Глобальний пріоритет
1.	3	0,044999341	11.	27	0,037117254
2.	25	0,043478667	12.	30	0,036113539
3.	23	0,04341731	13.	34	0,035506462
4.	26	0,04341731	14.	8	0,035313442
5.	10	0,043261428	15.	20	0,033635995
6.	9	0,04319553	16.	18	0,032647739
7.	13	0,041391718	17.	14	0,025953239
8.	28	0,040007261	18.	15	0,023956407
9.	35	0,039018671	19.	16	0,022957991
10.	33	0,038486587	20.	12	0,022870211



Рис. 3. Розподіл експертів з урахуванням глобального пріоритету

В таблиці 5 приведені експерти за їхніми номерами які отримали найвищий показник глобального пріоритету компетентності в порядку убутання.

Висновки. Прийняття рішень органами управління залежить від умов обстановки, поставленої мети, типу завдань, які треба виконати, експертів, які залучаються до підготовки і оцінки пропозицій. Професійна кваліфікація експертів дозволяє

більш обґрунтовано приймати рішення, наведений метод вибору експертів дозволить скоротити час на їх відбір, формалізувати його, уникати суб'єктивізму під час формування експертної групи. В умовах обмеженого часу на прийняття рішення в бойових умовах метод вибору експертів дає командирі інструментарій для прийняття раціонального рішення.

Список літератури:

1. Електронний ресурс. Режим доступу URL:<https://it.rfei.ru/course/~Kcye/~NeoS/~Misk> (дата звернення: 24.06.2022).
2. Електронний ресурс. Режим доступу URL:https://studref.com/385953/tehnika/metody_vybora_organizatsii_raboty_ekspertov (дата звернення: 21.07.2022).
3. Масленников Е.В. Особенности отбора экспертов // Методика и техника. Социология № 2, – 2010, – С.82-93.
4. Верескун В.Д. Экспертные оценки в производственно-транспортных процессах: вопросы организации, моделирования и управления // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 4-3. – С. 485-489.
5. Рудень В.В., Гутор Т.Г. Методика проведення та оцінки результатів експертних оцінок// Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького// Український медичний часопис – 2011. – № 2(82), (дата звернення: 21.07.2022).
6. Слепцова М. В., Мелашенко Т. В. Интернет-журнал «Мир науки», Выпуск 1(7) – 2015 январь – март URL:<http://mir-nauki.com/PDF/24PMN115.pdf>
7. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Електронний ресурс]. – М.: Радио и связь, 1993. Режим доступу URL:<http://pqmonline.com/assets/files/lib/books/saaty.pdf> (дата звернення: 29.07.2022).

8. Теорія прийняття рішень органами військового управління: монографія / В.І. Ткаченко, Є.Б. Смірнов та інш.; За ред. В.І. Ткаченка, Є.Б. Смірнова – Х.: ХУ ПС, 2008. – 545 с.

9. Ткаченко В.І. Шляхи формалізації процесів багатокритеріальної оцінки в системі підтримки прийняття рішень // В.І. Ткаченко, Г.А. Дробаха, Є.Б. Смірнов // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУ ПС, 2007. – № 2 (10). С. 3 – 11.

Yemanov V.V., Sporishev K.O., Onoprienko O.S. THE METHOD OF MULTIFACTORIAL SELECTION OF EXPERTS BY THE MAXIMUM COEFFICIENT OF COMPETENCE

An analysis of the existing methods of selecting a group of experts for conducting expert evaluation was carried out, a method of selecting experts was developed, unlike the known ones, the selection process was formalized, the share of subjectivity was reduced, the basis of the method is a combined multi-factor selection method based on the criterion of the maximum coefficient of expert competence.

Decisions made in the military sector differ from decisions of civil administrations, but all decisions (as well as the processes of their preparation and adoption) must comply with the same basic requirements and scientific provisions - the regularities of processes and the principles of decision-making theory. The decision-making process in complex organizational hierarchical systems (COHS) and in its links has a number of features.

Most of the decisions are made in situations that have not met before, i.e. a complete coincidence of situations in the military (economic, political) sphere - an event that is almost unbelievable;

The choice of action options usually occurs in conditions of a high degree of uncertainty associated with both the randomness of the controlled process and the ambiguity of goals, criteria, action alternatives and their consequences;

Decisions, even more responsible ones, are made under strict time limits (time limit for decision-making).

These features set certain requirements both for organizational issues in the work of management bodies and for mathematical support of decision-making processes (DMP) in COHS. The organization of PR processes and the development of mathematical support in these conditions has a number of problems. These problems arise both when considering the system as a whole, and when considering its individual links, the activities of which are regulated by the requirements of higher management bodies and are aimed at the management of subordinate systems.

Taking into account the peculiarities of DMP during the performance of service and combat tasks, the most acceptable method of assessing the competence of an expert is an objective method. Preparation of proposals for a decision based on expert analysis is carried out in conditions of uncertainty, that is, when there is little information about the enemy, at the stages of preparation for actions. The presence of a hard time limit does not always allow using the experimental method of assessing the expert's competence. The conducted analysis of expert selection methods allows us to conclude on the expediency of using a documentary method of expert selection.

Key words: *expert evaluation, selection of experts, coefficient of competence, method of analysis of hierarchies.*

Жученко Л.К.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ВИПАЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ВИРОБІВ

У роботі сформульована задача оптимального керування процесом випалювання вуглецевих виробів. Одним із основних технологічних процесів у виробництві вуглецевих виробів є процес випалювання. Даний процес характеризується з одного боку, енерговитратами, а з іншого боку – значною кількістю бракованої продукції, що не відповідає необхідним вимогам.

У зв'язку з даними обставинами виникає актуальна науково – технічна задача підвищення ефективності процесу випалювання вуглецевих виробів, яка полягає у зменшенні енергоспоживання та забезпеченні потрібної якості кінцевої продукції. Одним з ефективних шляхів розв'язання цієї задачі є створення сучасної системи оптимального керування процесом випалювання. На відміну від відомих систем керування даним процесом запропоновані підходи дозволять забезпечити режим найбільш ефективного використання енергоносіїв при зменшенні кількості бракованої продукції.

Запропоновані 2 підходи до побудови системи оптимального керування – програмне керування та керування у реальному часі.

Показані недоліки системи програмного керування, указані шляхи їх ліквідації у системі реального часу. Обґрунтована доцільність використання модельно – прогнозуючого керування (МРС – підхід) для системи оптимального керування процесом випалювання.

Ключові слова: *вуглецеві вироби, система оптимального керування, програмне керування, керування у реальному часі, модельно – прогнозуюче керування.*

Постановка проблеми. Аналіз сьогоденної практичної реалізації процесу випалювання вуглецевих виробів свідчить про те, що даний процес є фактично некерованим. Після розміщення горілки на черговій камері (після чого камера стає «камерою під вогнем») процес випалювання триває певний час при максимальній витраті палива. Тривалість даного процесу задається оператором – технологом на основі власного досвіду та статистичних даних, накопичених на попередніх кампаніях випалювання. Такий підхід забезпечує максимальну продуктивність печі випалювання щодо виробів, що обробляються.

При цьому, як свідчить практика, об'єктивно існуючі помилки у технологічній реалізації перебігу процесу та його тривалості призводять з одного боку – до перевитрат енергоносіїв, а з іншого боку – до значної кількості браку кінцевої продукції.

Існуючі системи керування процесом випалювання, короткий аналіз яких наведений вище, розглядають питання якості продукції та енергозбереження окремо одне від одного, без комплексного підходу до їх розв'язання у рамках оптимальної системи керування.

Створенню будь – якої оптимальної системи керування передуює етап формулювання задачі оптимального керування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На жаль, на сьогоднішній день питанню створення та впровадження системи керування процесом випалювання вуглецевих виробів приділено недостатньо уваги. Відомі роботи присвячені в основному або питанням контролю за температурним режимом печі випалювання, або питанням організації самого процесу випалювання.

Так, у дослідженні [1] описана робота двох дифузійних пальників, що встановлені в склепінні камери, при тиску газу 3000 Па, що дозволяло вести процес випалювання за заданим графіком з точністю $-50 \dots + 30$ °С. Контроль процесу зводився до вимірювання температури під склепінням камери і запису показів на вторинному приладі (самописці). Очевидно, що, крім низької точності дотримання графіка випалювання заготовок, такий спосіб керування призводив до невинновано високої перевитрати палива і значного браку через досить великий перепад температури по висоті камери.

У зв'язку з практичною неможливістю регулювання співвідношення повітря/газ через особливості конструкції печі, а саме підсосу повітря на контактні склепіння з камерою печі, у роботах [2, 3] наведено теоретичне обґрунтування

доцільності використання системи імпульсного спалювання палива для багатокамерних печей випалювання, що призводить, на думку авторів, до зменшення перевитрати палива. А у роботах [4, 5] дається обґрунтування доцільності створення системи керування процесом випалювання вуглеграфітових заготовок з використанням системи імпульсного спалювання палива.

З досліджень останніх років слід виділити роботи [6-8]. У них обґрунтовано доцільність синтезу системи керування на базі штучних нейронних мереж для вирішення задачі визначення ймовірності дефектів у заготовках. Вирішена задача обмеженості необхідних для навчання нейронної мережі даних шляхом застосування особливої структури – автоенкодера. У порівнянні з системою керування з класичним ПІД-регулятором розроблена система забезпечує меншу витрату палива для досягнення продукції необхідної якості. Запропонований регулятор забезпечує менші перепади та прирости температур протягом всього процесу випалювання.

Формулювання цілей статті У зв'язку з наведеним вище матеріалом, метою даної статті є формулювання задачі оптимального керування процесом випалювання вуглецевих виробів. Яка повинна передбачати комплексне вирішення питань енергозбереження та забезпечення потрібної якості кінцевої продукції.

Добре відомо [6,8 – 15], що всі техніко – економічні показники процесу випалювання вуглецевих виробів пов'язані з температурним режимом його реалізації. Тому у подальшому будемо виходити з двох умов ведення процесу:

1) температурний графік та тривалість процесу задані наперед;

2) температурний графік та тривалість процесу невідомі і підлягають визначенню у реальному часі з метою досягнення високих техніко-економічних показників випалювання та потрібної якості кінцевої продукції.

Температурний графік та тривалість процесу випалювання задані.

Перш за все, коли говоримо про температурний графік, треба визначити про яку температуру і в якій точці печі йде мова. Враховуючи значну розподіленість температурного поля печі випалювання [12, 15 – 19], у різних точках печі температури та графіки їх зміни будуть суттєво відрізнятися.

За результатами попередніх досліджень [12, 16-19] видається доцільним з точки зору досягнення потрібної якості вуглецевих виробів у якості «контрольної точки» вибрати нижню

точку заготовки з найнижчою температурою.

Зрозуміло, що виміряти температуру всередині заготовки неможливо, але, як свідчать результати проведених досліджень [6,16 – 19], температура пересипки біля заготовки практично не відрізняється від температури самої заготовки, температуру пересипки можна виміряти. Крім того, як буде показано нижче, при даній постановці задачі температуру всередині заготовки можна просто розрахувати за моделлю [6, 12, 15].

Перш за все потрібно з'ясувати яким чином можуть бути сформовані температурний режим та тривалість процесу випалювання. Що стосується останньої, то вона лежить у діапазоні 360 – 480 годин [6,12] і при даних початкових умовах може бути визначена тільки оператором – технологом. Він же може сформулювати і температурний графік процесу випалювання, як про це вказувалось вище. Але такий підхід безумовно є суб'єктивним і його результативність залежить від кваліфікації оператора – технолога.

Наразі пропонується інший підхід, виходячи із рекомендацій щодо швидкості підвищення температури, наданих у [6, 12]. Знаючи початкову температуру і приймаючи певний закон зміни температури у процесі випалювання (лінійний, кусково – лінійний, лінійний з насиченням тощо) можна сформулювати шуканий температурний графік. При цьому тривалість процесу випалювання має бути задана.

У такій постановці задача оптимального керування процесом випалювання являє собою задачу лінійно – квадратичного керування з відомим критерієм оптимальності [20 – 24].

$$I = \int_0^{T_k} [q(T(\tau) - T_{зад}(\tau))^2 + ru^2(\tau)] d\tau \quad (1)$$

або у дискретному вигляді

$$J = \sum_{k=0}^N [q(T(k) - T_{зад}(k))^2 + ru^2(k)] \quad (2)$$

де T_k – тривалість процесу випалювання, $T(\tau)$, $T(k)$ – температура у контрольній точці в момент часу $0 \leq \tau \leq T_k$ і дискретний момент часу k відповідно;

$T_{зад}(\tau)$, $T_{зад}(k)$ – задана температура у контрольній точці у момент часу τ та у дискретний момент k відповідно;

q, r – параметри налаштування ЛК – регулятора;

$T_K = N\Delta\tau$ ($\Delta\tau$ – крок дискретизації).

При наявності математичної моделі процесу випалювання, наприклад [6, 12, 25], оптимальний закон керування u_{opt} може бути розрахований на початку термічної обробки заготовок у «камері під вогнем», використовуючи стандарте про-

грамне забезпечення [26], і керування процесом випалювання може бути реалізоване у вигляді програмного керування.

Такий спосіб керування має свої недоліки. По – перше, тривалість процесу випалювання задається суб'єктивним чином, що може призвести до погіршення техніко- економічних показників процесу та якості вуглецевих виробів.

Слід зазначити, що елемент «суб'єктивності» у визначенні тривалості процесу випалювання можна усунути, використавши зміну ентропії вуглецевих виробів як критерій тривалості процесу [27]. При такому підході розрахувати потрібну тривалість можна, використовуючи наступний ітераційний алгоритм.

1) задати початкову тривалість T_n , яка наперед менша за потрібну ($T_n < 360$ год.);

2) розв'язати задачу (1) або (2);

3) розрахувати значення температури у контрольній точці наприкінці кампанії процесу випалювання;

4) розрахувати відповідне значення ентропії E_K ;

5) знайти різницю ентропії наприкінці процесу випалювання E_K та на попередньому кроці E_{K-1} ;

6) якщо $\Delta E = E_K - E_{K-1} \leq 0$, то T_n – потрібна тривалість процесу випалювання;

7) якщо $\Delta E > 0$, то $T_n = T_n + \delta\tau$ ($\delta\tau$ – крок дискретизації) $E_{K-1} = E_K$ та перейти до п. 2.

По – друге, у разі відключення електроживлення, що сьогодні не є чимось незвичним, подальше керування процесом випалювання стає проблемним.

По – третє, при такому способі керування не контролюються заготовки, які знаходяться у «гарячій зоні» з найвищими температурами, де перепад температур по висоті заготовки може перевищувати допустимі межі, що призведе до механічних ушкоджень (браку продукції).

В четверте, неможливо врахувати збурення, які діють в процесі випалювання: зміну температури повітря, можливу зміну співвідношення паливо/повітря, зміну величини вакууму тощо.

Температурний графік і тривалість процесу невідомі.

Усі перелічені вище недоліки програмного керування можна ліквідувати у системі оптимального керування реального часу. Для реалізації такої системи потрібно розмістити термопару у пересипці поблизу нижньої частини заготовки у зоні з мінімальною температурою [6], та дві термопари у пересипці біля верхньої та нижньої частини заготовки, яка знаходиться у зоні з максимальною температурою [6]. Останні термопари

потрібні для вимірювання різниці температур у заготовці з максимальним їх перепадом.

Термопара у зоні з мінімальною температурою дає можливість, по – перше, враховувати усі можливі збурення (названі вище), по – друге, визначити момент доцільного завершення процесу випалювання на підставі розрахованого значення зміни ентропії.

Одним із сучасних методів аналізу та синтезу систем керування є модельно – прогнозує керування Model Predictive Control (MPC) [28-32]. У нас час область застосування MPC – методів суттєво розширилася та охоплює такі галузі як хімічну, машинобудівну, аерокосмічну, харчову та інші.

Основною перевагою MPC – підходу, яка визначає його успішне використання у практиці побудови та експлуатації систем керування, служить відносна простота базової схеми формування зворотного зв'язку разом з високими адаптивними властивостями. Остання обставина дозволяє керувати багатовимірними та багатозв'язними об'єктами із складною структурою, що включає нелінійності, оптимізувати процеси у режимі реального часу з урахуванням обмежень на керуючі та керовані змінні, враховувати невідзначеності у завданні об'єктів та збурень.

Саме тому для створення системи оптимального керування процесом випалювання вуглецевих виробів доцільно використати MPC – підхід. Як критерій оптимальності будемо використовувати наступний вираз у дискретному вигляді.

$$J = \sum_{k=1}^{N_H} q[(T(k) - T_{\text{зад}}(k))]^2 + \sum_{k=0}^{N_K} r u^2(k) + \sum_{k=1}^{N_H} \frac{1}{(\Delta T(k) - \Delta T_{\text{дон}}(k))} \quad (3)$$

де N_H , N_K – горизонти прогнозування та керування відповідно;

$\Delta T(k)$, $\Delta T_{\text{дон}}(k)$ – перепад температур поточний та допустимий відповідно.

Для розв'язання задачі (3) треба застосувати пошукові методи оптимізації [33-35].

Умовою закінчення процесу випалювання (тривалість процесу), як і раніше є $\Delta E \leq 0$.

Ще однією перевагою MPC – підходу по відношенню, скажімо, до ПІД – керування є можливість планування виробництва, що обумовлено розрахунком температур на N_H кроків вперед. При цьому з'являється можливість обчислення значень ентропії вуглецевих виробів, що означає можливість визначення заздалегідь моменту завершення процесу випалювання.

У разі аварійної ситуації (відключення енергоживлення) процес керування відновлюється, починаючи з того стану, в якому він опинився на момент відновлення енергоживлення.

Висновки

У статті сформульована задача оптимального керування процесом випалювання вуглецевих виробів. На відміну від відомих систем керування даним процесом запропоновані підходи дозволяють забезпечити режим найбільш ефективного використання енергоносіїв при зменшенні кількості бракованої продукції.

Запропоновані 2 підходи до побудови системи оптимального керування – програмне керування та керування у реальному часі.

Показані недоліки системи програмного керування, указані шляхи їх ліквідації у системі реального часу.

Обґрунтована доцільність використання модельно – прогнозуючого керування (МРС – підхід) для системи оптимального керування процесом випалювання.

Напрямки подальшої роботи пов'язані з експериментальними дослідженнями запропонованих систем, їх оптимальними налаштуваннями та аналізом їх ефективності у порівнянні з відомих системами керування.

Список літератури:

1. Сошкин С. Система управления процессом обжига электродных материалов // С. Сошкин, А. Антонян, Г. Полторак, Н. Сорокин // Системная интеграция. Металлургия. 2006, №3, с. 26-30.
2. Сошкин С.В. К возможности создания импульсной системы сжигания топлива для камерных печей. Цветная металлургия, 1998, № 3, с. 55-58.
3. Сошкин С.В. Проектирование оптимальной системы управления обжином электродных изделий в камерных печах. Цветная металлургия, 1998, с. 68-72,
4. Сошкин С.В., Априамов В.Н., Жуковецкий О.В. Цветные металлы, 1987, № 9. 59. Сошкин С.В. Системы оптимального управления обжигом электродных заготовок. Цветные металлы, 1998, № 3, с. 66-70.
5. Сошкин, Григорий Станиславович. Исследование процесса обжига электродной продукции в многокамерных печах и разработка системы оптимального управления : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.06 / Сошкин Григорий Станиславович; [Место защиты: Сев.-Кавказ. Гор.-металлург. Ин-т]. Владикавказ, 2012. 178 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/3751.
6. Коротинський А.П. Автоматизація процесу керування багатоканальними печами випалювання вуглеграфітових виробів: дис. на здобуття наук. ступеня докт. філософії : спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / А. П. Коротинський. К., 2020. 190 с.
7. A system of automated control for the baking process that minimizes the probability of defects / A. Korotynskiy, O. Zhuchenko // Международный наукометрический научный журнал "СхідноЄвропейський журнал передових технологій". 2020/ № 1/2(103), с. 58-67.
8. Коротинський А.П. Постановка задачі керування процесом випалювання у виробництві вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Гірничий вісник. Науково-технічний збірник. ДВНЗ «Криворізький національний університет». 2017, № 102, с. 174-179.
9. Шулепов С. В. Физика углеродистых материалов / С. В. Шулепов. М. : Металлургия, 1972. 256 с.
10. Чалых Е. Ф. Обжиг электродов / Е. Ф. Чалых. М. : Металлургия, 1981. 116 с.
11. Чалых Е. Ф. Технология углеродистых материалов / Е. Ф. Чалых. М. : Металлургиздат, 1963, 304 с.
12. Теплообмен в многокамерных печах обжига углеродистых изделий : монография / И.В. Пулинец [и др.] ; Мин-во образования и науки Украины, НТУУ «КПИ». Киев : НТУУ «КПИ», 2014, 175 с.
13. Исследование обжига углеродистых заготовок / Молокова Т. Л., Харлампович Г. Д., Сухоруков И. Ф. // Химия твердого топлива. 1977, № 6, с. 114–120.
14. Малахов С. А. Совершенствование технологии обжига углеродистой продукции в многокамерных печах обжига закрытого типа: автореф. Дис. На соиск. Учен. Степени канд. Техн. Наук : спец. 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов» / С. А. Малахов. Владикавказ, 2004. 30 с.
15. Повышение эффективности обжига углеродистых заготовок / Е. Н. Панов, А. Я. Карвацкий, И. Л. Шилович, С. В. Лелека, И. В. Пулинец [и др.] // Вісник НТУУ «КПИ». Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження : зб. наук. праць. 2011, № 1(7) додаток. с. 25–30.
16. Коротинський А.П. Дослідження впливу розрідження на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів на етапі камера «під вогнем» / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Вісник Криворізького національного університету. Збірник наукових праць. 2018, № 47, с. 44-49.
17. Коротинський А.П. Дослідження впливу надлишку повітря на процес випалювання вуглецевих виробів у камері "під вогнем" / О. А. Жученко, А. П. Коротинський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. 2018, № 1, с. 119-128.
18. Коротинський А.П. Дослідження впливу початкової температури повітря на температурний режим процесу випалювання вуглецевих виробів у камері "під вогнем" / О. А. Жученко, А. П. Коротинський // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки. 2018. Вип. 36. 201-209.

19. Коротинський А.П. Дослідження впливу витрати палива на температурні поля печі випалювання вуглецевих виробів / О.А. Жученко, А.П. Коротинський // Збірник наукових праць національного університету кораблебудування імені Адмірала Макарова Наукове видання № 4 (478) 2019, С. 3-10.
20. Жосан А. А., Кірсань Є.С. Аналіз методів моделювання об'єктів з розподіленими/ А.А. Жосан, Є.С. Кірсань // Вісник Криворізького національного університету, вип. 34, 2013
21. Иваненко В. И. Вариационные методы в задачах управления для систем с распределенными параметрами / В. И. Иваненко, В. С. Мельник. К: Наук. думка, 1988, 288 с.
22. Демиденко Н. Д. Моделирование и оптимизация систем с распределенными параметрами / Н. Д. Демиденко, В. И. Потапов, Ю. И. Шокин. Новосибирск : Наука, 2006. 551 с.
23. Булавацький В. М. Некласичні математичні моделі процесів тепло – та масопереносу / В. М. Булавацький, Ю. Г. Кривонос, В. В. Скопечкий. – К.: Наукова думка, 2005. – 284 с.
24. Бутковский А. Г. Характеристика систем с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский. М: Наука, 1979. 224 с.
25. Korotynskiy A. Development and investigation of the reduced mathematical model of the process of baking carbon products / O. Zhuchenko, A. Korotynskiy // Международный наукометрический научный журнал "Східно-Європейський журнал передових технологій". – 2019/ – № 1/8(97). с. 70-78.
26. Yeong Koo Yeo. Chemical Engineering Computation with MATLAB 2nd Edition RC Press; 2nd edition (December 16, 2020), 847 p.
27. Жученко Л.К. Ентропія як показник якості вуглеграфітової продукції / Жученко Л.К., Коротинський А. П. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики : XIX міжнар. наук.-прак. конф. аспірантів, магістрантів і студентів, 20-23 кв. 2021р.: мат. конф.К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
28. L. Wang. Model Predictive Control System Design and Implementation Using MATLAB. Springer, 2009. 376 p.
29. Денисенко Н. А., Рогачёв А. И., Караман Д. Г. Применение пакета MATLAB для решения задач управления с прогнозированием // Вестник НТУ «ХПИ». Харьков: НТУ «ХПИ». 2006. № 9, с. 30–33.
30. Денисенко Н.А. Задачи оптимального управления с прогнозированием при квадратичном функционале // Н.А.Денисенко, А. И. Рогачёв / Вісник Вінницького політехнічного інституту: Вінниця. 2006. № 6, с. 10-13.
31. Samacho E. F., Bordons A. C. Model predictive control / Springer. 2007. P. 405
32. Северілов В. А. Узагальнення задач оптимального управління розподіленням ресурсів в часі / В. А. Северілов, І. С. Колесник // Доповіді МНК «Контроль і управління в технічних системах», Вінниця, 2001. с. 142–146.
33. Wade H. Basic and Advanced Regulatory Control: System Design and Application, Third Edition / International Society of Automation. 2017. P. 567.
34. Андреева Е. А. Вариационное исчисление и методы оптимизации / Е. А. Андреева, В. М. Цирулева. М. : Высшая школа, 2006, 584 с. ISBN 5-06-004746-6.
35. Реклейтис Г. Оптимизация в технике: в 2-х книгах. Книга 1: Пер. с англ. / Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Регсдел. М.: Мир, 1986, 350 с.

Zhuchenko L.K. STATEMENT OF THE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL OF THE FORMATION PROCESS OF CARBON PRODUCTS

The article formulates the problem of optimal management of the process of burning carbon products. One of the main technological processes in the production of carbon products is the firing process. This process is characterized on the one hand by energy consumption, and on the other hand by a significant amount of defective products that do not meet the necessary requirements.

In connection with these needs, the scientific and technical task of increasing the efficiency of the process of burning carbon products is urgent, which leads to a decrease in energy consumption and ensuring the necessary quality of the final products. One of the effective ways to solve this problem is to create a modern system of optimal control of the firing process

In contrast to known control systems for this process, the proposed approaches allow to ensure the mode of the most efficient use of energy carriers while reducing defective products.

2 approaches to creation an optimal control system are proposed – software control and real-time control.

The shortcomings of the software control system are shown, and the ways of their elimination in the real-time system are indicated. The expediency of using model-predictability of the control process (MRS-approach) for optimal control of the firing system is substantiated.

Key words: carbon products, optimal control system, software control, real-time control, model-predictive control.

Жученко О.А.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Коротинський А.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Цапар В.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Федотов В.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

НЕЙРОМЕРЕЖЕВИЙ КЛАСИФІКАТОР АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ДОКУМЕНТІВ

Робота спрямована на вирішення прикладної задачі розробки автоматичної системи обробки електронних документів, а саме однієї з її частин - класифікатора. Для вирішення поставленої задачі запропоновано використовувати підходи машинного навчання та штучного інтелекту. Вирішення поставленої задачі при звичайних умовах не складає труднощів, проте в даній роботі розглядається випадок обмеженості навчальної вибірки, що є поширеним випадком при розробці систем на базі запропонованих підходів. У роботі проведено дослідження початкових даних на основі яких буде проведено навчання моделі та визначено кількість класів, що будуть розпізнаватись, кількість представників у кожному класі та досліджено особливості їх представлення. У роботі представлено підходи, застосування яких дозволяє збільшити точність систем такого типу, в умовах обмеженості початкової початкової вибірки. Серед запропонованих підходів розглядається принцип мінімізації параметрів при формуванні архітектури штучної нейронної мережі, аугментація даних, переднавчання штучної нейронної мережі шляхом застосування автоенкодера. Отримана точність в 94-95 %, після застосування запропонованих підходів на відміну від 70 % початкових, підтверджує можливість оперативної розробки аналогічних класифікаторів такого типу, при обмеженій вибірці та в умовах мінімізації часу, з досягненням високих показників точності.

Ключові слова: нейронні мережі, аугментація, автоенкодер, переднавчання, класифікатор.

Постановка проблеми. В даний час, діяльність будь яких закладів і установ неможлива без організації документообігу. Необхідність отримання документів, перевірки достовірності, внесення інформації до відповідних баз даних і т.д., займає багато часу операторів відповідних систем, а також необхідно враховувати людський фактор. Заміна етапів ручної обробки програмною дозволить зменшити час обробки документів та прибере вплив людського фактору на точність виконання робіт. З чого випливає, що вирішення прикладної задачі розробки автоматичної системи обробки документів є досить актуальною в поточний час широкого впровадження електронного документообігу.

Запропоновані системи дозволяють вирішувати ряд задач, таких як: перевірка наявності печатки або

підпису, перевірка наявності та валідності дати, парсинг ключових елементів документу, тощо. У роботі вирішується задача розробки автоматичної системи обробки скан/фото атестатів, як прикладу документа що обробляється. Опрацювання даного документа полягає у внесенні оцінок в базу даних, перерахунку середнього балу атестату та перевірки його відповідності до поданого значення з метою уникнення фальсифікації даних. Обробка великої кількості атестатів операторами, тобто ручна обробка, займає велику кількість часу та призводить до неминучих помилок операторів. Відтак, заміна етапу ручної перевірки програмною, дозволить зменшити час обробки документів та підвищить точність їх перевірки.

В даній роботі розглядається вирішення лише однієї складової системи автоматичного розпізн-

навання скан/фото документів, а саме класифікації зображень отриманих після опрацювання документа сегментатором, який виділяє складові документи які потребують класифікації. Класифікатор пропонується виконати на основі штучної нейронної мережі, яка вирішує класичне завдання розпізнавання образів.

Відомо, що основна частина часу, при розробці нейронних мереж, складає саме опрацювання вхідних даних для їх зручного представлення. В даному випадку необхідно з кожного документу вирізати визначений, унікальний по своєму наповненні сегмент, який буде в подальшому оброблятися, зберегти його у новий файл та згенерувати йому відповідну мітку. Необхідно зазначити, що описана вище робота, з підготовки достатньої кількості даних для навчання нейронної мережі, потребує наявності великої кількості оригіналів документів, що обробляються, та займає досить багато часу. Для деяких завдань, забезпечення зазначених умов може бути неможливим (відсутність достатньої кількості документів для обробки), або не доцільним (час підготовки даних та навчання нейромережі в декілька разів перевищує час виконання обробки в ручному режимі). Враховуючи зазначене а саме, складність виконання умов щодо кількості вхідної інформації та часу, пропонується розробити класифікатор в умовах обмеженості вибірки, тобто зменшивши час ручної підготовки вибірки для навчання мережі. Практична реалізація штучної нейронної мережі, дослідження роботи та аналіз результатів пропонується виконати на прикладі класифікатора атестатів оцінок шкільної дванадцятибальної системи оцінювання.

Необхідність навчання моделі класифікації зображень на невеликому обсязі даних – звичайна ситуація, з якою часто стикаються в практиці розпізнавання образів за допомогою технологій комп'ютерного зору на професійному рівні. Під «невеликим» об'ємом розуміється від декількох сотень до декількох десятків тисяч зображень [1].

У цьому матеріалі розглядається проста стратегія вирішення даного завдання:

В частині 1, розроблено невелику нейронну мережу за принципом мінімізації параметрів, щоб задати базовий рівень точності класифікації. Після чого представлено варіант ефективного способу розширення початкової навчальної вибірки для задачі розпізнавання образів – data augmentation. Розглянуто два основних прийоми глибокого навчання на невеликих наборах даних: виділення ознак з використанням попередньо

навченої мережі і донавчання попередньо навченої мережі.

В частині 2, буде розглянуто можливість застосування генеративно-змагальної мережі (GAN – Generative Adversarial Networks) як способу розширення початкової вибірки з метою покращення рівня точності розпізнавання. Фінальне значення точності роботи розробленої моделі буде отримано після проведення регуляризації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує досить велика кількість матеріалів, що описують способи використання нейронних мереж для схожих задач.

Наприклад, робота [2] присвячена розробці системи розпізнавання писемних символів за допомогою штучної нейронної мережі. Проте у самому матеріалі не описана структура нейронної мережі, а відтак не зрозумілі вимоги та потреби на її навчання.

Авторами роботи [3] досліджено основні методи використання згорткових нейронних мереж для вирішення задачі класифікації текстів. Експерименти на текстових даних великого обсягу показали, що згорткові нейронні мережі для задачі класифікації текстів дозволяють досягти якості, аналогічної або кращої в порівнянні з традиційними методами. Проте аналогічно до вищесказаного у самому матеріалі не описана структура запропонованої нейронної мережі.

У роботі [4] описано синтез згорткової нейронної мережі для розпізнавання рукописних цифр на базі класичного датасету MNIST. Матеріали описують вирішення класичної задачі з урахуванням досить великої вибірки. При вирішення задачі використовувався принцип регуляризації.

У роботі [5] проведено аналіз роботи чотирьох різноманітних моделей розпізнавання рукописних цифр на базі класичного датасету MNIST при навчанні даних моделей на різному по величині об'ємові вибірки, а саме 25, 50, 75 та 100 %. Навіть при 25 % об'ємові вибірки кількість екземплярів складає 15000 значень, що складно назвати обмеженим дата сетом. Проте аналогічно до вищесказаного у самому матеріалі не описана структура нейронної мережі.

У роботі [6] розглядається вдосконалення традиційного методу розпізнавання зображень на базі загорткових нейронних мереж. Було зроблено висновки, щодо доцільності вибору однієї з трьох функцій активації. З результатів дослідження зроблено висновки, що ручне коригування параметрів все ще потрібно в процесі

експерименту для визначення найкращих параметрів розробки та використання нейронних мереж.

У роботі [7] представлена реалізація штучної нейронної мережі для реалізації класифікації рукописної бази даних MNIST. Крім того, у роботі, намагались досягти стиснення зображення за допомогою Autoencoder та визначити його ефективність. Це дозволяє зменшити розмір мережі та таким чином збільшують покращити продуктивність її роботи. Матеріали описують вирішення класичної задачі з урахуванням досить великої вибірки.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є розроблення та дослідження роботи однієї із складових автоматичної системи обробки документів, а саме класифікатора, на прикладі класифікатора оцінок в атестаті, в умовах обмеженості навчальної вибірки. Робота спрямована на визначення доцільності застосування підходів підвищення рівня точності таких систем в умовах обмеженості вибірки та визначення точності роботи розробленого класифікатора після застосування запропонованих підходів.

Виклад основного матеріалу. Аналіз навчальної вибірки. Аналіз та опрацювання вибірки початкових даних, на основі яких буде проведено навчання моделі, є надзвичайно важливим етапом при розробці систем на базі машинного навчання. Саме на цьому етапі розробки можна визначити кількість класів, що будуть розпізнаватись, кількість їх представників, особливості представлення, тощо.

В нашому випадку об'єктом розпізнавання виступають зображення, що будуть отримані в результаті опрацювання документів сегментатором, наприклад: табелів успішності, додатків до атестату про середню освіту та інше. Зазначені документи містять у собі перелік предметів та відповідних оцінок, причому оцінки можуть бути як рукописними цифрами або словами так і друкованими (див рис. 1).



Рис. 1. Різні типи представлення оцінок

Прийнято рішення, що друковані та рукописні екземпляри можна розглядати як один клас, оскільки дані елементи повинні мати схожі патерни. Відтак, кількість унікальних класів для запропонованої моделі складатиме 24, а саме 12 класів рукописних та друкованих словесних оцінок та 12 класів рукописних та друкованих цифр.

Можлива ситуація, коли в сформованому сегментатором області з тих чи інших причин оцінки не буде, а тому для пустого поля необхідно визначити окремий клас. Відповідно до вище сказаного, попередньо для вирішення задачі класифікації було визначено 25 класів.

Попередній аналіз 30 додатків до атестатів показав, що загальна кількість унікальних за представленням (різний шрифт, почерк і т.д.) оцінок в атестатах не рівномірна для кожного з класів, а для деяких класів взагалі складає нуль. Класи що відповідають оцінками «один», «два», «три», «1», «2», «3», «4», «5» взагалі не мають представників у вибірці 30 атестатів. Прослідковується наявність двох груп класів оцінок, а саме цифр та рукописних, при чому загальна кількість представників в групах відрізняється майже в 8 разів.

З попереднього аналізу даних впливає дві проблеми: відсутність представників деяких класів та нерівномірність представників поміж всіма класами.

Зрозуміло, що навчання нейронної мережі без представників деяких класів не має сенсу. Вирішення даної проблеми можливе різними способами, наприклад: розширення вибірки за рахунок існуючих датасетів, наприклад таких як «MNIST», що не є універсальним вирішенням для схожих задач; розширення вибірки шляхом обробки більшої кількості атестатів або штучне створення представників класів. Оскільки задача вирішується саме при умові обмеженості матеріалів для навчання мережі, будемо вважати що вже існуючих вибірок для розширення початкової вибірки, як і додаткових документів для опрацювання не існує, відтак обираємо останній варіант.

Значна нерівномірність представників поміж всіма класами передбачає, що нейромережа навчиться краще розпізнавати ті класи в яких представників більше, що також можна вирішити описаним вище варіантом. Проте, цікавим є факт, що деякі групи класів мають схожу розподіленість. Відтак можливо розробити окремо класифікатор для кожної з груп класів, що вирішить проблему нерівномірності представників поміж групами класів.

Після ручного вирівнювання розподілення представників поміж всіма класами отримано наступне представлення даних: для класів 13-24 з середнім значенням кількості представників 12, для класів 1-12 з середнім значенням кількості представників 26.

Вибір структури нейронної мережі.

Навчання нейронної мережі це процес оптимізації параметрів обраної моделі на навчальній

вибірці з метою досягти високого рівня узагальнення, тобто точності роботи даної моделі на даних, які раніше не застосовувались.

Відомо, що найкращий спосіб отримання моделі без перенавчання, тобто коли модель завчила всі шаблони тренувальних вибірки, що не обов'язково характерні тестовій – збільшення об'єму тренувальних даних. Модель, навчена на великому обсязі даних, матиме велику узагальненість, до того ж велика вибірка дозволяє збільшувати глибину самої мережі. З іншої сторони обмежений об'єм тренувальної вибірки обумовлює мінімізацію параметрів для навчання, а відтак глибини мережі, тобто мережі доведеться вивчати зжаті представлення. У той же час, модель повинна мати достатню кількість параметрів, щоб не виник ефект недонавчання. В зв'язку з обмеженістю даних, для розроблення нейромережі класифікації пропонується використати принцип мінімізації структури нейронної мережі.

Для вирішення класичної задачі розпізнавання малюнків зазвичай використовують добре зарекомендувавший себе підхід чередування згорткових та агрегувальних шарів. Відтак, враховуючи все вище сказане запропонована наступна структура/глибина класифікатора для розпізнавання сегментів додатків до атестатів, що складає в себе двічі чередовані згорткові (convolutional layer) та агрегувальні шари (max pooling layer), вирівнювальний шар (flatten layer) та два повноз'єднаних шара (dense layer).

Розглядається два варіанта реалізації, як один загальний класифікатор на 25 класів та два окремих класифікатора для цифр та слів.

Відповідно до сказаного вище, глибина нейронних мереж визначена, а параметри шарів такі як кількість фільтрів, їх розміри, кількість нейронів, функції активації і т.д. підбиралися індивідуально до кожного з класифікаторів. В результаті підбору було отримано дві структури: перша структура відповідає класифікатору цифр; друга структура відповідає класифікатору слів та загальному класифікатору. Більш детальний опис структури з числовими характеристиками можна побачити на рис. 2 [8].

Загальна кількість параметрів описаних вище структур нейронних мереж досить велика, наприклад для класифі-

катора цифр складає 16614, для загального класифікатора 37124. Оптимізації такої кількості параметрів передбачає велику кількість екземплярів для навчання, а тому без програмного розширення навчальної вибірки не обійтись.

Аугментація, попередня обробка даних та навчання нейронної мережі.

Для розширення навчальної вибірки використовується підхід аугментації даних (data augmentation) – це методика створення додаткових навчальних даних з наявних даних. У цьому випадку до екземпляру з навчальної вибірки застосовуються виконання повороту картинки на випадковий з заданого діапазону градус, випадкове масштабування, здвиг по всім осям. Відтак, з початкових 380 унікальних екземплярів, після аугментації даних було отримано вибірку з розміром 4000.

Перед передачею в мережу дані повинні бути перетворені в тензори. В даний час дані зберігаються у вигляді файлів JPEG, тому їх потрібно підготувати для передачі в мережу, виконавши наступні кроки: декодувати вміст з формату JPEG в таблиці пікселів; провести зріз порогових значень з метою прибрати шум на зображеннях, змінити масштаб значення пікселів з діапазону [0, 255] в діапазон [0, 1].

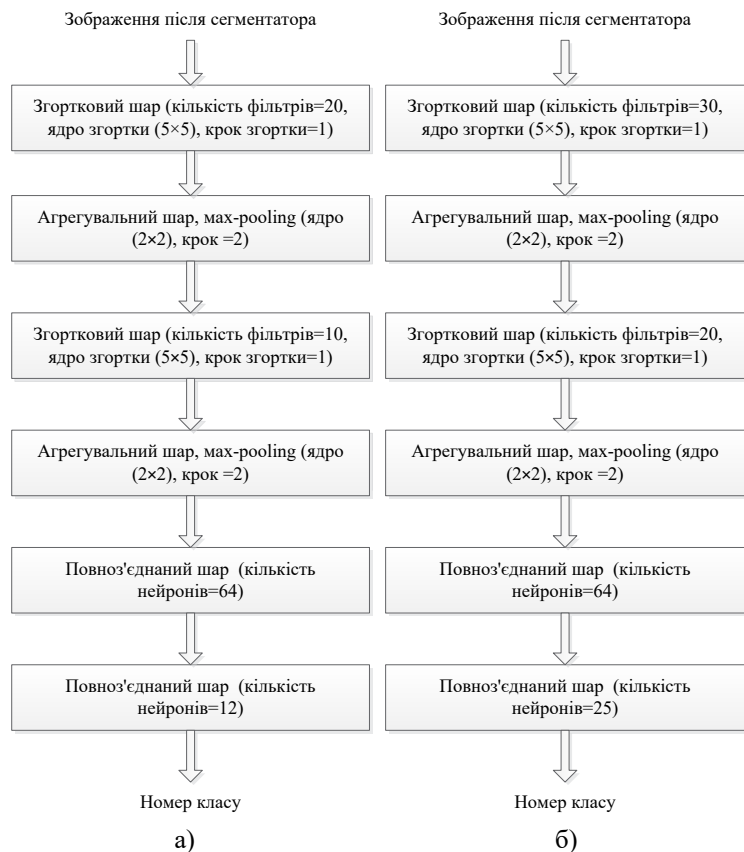


Рис. 2. Повна структура класифікаторів: а) - класифікатора цифр, б) - загального класифікатора та класифікатора слів

У якості метрики для дослідження ефективності запропонованих моделей використовуються стандартні функції втрат `categorical_crossentropy` та `accuarcy` – частка правильних відповідей алгоритму.

Після обрання відповідної структури моделі та проведення попередньої обробки даних, проведено навчання загальної нейронної мережі для отримання базового рівня точності розпізнавання, а також проведено навчання нейронних мереж для груп класів для визначеності правильності запропонованого підходу. Останнім було проведено навчання описаних мереж з використанням аугментації даних, результати навчання наведені на рис. 3-5.

З результатів проведеного навчання штучних нейронних мереж видно, що для всіх випадків навчання, кількість епох навчання можливо зменшити без втрати валідаційної точності, а відтак зменшити час необхідний для навчання запропонованих мереж.

Використання автоенкодера для переднавчання класифікаторів.

Автоенкодер (Autoencoder) – це особлива архітектура нейронної мережі, основна задача якої відновлення вхідного сигналу на виході з мережі, шляхом відновлення сигналу з його стиснутої репрезентації. В цьому випадку вхідний сигнал відновлюється з помилками через втрати під час проходження прихованого шару, проте, щоб їх мінімізувати, мережа змушена вчитися відбирати найбільш важливі ознаки в прихованих шарах. Ця особливість лежить в можливості використання автоенкодера для переднавчання. Основною метою роботи автоенкодерів – отримати на вихідному шарі відгук, найбільш близький до вхідного, а відтак структурна характеристика особливість автоенкодерів – кількість нейронів у вхідному та у вихідному шарі збігається.

Враховуючи, що структури запропонованих класифікаторів відомі, запропонована наступна структура автоенкодера для переднавчання, що відповідає, двом чередуванням згорткових та агрегувальних шарів, згорткового шару по середині та знову двох чередування загорткових та агрегувальних шарів (див. рис. 6).

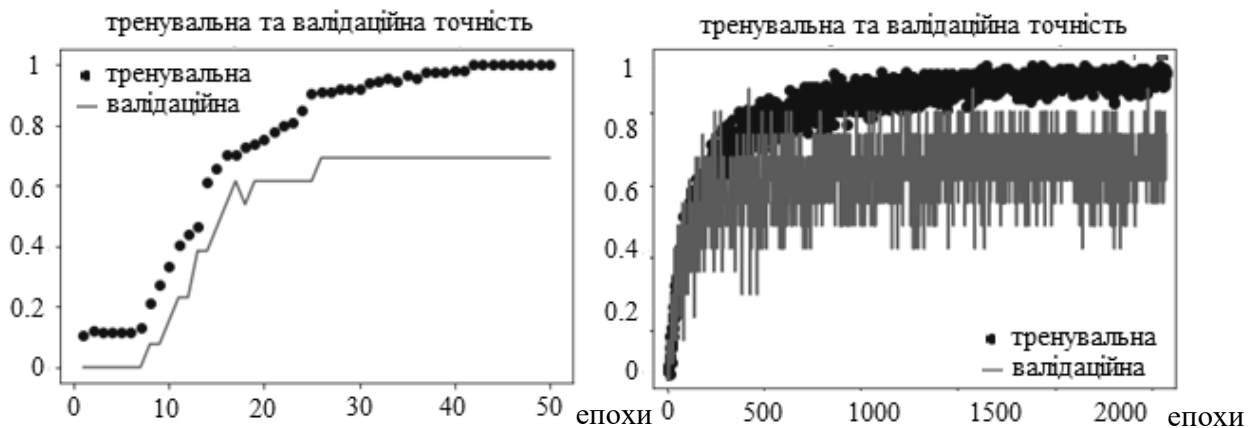


Рис 3. Результати навчання класифікатора цифр без аугментації даних та з аугментацією даних

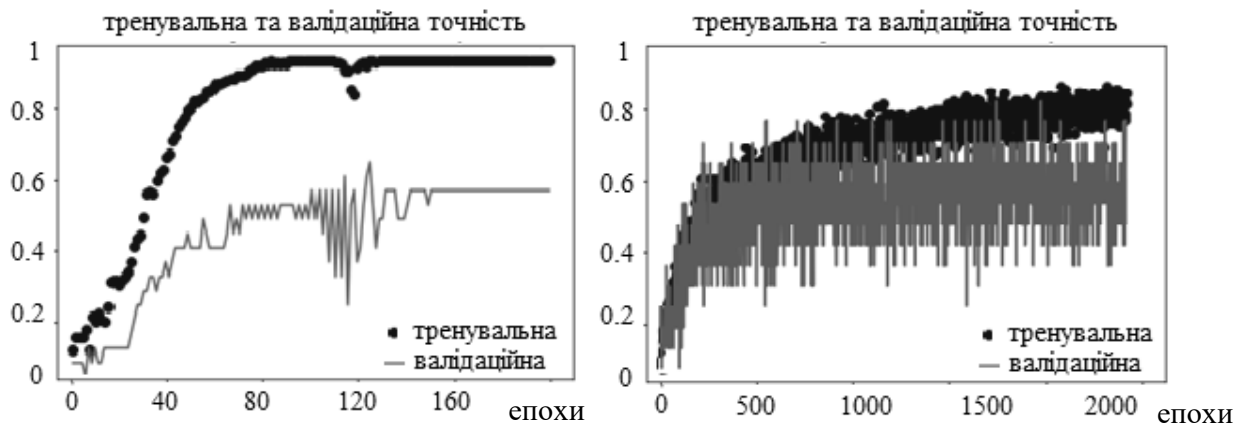


Рис 4. Проміжні дані навчання класифікатора слів без аугментації даних та з аугментацією даних

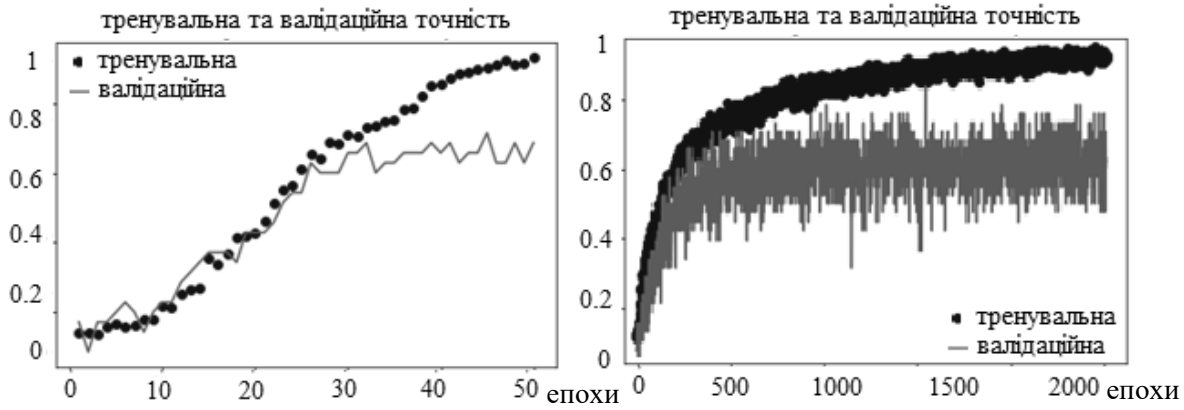


Рис 5. Проміжні дані навчання загального класифікатора без аугментації даних та з аугментацією даних

Навчання автоенкодера відбувається на даних отриманих після аугментації, а відтак не обумовлює проблеми їх обмеження, а при доданні до якісно навченого енкодера (саме енкодера – першої половини автоенкодера, що частково відповідає структурі класифікатора) повноз'єднаних шарів дозволяє отримати нейромержу, що відповідає структурі класифікатора з не навченими лише повноз'єднаними шарами [9].

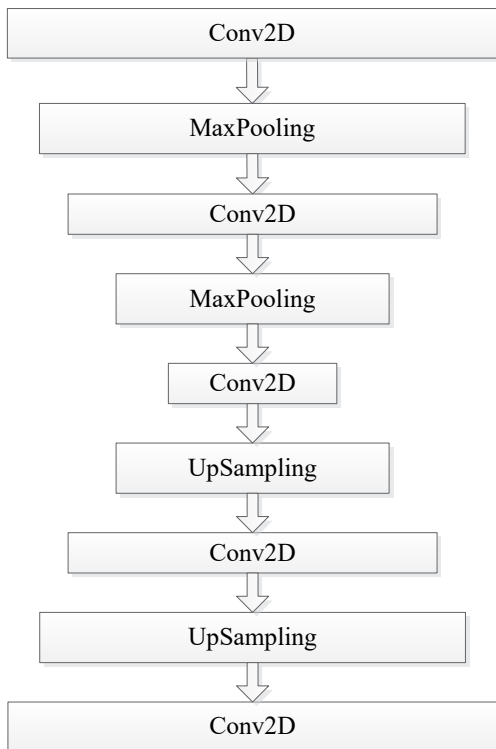


Рис 6. Запропонована структура автоенкодера

Заморозивши ті шари нейронної мережі, які були попередньо навчені при синтезі автоенкодера та провівши донавчання повноз'єднаних

шарів було отримано готові нейронні мережі класифікаторів з наступними параметрами точності (див. табл. 1).

Таблиця 1

Результати навчання нейронних мереж

Параметри	Класифікатор цифр з перед-навчанням	Класифікатор слів з перед-навчанням	Загальний класифікатор з перед-навчанням
Кількість параметрів мережі	16614	37124	37124
Величина навчальної вибірки	114	266	380
Валідаційна точність моделі	0.9411	0.953	0,938

Висновки. У роботі розглянуто підходи до розробки складової системи автоматичної обробки документів, а саме класифікатора в умовах обмеженості навчальної вибірки. У якості екземплярів для розроблення, дослідження ефективності та точності запропонованих підходів та систем використовувалась вибірка з 30 атестатів оцінок шкільної дванадцятибальної системи оцінювання, а саме 380 представників.

Показано, що оперативне розроблення класифікаторів такого типу можливе при використанні запропонованих підходів аугментації даних та переднавчання на базі автоенкодера. Отримане початкове порогове значення точності класифікатора в межах 65%, отримана точність в 95 % після застосування запропонованих підходів свідчить, що при розробці аналогічних систем, при обмеженій

навчальній вибірці, можливе досягнення високих показників точності. Отримана точність навіть без регуляризації обумовлює отримання класифікаторів з більш високим значенням точності.

В результаті попереднього аналізу початкової вибірки було прийнято рішення по розробці двох окремих класифікаторів для двох окремих груп

класів. Згідно з отриманих результатів, запропонований підхід дозволив підняти точність загальної класифікації атестатів на декілька відсотків. Звідки слідує, що для визначення унікальних, або непоширених екземплярів має місце навчання принципово окремої, персональної структури/моделі.

Список літератури:

1. Франсуа Шолле. Глубокоє обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018. – 400 с.: ил. – (Серия «Библиотека программиста»). ISBN 978-5-4461-0770-4
2. Соколенко Д. Г., Корнага Я. І. «Система розпізнавання писемних символів за допомогою нейронної мережі», *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія Технічні науки* Том 29 (68) Ч. 2 № 5 2018 с. 56-58
3. Карпович Артем Валерійович «Використання згорткових нейронних мереж для задачі класифікації текстів», *International scientific journal «Internauka»* // № 14(54), 2018 // Technical sciences // с. 69-73
4. Orhan G. Yalçın Image Classification in 10 Minutes with MNIST Dataset, URL: <https://towardsdatascience.com/image-classification-in-10-minutes-with-mnist-dataset-54c35b77a38d>
5. Feiyang Chen, Nan Chen, Hanyang Mao, Hanlin Hu Assessing Four Neural Networks on Handwritten Digit Recognition Dataset (MNIST) / *Chuangxinban journal of computing*, june 2018, URL: <https://arxiv.org/pdf/1811.08278.pdf>
6. Yifan Wang, Fenghou Li, Hai Sun, Wenbo Li, Cheng Zhong, Xuelian Wu, Hailei Wang, Ping Wang Improvement of MNIST Image Recognition Based on CNN, 7th Annual International Conference on Geo-Spatial Knowledge and Intelligence IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 428 (2020), URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/428/1/012097/pdf>
7. Wan Zhu Classification of MNIST Handwritten Digit Database using Neural Network, URL: http://users.cecs.anu.edu.au/~Tom.Gedeon/conf/ABCs2018/paper/ABCs2018_paper_117.pdf
8. Korotynskiy, A., Zhuchenko, O. Development of a classifier for the system of automatic document processing with limited sampling, ATIT 2020 – Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory, 2020, стр. 349–352
9. A. Korotynskiy, O. Zhuchenko A system of automated control for the baking process that minimizes the probability of defects, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, (2-103), стр. 58–67.

Zhuchenko O.A., Korotynskiy A.P., Tsapar V.S. Fedotov V.V. NERAL NETWORK CLASSIFIER OF AUTOMATION DOCUMENT PROCESSING SYSTEMS

The work is aimed at solving the applied problem of developing an automatic system for processing electronic documents, namely one of its parts of the classifier. To solve this problem, it is proposed to use approaches to machine learning and artificial intelligence. Solving this problem under normal conditions is not difficult, but this paper considers the case of limited training sample, which is a common case in the development of systems based on the proposed approaches. The study of initial data on the basis of which the model will be taught and the number of classes to be recognized, the number of representatives in each class and the peculiarities of their presentation. The paper presents approaches, the application of which allows to increase the accuracy of systems of this type, in the conditions of limited initial initial sampling. Among the proposed approaches, the principle of minimizing the parameters in the formation of the architecture of the artificial neural network, data augmentation, pre-training of the artificial neural network by using an autoencoder. The obtained accuracy of 94-95%, after the application of the proposed approaches in contrast to 70% of the original, confirms the possibility of rapid development of similar classifiers of this type, with limited sampling and time minimization, achieving high accuracy.

Key words: neural networks, augmentation, autoencoder, pre – learning, classifier.

Карпович І.М.

Національний університет водного господарства та природокористування

Гладка О.М.

Національний університет водного господарства та природокористування

Калашніков В.І.

Національний університет водного господарства та природокористування

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АНАЛІЗУ РИЗИКІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ЯК СПОСІБ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИТРАТ

Статтю присвячено дослідженню кібербезпеки інформаційних систем підприємств в енергетичному секторі. Сьогодні енергокомпанії централізовано через інформаційні системи здійснюють контроль і управління процесами виробництва, передачі та розподілу електроенергії. Розвиток технологій Smart Grid та розумного обліку ведуть до появи численних нових послуг та сервісів, у тому числі і шляхом залучення споживачів, що кардинально змінює архітектуру систем у бік розподіленої автоматизації та змінює принципи управління, доступу і використання інформаційних систем та породжує якісно нові загрози і ризики.

У роботі запропоновано методику графічного моделювання процесу оцінки ризиків кількісним та якісним методом з використанням діаграм діяльності та обчислення ймовірних втрат від реалізації загрози із врахуванням коефіцієнта руйнування. Для проведення аналізу ризиків необхідно: визначити список і цінність активів (ресурсів), що підлягають захисту; ідентифікувати список загроз інформаційній безпеці, актуальних для даної інформаційної системи; оцінити ймовірність реалізації загроз; визначити вразливість активів та розмір потенційних збитків; виконати оцінку ризиків; запропонувати рішення, яке забезпечує необхідний рівень інформаційної безпеки, забезпечити реалізацію і тестування обраних способів захисту та провести оцінку залишкового ризику.

Детально проаналізовано особливості зовнішніх і внутрішніх загроз та вразливостей об'єктів IT-інфраструктури в енергетичному секторі. Основними загрозами для інформаційних систем автоматизації та управління можна вважати: несанкціоноване використання точок доступу до дистанційного технічного обслуговування; мережеві атаки через корпоративну мережу; атаки на стандартні компоненти, що використовуються в мережі ICS; DDoS-атаки; людська помилка або саботаж; проникнення вірусу через знімний носій чи зовнішні пристрої; несанкціонований доступ до ресурсів; атаки на компоненти мережі; технічні збої або форс-мажор.

Узагальнено перелік заходів щодо управління IT-ризиками та способи планування, здійснення і контролю контрзаходів, спрямованих на захист інформаційних систем.

Ключові слова: аналіз ризику, інформаційна безпека, загрози, мінімізація ризиків, кібербезпека.

Постановка проблеми. Поняття ризику є ключовим поняттям у сфері безпеки взагалі та інформаційної безпеки (ІБ) зокрема [1]. Ризик інформаційної безпеки, з одного боку, об'єднує спектр питань, пов'язаних із загрозами безпеці інформації, включаючи виявлення джерел загроз та вразливостей інформаційних технологій, визначення способів, ймовірності та можливих наслідків реалізації загроз. З іншого боку, ризик інтегрується у процеси техніко-економічного аналізу та прийняття рішень, пов'язаних із забезпеченням ІБ, створенням засобів та організацією системи захисту інформаційних технологій, визначенням її складу, архітектури та конфігурації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблема кібербезпеки стає все більш актуальною через широке впровадження цифрових технологій промисловими системами автоматизації та управління, зокрема, в енергетичному секторі. Сьогодні процеси виробництва, передачі та розподілу електроенергії істотно залежать від інформаційних систем (ІС), включаючи мережі передачі даних. Енергокомпанії централізовано здійснюють контроль та управління, що породжує якісно нові загрози та ризики, оскільки зовсім недавно ці функції виконувались локально та децентралізовано. Розвиток технологій Smart Grid та розумного обліку ведуть до появи численних нових послуг

та сервісів, у тому числі і шляхом залучення споживачів, що кардинально змінює архітектуру систем у бік розподіленої автоматизації та змінює принципи управління, доступу і використання ІС. Іншими словами, за цих умов кіберзлочинці можуть ставити під загрозу нормальне функціонування енергокомпаній не лише використовуючи віддалені атаки на об'єкти ІТ-інфраструктури енергокомпаній, але і шляхом атаки на споживачів. Аналогічна ситуація спостерігається і в електронній комерції [2]. Зростання вразливості таких систем має компенсуватися використанням нових технологій та засобів захисту.

Стандарт [3] вносить важливе розширення в загальну модель ризику, подаючи ймовірність як суперпозицію «загроз» і «вразливостей» (рис. 1). Це дає можливість аналізувати стан ІБ в граничних випадках: які б не були великі загрози, якщо відсутні вразливості, то ймовірність реалізації ризику дорівнює нулю.

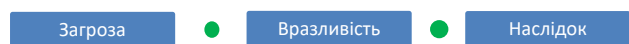


Рис. 1. Загальна модель ризику за стандартом [3]

Формулювання цілей статті. Процес розвитку ризику може бути поданий як послідовний вплив загроз безпеки: на процеси, що протікають в ІС; на результати діяльності як на рівні окремих суб'єктів, так і на рівні сфери діяльності; на процеси управління діяльністю суб'єкта.

На кожній з цих стадій розгортання ризику для його аналізу застосовуються відповідні показники, наприклад: ймовірність виникнення інциденту, показники безпеки інформації (конфіденційність, цілісність, доступність); якість функціонування ІС, можливість виконання інформаційною системою покладених на неї завдань; ймовірність виникнення збитків, можливі збитки суб'єкта від порушення процесу управління його діяльністю.

До характерних особливостей оцінки ризику ІБ належать:

- висока розмірність і пов'язана з цим трудомісткість процесу оцінки, зумовлена великою кількістю потенційних загроз безпеці та вразливості інформаційних технологій, що підлягають захисту;
- необхідність оцінювати ризик на всіх стадіях життєвого циклу інформаційної технології;
- необхідність оцінювати ризик на різних рівнях діяльності з управління інформаційною безпекою, включаючи управління ризиками та аудит ІБ.

Висока розмірність і багаторівневість завдання аналізу ризику зумовлює широке використання

якісних методів його вирішення. Проте якісні методи аналізу не повною мірою відповідають сучасній ситуації в інформаційній сфері, що характеризується високою значимістю інформаційної інфраструктури, інтенсивністю інформаційного протистояння та високими ризиками ІБ.

Побудова системи інформаційної безпеки починається з аналізу ризиків. Тобто, перш ніж проектувати систему ІБ, необхідно визначити, які загрози існують для даної ІС, наскільки вони потенційно небезпечні. Кваліфікований облік існуючих загроз і вразливостей ІС та виконаний на цій основі аналіз ризиків закладають основу для вибору рішень із необхідним рівнем ІБ за мінімальних витрат. Аналіз та управління ризиками застосовується для оцінки загроз, вразливостей та ризиків ІС, а також визначення контрзаходів, які забезпечують достатній рівень захищеності цієї інформаційної системи.

Завданням цієї роботи є застосування кількісних методів аналізу ризику, що базуються, зокрема, на результатах формалізації різноманітних процесів, пов'язаних із забезпеченням ІБ в поєднанні з уніфікованою мовою моделювання UML, яка дозволяє графічно описувати об'єкти, їхню взаємодію, процеси функціонування [4]. При цьому найбільш підходящою для поставленої мети є методологія побудови діаграм діяльності, які забезпечують наочне відображення послідовності етапів оцінки та управління ризиками з використанням відповідних розрахунків.

Виклад основного матеріалу. В наш час використовуються два варіанти підходу до аналізу ризиків – базовий та повний. Вибір залежить від оцінки власниками цінності своїх інформаційних ресурсів та можливих наслідків порушення режиму ІБ. У найпростішому випадку (якщо цінність ресурсів з погляду організації не є надмірно високою) власники інформаційних ресурсів можуть не оцінювати ці параметри. Тоді аналіз ризиків проводиться за спрощеною схемою: розглядається стандартний набір найпоширеніших загроз без оцінки їх ймовірності та забезпечується мінімальний або базовий рівень ІБ.

Повний варіант аналізу ризиків застосовується у випадку підвищених вимог до ІБ. На відміну від базового варіанту, тут у тому чи іншому вигляді оцінюються ресурси, характеристики ризиків та вразливостей. Зазвичай, проводиться аналіз співвідношення вартість/ефективність кількох варіантів захисту. В ІС з підвищеними вимогами до інформаційної безпеки при виконанні повного аналізу ризиків доводиться вирішувати низку

складних проблем, які полягають у тому, щоб визначити цінність ресурсів, скласти повний список загроз та оцінити їх параметри, правильно вибрати ефективні контрзаходи.

Таким чином, для проведення повного аналізу ризиків необхідно: визначити список і цінність активів (ресурсів), що підлягають захисту; ідентифікувати список загроз ІБ, актуальних для даної ІС; оцінити ймовірність реалізації загроз; визначити вразливість активів та розмір потенційних збитків; виконати оцінку ризиків; запропонувати рішення, яке забезпечує необхідний рівень ІБ, забезпечити реалізацію і тестування обраних способів захисту та провести оцінку залишкового ризику. Детальніше ці етапи проаналізуємо нижче.

Діаграма діяльності, що ілюструє основні та допоміжні етапи реалізації кількісного та якісного методів оцінки ризиків інформаційної безпеки, подана на рис. 2.

До заходів щодо управління ІТ-ризиками належать:

- розробка нормативних документів;
- забезпечення фізичної безпеки та безпеки ІС;
- розмежування доступу до ресурсів підприємства;
- контроль за станом корпоративної ІС.

Спочатку визначається об'єкт захисту – проводиться інвентаризація інформаційних активів, оцінюється їх критичність для бізнес-процесів компанії. Потім вирішується, від чого здійснюється захист. Для цього аналізуються властиві системі вразливості, визначається міра їх критичності – ймовірність того, що вони можуть бути реалізовані. На основі цього впроваджуються контрзаходи, аналізуються їх результативність і приймається рішення – оптимізувати або залишати працювати.

Щоб своєчасно вносити відповідні корективи, необхідно відстежувати зміни, що відбуваються як в ІС, так і в навколишньому середовищі. Застосування системи заходів захисту, що дозволяють забезпечити прийнятну для організації величину ризику дає можливість мінімізувати або попередити можливі ризики.

Ризик, як відомо, характеризує небезпеку, на яку може наражатися система та організація, що її використовує. Ступінь ризику залежить від цінності активів (ресурсів); імовірності реалізації загроз; простоти використання вразливості для реалізації загроз; існуючих або запланованих до впровадження засобів забезпечення ІБ, які зменшують кількість вразливостей, ймовірність виникнення загроз та можливість негативних впливів.

Приклад класифікації ресурсів та їх вартісна оцінка наведені на рис. 3.

Для кожного класу використовується своя методика визначення цінності елементів, що допомагає

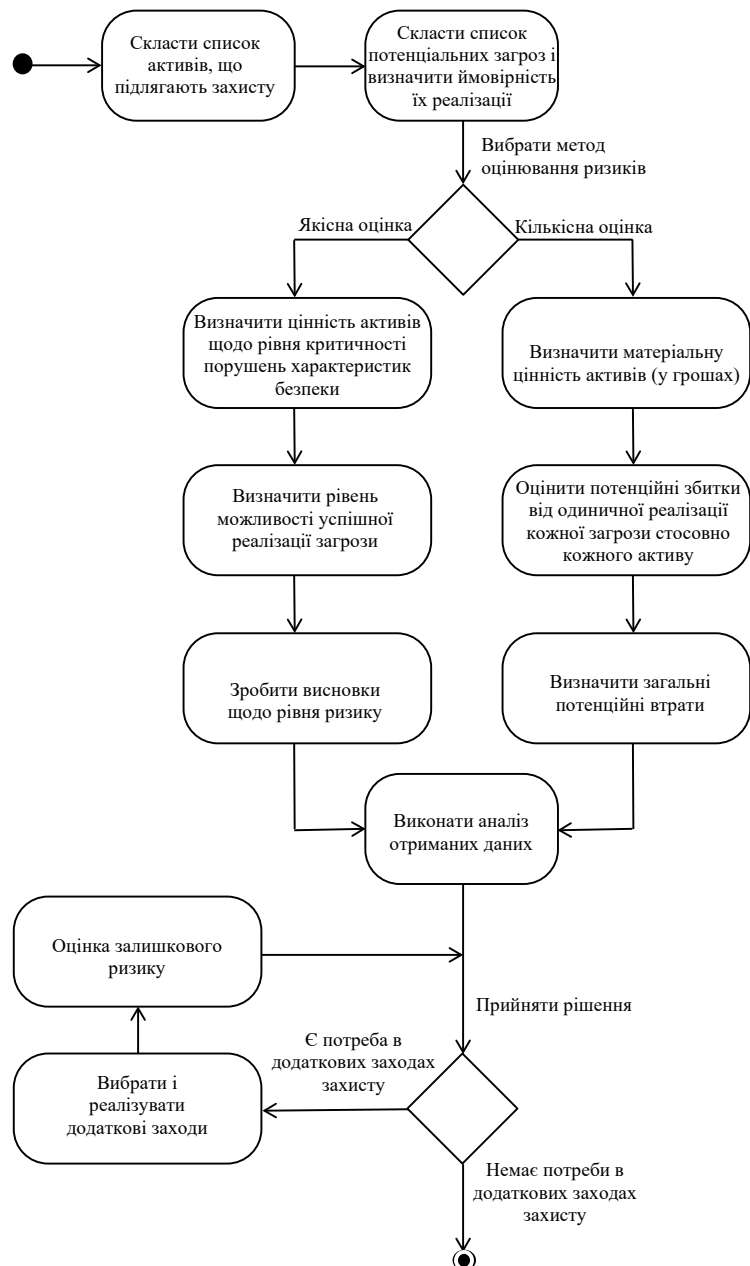


Рис. 2. Діаграма діяльності процесів аналізу ризиків інформаційної безпеки

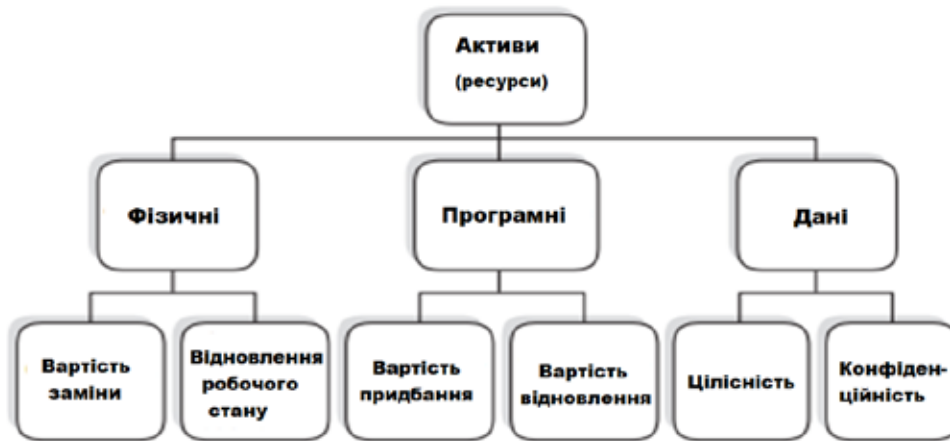


Рис. 3. Класифікація і визначення цінності активів

вибрати відповідний набір критеріїв. Ці критерії служать для опису потенційної шкоди, пов'язаної з порушенням конфіденційності та цілісності ІС, рівня її доступності. Фізичні ресурси оцінюються за вартістю їх заміни або відновлення їх працездатності. Якісні оцінки вартісних величин потім перетворюються на рангову шкалу, яка може використовуватися і для оцінок інформаційних ресурсів. Програмні ресурси оцінюються тим же способом, що і фізичні, з урахуванням визначення витрат на їх придбання чи відновлення.

Крім критеріїв, що враховують фінансові втрати, комерційні організації можуть застосовувати критерії, що відображають збитки репутації організації; неприємності, пов'язані з порушенням чинного законодавства; збитки для здоров'я персоналу; фінансові втрати від розголошення інформації; втрати, пов'язані з відновленням ресурсів; збитки від дезорганізації діяльності. Процес оцінювання втрат за наведеними критеріями часто має суб'єктивний характер. Крім того, можуть використовуватись і інші критерії в залежності від основної діяльності організації.

Десятки методів, рекомендовані для підтримки процесу оцінки ризику, мають різну застосовність та ефективність на різних стадіях: ідентифікації ризиків, аналізу наслідків, аналізу імовірнісних характеристик, порівняльних оцінок та рівня ризику. Зокрема, для побудови моделі загроз на початковому етапі ідентифікації небезпек та ризику для людей, обладнання, навколишнього середовища успішно використовують методологію дослідження небезпеки та працездатності HAZOP (Hazard and Operability Study). Основна мета цього та схожих методів полягає у систематичній перевірці наявності небезпек. Якщо небезпеки виявлено, такі методи допомагають

зрозуміти, як ці небезпеки можуть призвести до негативних наслідків і як цих наслідків можна уникнути шляхом внесення змін до процесу.

Для планування заходів із захисту інформаційних ресурсів вирішальне значення має розуміння видів загроз. Серед основних загроз для інформаційних систем автоматизації та управління, вміщених у рекомендаціях [5], відмітимо наступні: несанкціоноване використання точок доступу до дистанційного технічного обслуговування; мережеві атаки через корпоративну мережу; атаки на стандартні компоненти, що використовуються в мережі ІС; DDoS-атаки; людська помилка або саботаж; проникнення вірусу через знімний носій чи зовнішні пристрої; несанкціонований доступ до ресурсів; атаки на компоненти мережі; технічні збої або форс-мажор.

У загальному випадку, успіх реалізації загрози залежить від мотивації і досвіду порушника, наявного ресурсу, інформованості, часу. Виходячи з цього, можна побудувати орієнтовний перелік характеристик порушників, використовуючи наступну типізацію:

- «Хакер-аматор» – приватна особа, яка намагається знайти можливості та способи зламування технологічних та SCADA-систем, що мають інтерфейси в Інтернеті, за допомогою відомих уразливостей, знайдених з використанням, наприклад, пошукової системи «Shodan»;
- «Інсайдер» (у тому числі, «без злого наміру») – незадоволений співробітник або обслуговуюча персона власної чи сторонніх організацій (постачальники, партнери, налагоджувачі), що має права доступу і знає тонкощі експлуатації систем та способи зберігання конфіденційних даних;
- "Ворог" – злочинні угруповання та іноземні уряди (Cyber Espionage, Cyber Crime, Cyber Activism, Cyber Terrorism, Cyber War тощо).

На практиці поведінка хакерів-аматорів успішно описується мовою ймовірностей, оскільки існує значна кількість статистичних даних щодо частоти та способів таких атак. Тут досить ефективним захистом є відомі спеціалізовані програмні та технічні засоби. Заходи захисту від цієї категорії порушників мають плануватися та виконуватися насамперед.

Інсайдер – найскладніший у моделюванні та нейтралізації тип порушника. Ризики, пов'язані з цим видом порушень, часто недооцінюються. Компенсаційні міри обов'язково повинні включати комплекс організаційно-технічних заходів. Для роботи із внутрішніми порушниками повинні розглядатися і аналізуватися різні типізовані образи, такі як «недбалий», «маніпульований», «ображений», «нелояльний», «впроваджений». Статистичні дані [6], що ілюструють мотивацію внутрішніх порушників, показано на рис. 4. Їх можна використовувати як початкове наближення для формування оцінок та планування заходів щодо профілактики.

Останній із перелічених тип порушника вимагає найскладніших та найдорожчих заходів захисту, які непосильні окремій компанії. В цьому випадку необхідно звернутися за допомогою до компетентних державних органів. Таке звернення повинно бути своєчасним та обґрунтованим, а для подальшого розшуку та покарання винних надана доказова база. З цією метою технічними та організаційними засобами має бути забезпечене виявлення атак, моніторинг стану та надійне ведення журналів подій.

Метою аналізу ризиків, пов'язаних з експлуатацією ІС, є оцінка загроз, тобто умов та факторів, які можуть спричинити порушення цілісності системи, її конфіденційності чи полегшити несанкціонований доступ до неї, та вразливостей – слабких місць у захисті, які роблять можливою реалізацію загрози, а також визначення комплексу контрзаходів, що забезпечує достатній рівень захищеності ІС. Під час оцінювання ризиків враховується ряд факторів: цінність ресурсів, значущість загроз, вразливостей, ефективність наявних та планованих засобів захисту та ін.

Ймовірні втрати від реалізації окремої загрози можна обчислити за методикою, детально описаною раніше в роботі [7], з допомогою формули розрахунку вартості ризику:

$$R_i = \sum_{k=1}^{k1} \omega_i p_i d_i c(a_k),$$

де $k1$ – кількість активів, на які спрямована загроза $t_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$; ω_i – частота виникнення загрози t_i ; p_i – ймовірність реалізації загрози t_i , наприклад, внаслідок успішного використання деякої вразливості; A_i – набір активів, на які спрямована загроза t_i ; $c(a_k)$ – вартість активу $a_k \in A_i$. Коефіцієнт пошкодження (руйнування) $d_i \in [0, 1]$, що виражає міру руйнівної дії загрози t_i на актив чи активи, може служити критерієм відбору (селектором) тих активів, на які поширюється руйнівна дія загрози t_i .

Процес управління ризиком спрямовано на визначення подій, які можуть вплинути на органі-

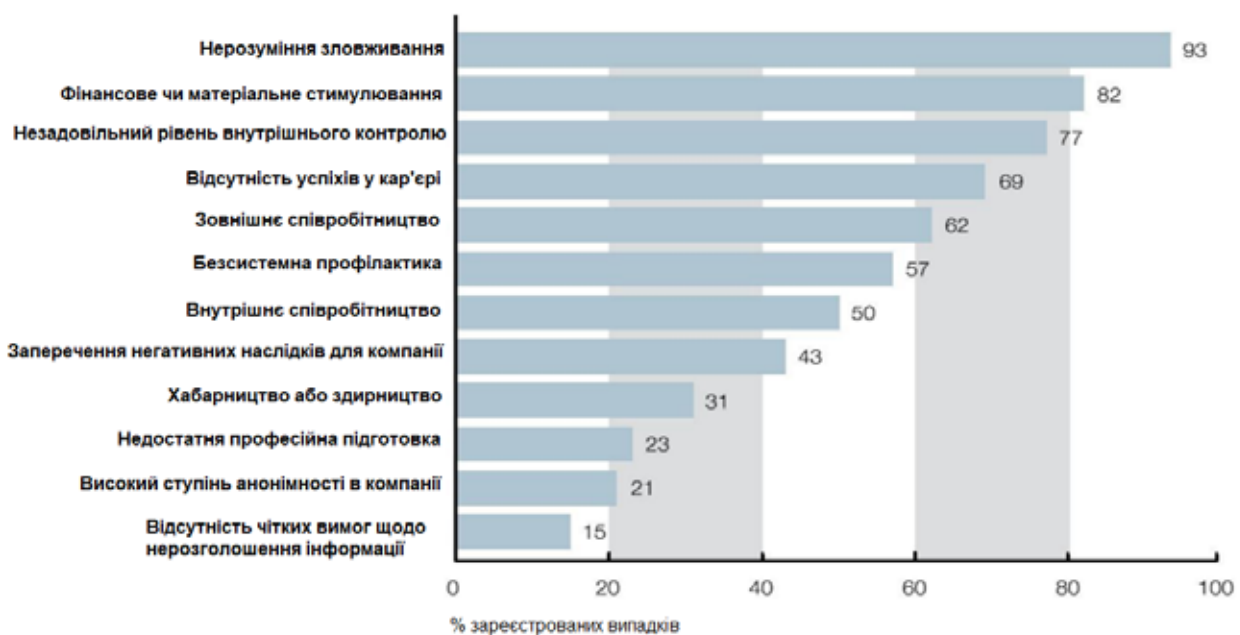


Рис. 4. Мотивація внутрішніх порушників

зацію. При цьому забезпечується контроль допустимого рівня ризику за розумної гарантії досягнення цілей організації. Управління ризиками являє собою неперервний процес, що охоплює всю організацію і здійснюється співробітниками на всіх рівнях.

Планування технічних та організаційних заходів щодо забезпечення ІБ вимагає розв'язання оптимізаційного завдання мінімізації витрат за максимального зниження ризиків. Недопущення критичних ризиків є важливою граничною умовою. У бізнесі неможливо компенсувати всі ризики, оскільки це зробить продукцію фірми та послуги неконкурентноздатними, тому якісь із них необхідно свідомо прийняти. Допустиме навіть прийняття частини критичних ризиків. Головне – не допустити катастрофічних ризиків, за яких виникає загроза втрати бізнесу або пряма небезпека для життя людей.

Висновки. Доцільність та точність визначення необхідності додаткових витрат на заходи щодо забезпечення кібербезпеки залежать від адекватності моделі загроз та правильності розрахунку ризиків. Поняття ризику належить до складних категорій, але в практичному сенсі, ризик – це ймовірність, помножена на наслідки. У нашому випадку, коли йдеться про кіберзагрози, обидві ці складові невідомі або можуть бути оцінені лише приблизно. У частині оцінки ймовірності не можна покладатися на статистику, адже надійної статистики стосовно конкретних систем не існує через ряд об'єктивних і суб'єктивних причин [6]: не всі інциденти фіксуються, а тим більше потрапляють у відкриті звіти; не завжди є можливість достовірно визначити зв'язок технологічних збоїв з діями хакерів; потенційно небезпечні атаки реалізуються рідко або взагалі поки що не були зафік-

совані; ймовірність успішної атаки пропорційна мотивації та ресурсу порушника.

Щодо оцінки збитків, то тут ситуація ще складніша. Зокрема, усі енергетичні об'єкти є складними системами, тому порушення функціонування будь-якого елемента закономірно впливає на інші елементи. Через відсутність інформації про способи та види майбутніх атак, міру впливу на інші елементи передбачити складно. Ще більше ускладнює оцінку той факт, що в енергетичному секторі збої можуть спричинити каскадний ефект (або ефект доміно), коли проблеми в одній підсистемі негайно або з невеликою затримкою призводять до збою залежних підсистем.

На основі аналізу ризиків, уразливостей, зловмисників та загроз виконується планування, здійснення та контроль контрзаходів, спрямованих на захист ІС, зокрема, з використанням сучасних методів цифрового обміну даними в умовах сильних перешкод [8]. Детальний перелік заходів щодо забезпечення кібербезпеки підприємства наведений в роботі [9]. Серед них:

- системне адміністрування (SA); мережна безпека (NS); безпека програм (AS); безпека робочих станцій, серверів та пристроїв (ESDS);
- ідентифікація, автентифікація та керування доступом (IAAM);
- захист даних та криптографія (DPC); реагування на інциденти (IP);
- моніторинг, управління виправленнями (MVPM);
- аварійне відновлення та фізичний захист (HADRPP);
- управління активами та управління ланцюгами постачання (AMSC);
- політики безпеки, аудит та навчання персоналу (PAET).

Список літератури:

1. Мохор В., Бакалинський О., Цуркан В. Аналіз способів представлення оцінок ризиків інформаційної безпеки. *Information Technology and Security*. Vol. 6, iss. 1, 2018. P. 75-84. DOI: 10.20535/2411-1031.2018.6.1.153189
2. Карпович І. М., Гладка О. М., Бур'ян Д. Т. Сучасні технології оцінки ризиків інформаційної безпеки в електронній комерції. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. Вінниця: ВНТУ, 2022. № 3(55).
3. ISO/IEC 27032:2012(E). Information technology — Security techniques — Guidelines for cybersecurity. 2012.
4. Martin Fowler. UML Distilled: A Brief Guide to the Standard Object Modeling Language. Third Edition. 2005.
5. Good Practices Guide on Non-Nuclear Critical Energy Infrastructure Protection (NNCEIP) from Terrorist Attacks Focusing on Threats Emanating from Cyberspace. OSCE. 2013.
6. SiFo-Studie 2009/10. Know-how-Schutz in Baden-Württemberg. Steinbeis-Edition Stuttgart, 2010. p.70.
7. Карпович І., Гладка О., Бухало Ю. Технології моделювання і оцінки ризиків інформаційної безпеки. *Технічні науки та технології*. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2021. № 1(23). с. 62-68.

8. Lazarovych, I., Kozlenko, M., Kuz, M., ... Savka, I., Pikuliak, M. Software Implemented Enhanced Efficiency BPSK Demodulator Based on Perceptron Model with Randomization. *IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON*. Proceedings, 2021, стр. 221–225. DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575458

9. Scott Donaldson, Stan Siegel, Chris Williams, Abdul Aslam. *Enterprise Cybersecurity: How to Build a Successful Cyberdefense Program Against Advanced Threats*. Apress, 2015. 262 p.

Karpovich I.M., Hladka O.M., Kalashnikov V.I. MODELING OF INFORMATION SECURITY RISK ANALYSIS PROCESSES AS A WAY OF COST OPTIMIZATION

The paper is devoted to the study of cyber security of information systems at an enterprise in the energy industry. Today, energy companies centrally control and manage the production, transmission and distribution of electricity through information systems. The development of Smart Grid technologies and smart accounting lead to the emergence of numerous new services, including through the involvement of consumers, which radically changes the architecture of systems towards distributed automation and changes the principles of management, access and use of information systems and generates qualitatively new threats and risks.

The paper proposes a technique for graphical modeling of the process of risk assessment by a quantitative and qualitative method using activity diagrams and calculation of probable losses from the realization of the threat, taking into account the destruction coefficient. To conduct a risk analysis, it is necessary to: determine the list and value of assets (resources) to be protected; identify a list of threats to information security relevant for this information system; assess the likelihood of threats being realized; determine the vulnerability of assets and the size of potential losses; carry out a risk assessment; to propose a solution that ensures the necessary level of information security, to ensure the implementation and testing of the selected protection methods and to carry out an assessment of the residual risk.

The peculiarities of external and internal threats and vulnerabilities of IT infrastructure objects in the energy sector are analyzed in detail. The main threats to information systems of automation and control can be considered: unauthorized use of access points for remote maintenance; network attacks through the corporate network; attacks on standard components used in the ICS network; DDoS attacks; human error or sabotage; virus penetration through removable media or external devices; unauthorized access to resources; attacks on network components; technical failures or force majeure.

We summarized the list of IT risk management measures and methods of planning, implementation and control of countermeasures aimed at protecting information systems.

Key words: risk analysis, informational security, threats, risk minimization, cyber security.

Кириичук Д.Л.

Херсонський національний технічний університет

Болотін О.А.

Херсонський національний технічний університет

Ляшенко О.М.

Херсонський національний технічний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ЯКОСТІ АНАЛОГОВИХ ТА ЦИФРОВИХ ТРАКТІВ ЗВУКОВОЇ АПАРАТУРИ

У роботі розроблено програмний додаток для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури.

До основних функціональних можливостей програмного додатку можна від ести: побудову амплітудно-частотних характеристик, фазочастотних показників, перехідних показників, групового часу затримки, залежності нелінійних спотворень від частоти, вимірювання частотної характеристики сигналу збудження у вигляді ступінчастої синусоїди з високим динамічним діапазоном та високою стійкістю до перешкод, оцінку гармонічних спотворень 2, 3, 4, 5 та вищого порядку.

В роботі запропоновано архітектуру програмного додатку.

Програмний модуль «Системні бібліотеки» використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: `gdi32.dll`, `user32.dll`, `kernel32.dll`, `comctl32.dll`, `comdlg32`, `ole32.dll`.

Програмний модуль «Sources» має у складі такі модулі: головний модуль програми `main.c`, модуль обробки даних `data.c`, модуль відображення інформації `form.c`, модуль обробки даних `four.c`, модуль роботи із аудіо файлами `wav.c`.

Модуль `main` створено для запуску головної програми та обробки повідомлень від миші, клавіатури та внутрішніх дій. Він описує дві головні функції програмного додатку: оброблювач повідомлень та головна функція – точка запуску програми.

Модуль `wav` створено для роботи із звуковими файлами у форматі RIFF WAVE.

Модуль `form` створено для опису дій з відображення інформації на формі. В модулі описано функції: ініціалізації форми, оновлення зображення на формі, створення буферного зображення, ініціалізації форми відкриття файлу та ін.

Модуль `four` створено для реалізацій методів обробки даних. В модулі описано функції: виділення та звільнення пам'яті під масиви чисел `trf` бібліотеки `gtr`, перетворення даних із комплексного виду у амплітуду `dB` для відображення, реалізовані функції обробки масивів `trf` даних: обчислення вікна Хана та аналізу Фур'є. Також в модулі реалізовано функції для обчислення синуса та косинуса заданого кута.

Для розробки програмного додатку було обрано крос-платформне середовище розробки `Code::Blocks` та мову програмування `C`.

Ключові слова: цифровий тракт, звукова апаратура, програмний додаток, аналіз Фур'є, вікно Хана.

Постановка проблеми. Цифровий тракт – це комплекс технічних засобів, призначений для передачі цифрових сигналів нормалізованого числа цифрових каналів зі швидкістю передачі, властивою даному тракту передачі [1].

Звукові карти здійснюють перетворення звуку з аналогової форми в цифрову.

Основні характеристики звукових карт [1]: набір вхідних і вихідних інтерфейсів, кількість вихідних звукових каналів, характеристики мікшера, коефіцієнти THD і SNR, частота дискретизації аналогового сиг-

налу, розрядність алфавітно-цифрового і цифро-алфавітного перетворювачів, метод (методи) синтезу звуку, ємність пам'яті для зберігання пагчів, підтримка поліфонії і звукових ефектів, тип підключення.

Коефіцієнт THD (Total Harmonic Distortion – загальне гармонічне спотворення) – інтегральний показник, що характеризує нелінійні спотворення. Через нелінійність звукового тракту під час подавання суто синусоїдного сигналу (для вимірювання використовують частоту 1 кГц) на виході виникають додаткові частоти (гармоніки) сигналу [1].

Коефіцієнт SNR (Signal/Noise Ratio – відношення сигнал/шум), який вимірюють у децибелах, показує перевищення рівня сигналу над рівнем шуму (найчутливіші на слух шуми на середніх частотах звукового діапазону). Звукові карти зазвичай мають значення SNR у діапазоні 60...100 дБ [1].

Розроблений програмний додаток є потужним аналізатором сигналів у режимі реального часу, до основних функціональних можливостей якого можна віднести побудову амплітудно-частотних характеристик, фазочастотних показників, перехідних показників, групового часу затримки, залежності нелінійних спотворень від частоти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У роботі [2] здійснено аналіз методів вимірювання амплітудно-частотної характеристики каналів передавання звукової інформації, визначено переваги і недоліки відомих методів вимірювання. Запропонований новий метод вимірювань, який дозволяє швидко отримати крім АЧХ каналу передавання інформації й інші важливі параметри, зокрема, груповий час затримки, коефіцієнт нелінійних спотворень та інші. Показано прилад АПЗТ-02, побудований на запропонованому методі вимірювань параметрів звукових трактів, а також наведено його параметри. Представлено графіки АЧХ, які отримано із використання запропонованого методу.

У роботі [3] проведений аналіз принципів роботи синтезаторів прямого цифрового синтезу та непрямого синтезу сітки частот. Запропоновано схемотехнічні рішення щодо використання синтезаторів у приймальному тракці цифрових приймачів. Проведено аналіз можливостей використання сучасної елементної бази синтезаторів для формування опорних та квадратурних сигналів в тракці приймачів. Наведено аналітичні залежності для опису методів синтезу сітки частот, визначено чинники, які впливають на показники розглянутих методів синтезу. Описано можливості використання синтезаторів гібридного синтезу, в якому поєднано прямий цифровий синтез та непрямий аналоговий синтез сітки частот. Засобами імітаційного моделювання Matlab-Simulink досліджено контрольні сигнали в імітаційній схемі синтезатора непрямого синтезу та спектральний склад квадратурних сигналів на виході генератора з числовим програмним керуванням.

У роботі [4] проведено оцінку якості звуку (мовлення та аудіо) за допомогою структури, що заснована на рекомендаціях International Telecommunication Union (ITU). Методи, що вико-

ристовувалися в роботі [4], включали P.800 (опи-сує шкалу MOS), P.862 (PESQ), P.862.2 (W-PESQ) і P.563 для мови та BS.1116, BS.1534 і BS.1387 (PEAQ) для загальних аудіосигналів.

Також в роботі [4] було проведено експерименти, щоб проілюструвати рекомендовану методологію для порівняння об'єктивних і суб'єктивних методів оцінювання з метою перевірки різних реалізацій даного методу.

У роботі [5] запропоновано нову структуру для оцінки якості звуку для пошуку живої музики в мережі Інтернет.

Також в роботі [5] було оцінено три LTR моделі з різними наборами аудіо функцій з точки зору продуктивності в рейтингу на основі різних аспектів якості аудіо. Експериментальні результати показали, що запропоновані підходи в роботі [5] можуть ефективно ранжувати записи живої музики за якістю звуку.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розроблення програмного забезпечення для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури.

Виклад основного матеріалу.

Програмний додаток призначено для вимірювання імпульсів, він є потужним аналізатором сигналів у режимі реального часу.

До основних функціональних можливостей програмного додатку можна віднести такі:

1. Побудова амплітудно-частотних характеристик (АХЧ), фазо-частотних показників, перехідних показників, групового часу затримки, залежності нелінійних спотворень від частоти.

2. Вимірювання частотної характеристики сигналу збудження у вигляді ступінчастої синусоїди з високим динамічним діапазоном та високою стійкістю до перешкод. Одночасно виконується оцінка гармонічних спотворень 2, 3, 4, 5 та вищого порядку.

3. Вимірювання імпедансу низько- та середньо частотних динаміків.

У програмному додатку також здійснюється вимір таких значень: напруга на виході підсилювача, кількість фрагментів на період тестового сигналу, частота дискретизації, тип періодичного шумового сигналу, рівень тестового сигналу, частота зрізу, вимірювальний канал, кількість вимірювань для методу усереднення імпульсної характеристики та багато іншого.

Для графіків АЧХ є опції, що дозволяють змінювати ступінь згладжування та використовувати для побудови два часові вікна. Присутня функція калібрування вимірювального комплексу, а також одно- та двоканальний аналізатор Фур'є.

Діаграму варіантів використання програмного продукту подано на рис. 1.

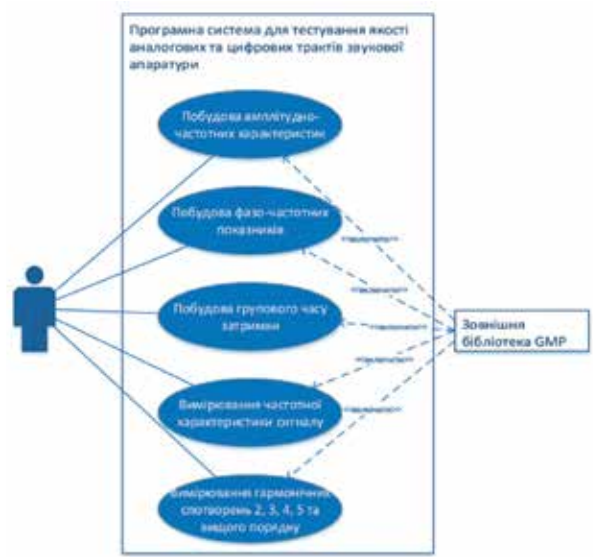


Рис. 1. Діаграма варіантів використання

Архітектуру програмного додатку для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури подано на рис. 2.

Програмний модуль «Системні бібліотеки» використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll, comdlg32, ole32.dll.

Програмний модуль «Програмні бібліотеки» використовує бібліотеку GMP [8-12].

Програмний модуль «Sources» має у складі такі модулі:

1. Головний модуль програми main.c.
2. Модуль обробки даних data.c.
3. Модуль відображення інформації form.c.
4. Модуль обробки даних four.c.
5. Модуль роботи із аудіо файлами wav.c.

Модуль main.c описує основні функції діалогового вікна та оброблювачі подій вікна.

Модуль data.c включає такий перелік бібліотек (рис. 3): <string.h>, <stdio.h>, <math.h>, <windows.h>.

Модуль form.c включає такий перелік бібліотек (рис. 4): <windows.h>, <wingdi.h>, <commdlg.h>, <tchar.h>, <stdio.h>, <math.h>.

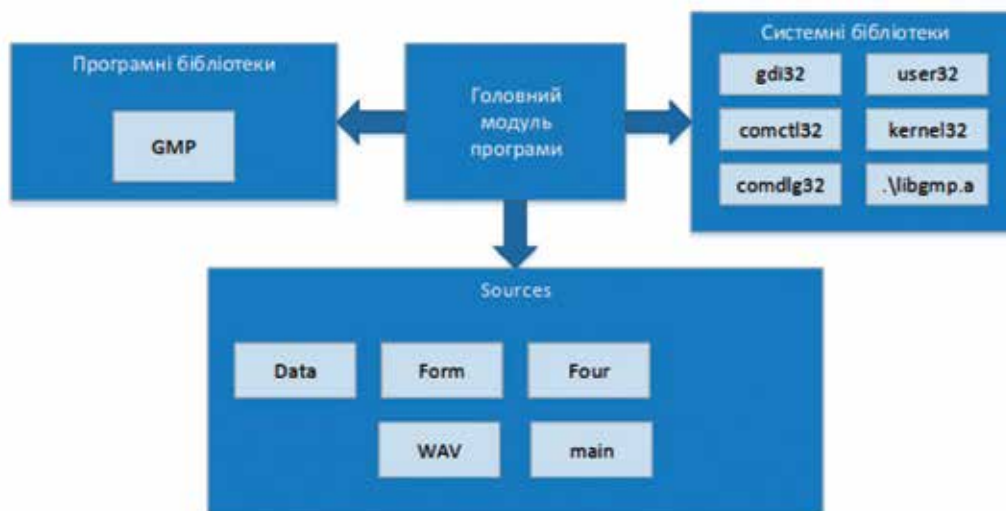


Рис. 2. Архітектура програмного додатку

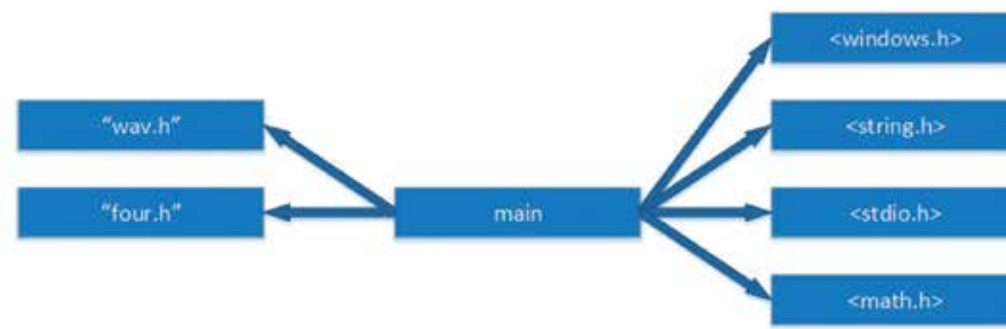


Рис. 3. Бібліотеки модуля data

Модуль four.c включає такий перелік бібліотек (рис. 5): <math.h>, <stdio.h>, <malloc.h>, <stdlib.h>, <string.h>.

Модуль wav.c включає такий перелік бібліотек (рис. 6): <stdint.h>, <stdio.h>.

Модульну структуру програмного додатку подано на рис. 7.

Модуль Wav (файл Wav.h – опис модуля, реалізація класу в файлі Wav.c) створено для роботи із звуковими файлами у форматі RIFF WAVE. Описані функції для відкриття PCM аудіо файлу із стерео інформацією у форматах 16/24/32 біта та створення заголовка аудіо файлу.

Модуль main (файл із реалізацією main.c) створено для запуску головної програми та обробки повідомлень від миші, клавіатури та внутрішніх дій. Описує дві головні функції оброблювача повідомлень, та головну функцію – точку запуску програми.

Модуль form (файл form.h – опис модуля, реалізація функцій в файлі form.c) створено для опису дій з відображення інформації на формі. Описані функції: ініціалізації форми, оновлення зображення на формі, створення буферного зображення, ініціалізації форми відкриття файлу та ін.

Модуль four (файл four.h – опис модуля, реалізації

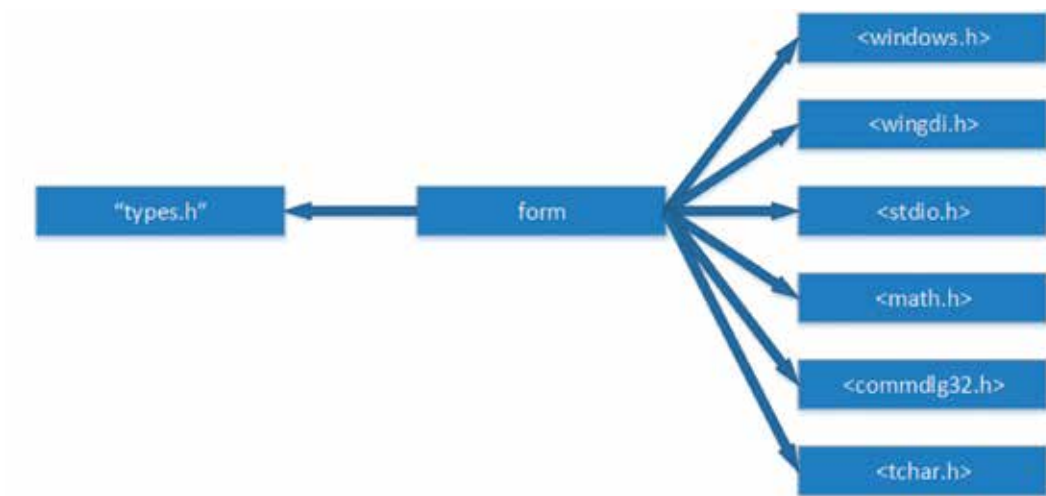


Рис. 4. Бібліотеки модуля form

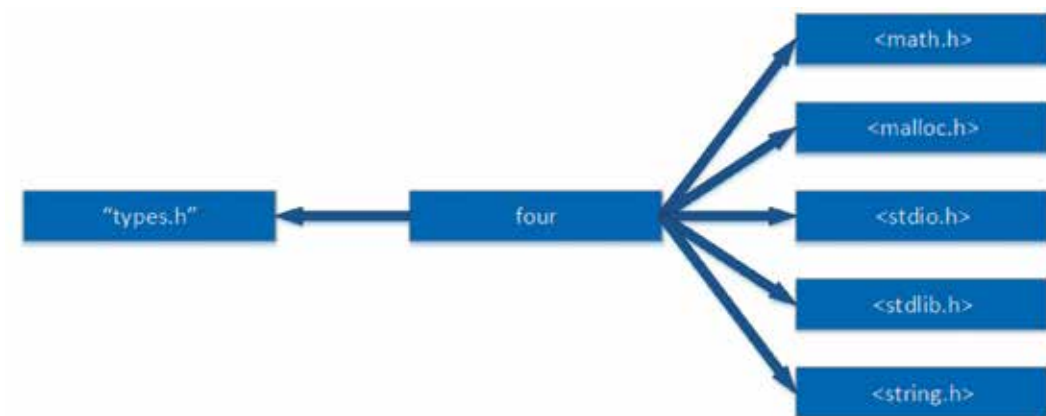


Рис. 5. Бібліотеки модуля four.c



Рис. 6. Бібліотеки модуля wav.c

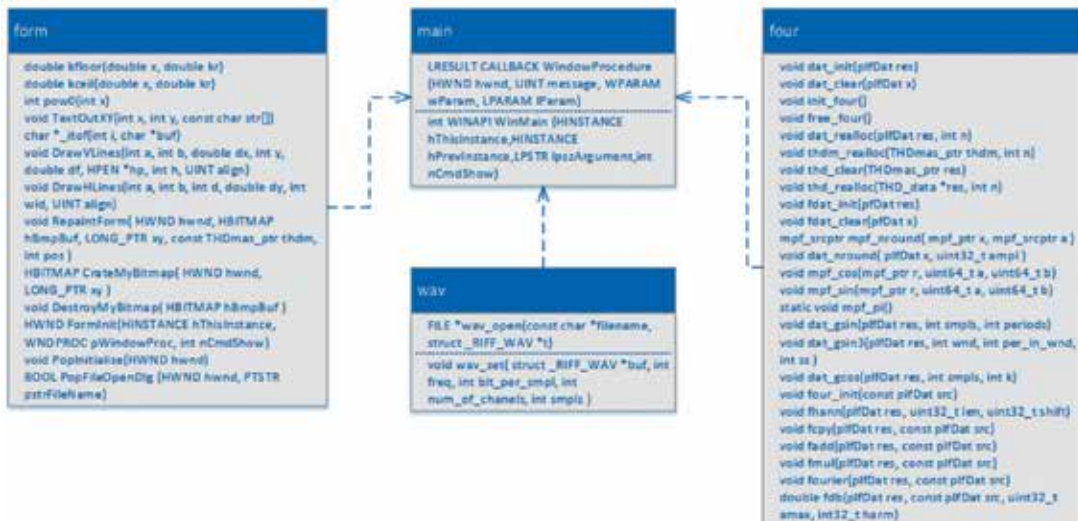


Рис. 7. Модульна структура програмного додатку

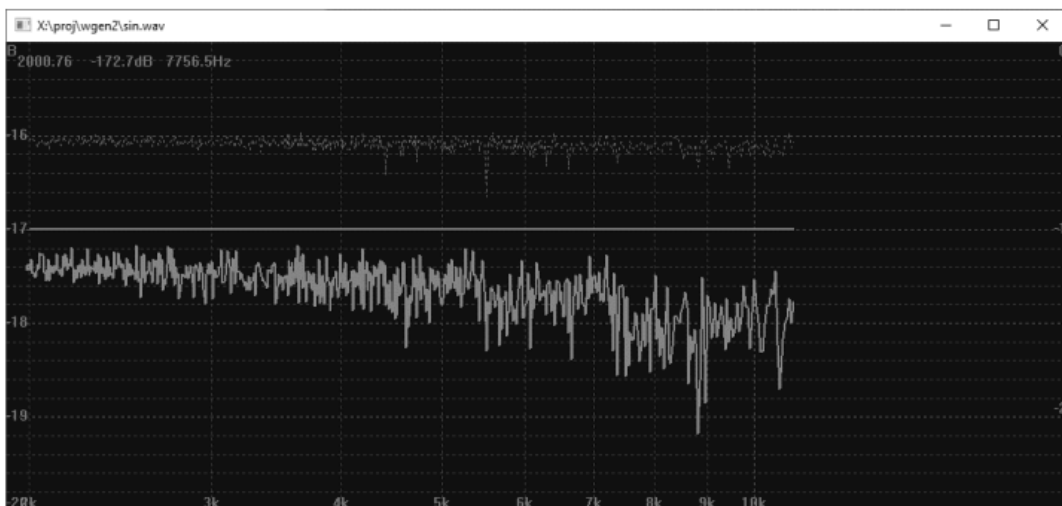


Рис. 8. Аналіз файлу

функцій в файлі four.c) створено для реалізацій методів обробки даних. Описані функції: виділення та звільнення пам'яті під масиви чисел mpf бібліотеки gmp, перетворення даних із комплексного виду в амплітуду dB для відображення, реалізовані функції обробки масивів mpf даних: множення, додавання, копіювання, обчислення вікна Хана та аналізу Фур'є. Також реалізовані функції для обчислення синуса та косинуса заданого кута.

Після запуску програми треба завантажити тестовий файл (функціональна клавіша F3) із сигналом, особливістю такого файлу є наявність конфігураційного файлу із аналогічним ім'ям *.cfg, який зберігає налаштування і очікувану інформацію.

Також можна зберегти (функціональна клавіша F2) тестовий файл. Налаштування визначаються через параметри командного рядка. При-

клад ідеального результату, який відразу оброблений програмою подано на рис. 8.

На рис. 8 можна відмітити високу добротність (якість) результату із помилками THD на рівні -170 dB, яка обмежена розрядністю 24 біта та додатковим мультисемплінгом.

На рис. 9 подано результат роботи програми на реальному обладнанні Asus Xonar U7.

На рис. 9 можна помітити, що якість системи виявилась набагато гіршою від ідеального випадку, тепер якість збільшується і залежить від частоти сигналу.

Наприклад, на частоті 4 kHz маємо якість на рівні -85 dB. Для порівняння в професійній техніці рівень -100 dB, хоча ця оцінка зазвичай відбувається на частоті 1 kHz.

На рис. 10 подано результати для 1 kHz, що становить -97 dB.

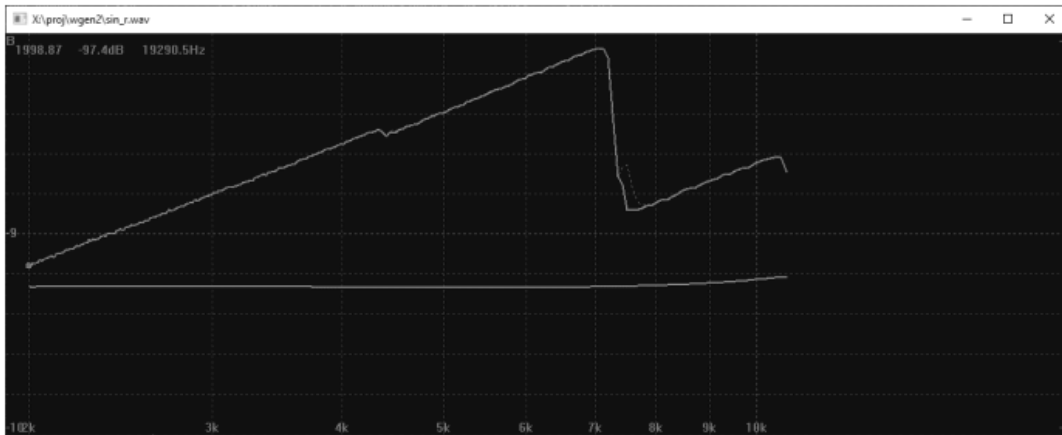


Рис. 9. Аналіз файлу на обладнанні Asus Xonar U7

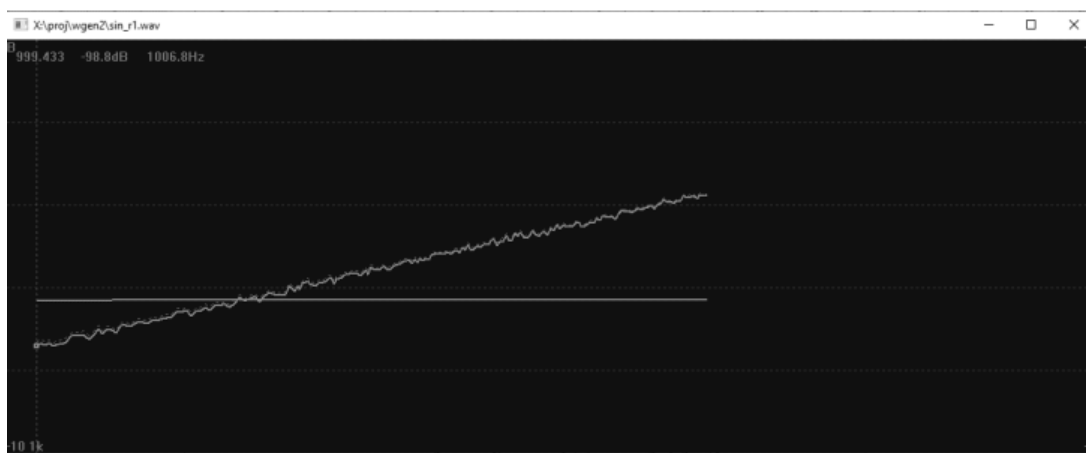


Рис. 10. Додаткова інформація. Результати для 1 kHz

Висновки. В роботі розроблено програмний додаток для тестування якості аналогових та цифрових трактів звукової апаратури. Розроблено архітектуру програмного додатку.

Програмний додаток використовує бібліотечні функції та залежить від наступних системних бібліотек: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll,

comdlg32.dll та додаткової бібліотеки роботи із довгою арифметикою із плаваючою крапкою libgmp.a. Також при розробці програмного додатку були використані бібліотечні модулі: windows.h, tchar.h, stdio.h та math.h.

Для розробки програмного додатку було обрано крос-платформне середовище розробки IDE Code::Blocks та мову програмування C.

Список літератури:

1. Авдєєнко Г.Л. Конспект лекцій з кредитного модулю «технології радіо та телевізійного мовлення». Частина 1 «Технології радіомовлення». URL:https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42577/24/TRTM_Konspekt_Part_1.pdf (дата звернення 19.09.22).
2. Азаров О.Д., Гарнага В.А., Крупельницький Л.В., Позняк Д.Ю. Полігармонійні методи вимірювання частотних характеристик звукових каналів і трактів. Міжнародний науково-технічний журнал «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». 2015. № 2. С. 23-29.
3. Бойко Ю.М., Стецюк В.І. Схемотехнічні особливості використання синтезаторів частот в приймальному тракті цифрових приймачів. Вісник Хмельницького національного університету. 2013. № 5. С. 219-231.
4. A. A. de Lima, F. P. Freeland, R. A. de Jesus, B. C. Bispo, L. W. P. Biscainho, S. L. Netto, A. Said, A. Kalker, R. Schafer, B. Lee, and M. Jam. On the quality assessment of sound signals. In Proc. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2008. pp. 416–419. DOI:10.1109/ISCAS.2008.4541443
5. Zhonghua Li, Ju-Chiang Wang, Jingli Cai, Zhiyan Duan, Hsin-Min Wang, Ye Wang. Non-Reference Audio Quality Assessment for Online Live Music Recordings. *Proceedings of the 21st ACM international conference on Multimedia*, 2013. DOI:10.1145/2502081.2502106

Kyryichuk D.L., Bolotin O.A., Liashenko O.M. DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR TESTING THE QUALITY OF ANALOG AND DIGITAL PATHS OF SOUND EQUIPMENT

A software application for testing the quality of analog and digital paths of sound equipment is developed in the work.

The main functional capabilities of the software application include: construction of amplitude-frequency characteristics, phase-frequency indicators, transient indicators, group delay time, dependence of nonlinear distortions on frequency, measurement of the frequency response of the excitation signal in the form of a stepped sine wave with a high dynamic range and high resistance to interference, estimation of harmonic distortions of 2nd, 3rd, 4th, 5th and higher order.

The architecture of the software application is proposed in the work.

The System Libraries software module uses library functions and depends on the following system libraries: gdi32.dll, user32.dll, kernel32.dll, comctl32.dll, comdlg32, ole32.dll.

The "Sources" software module includes the following modules: main program module main.c, data processing module data.c, information display module form.c, data processing module four.c, module for working with audio files wav.c.

The main module is designed to run the main program and handle messages from the mouse, keyboard, and internal actions. It describes the two main functions of a software application: the message handler and the main function – the application launch point.

The wav module is designed to work with sound files in RIFF WAVE format.

The form module was created to describe actions for displaying information on a form. The module describes the following functions: form initialization, updating the image on the form, creating a buffer image, initializing the file opening form, etc.

Module four was created for implementations of data processing methods. The module describes functions: allocating and freeing memory for arrays of mpf numbers of the gmp library, converting data from a complex form into dB amplitude for display, implemented functions for processing mpf data arrays: calculating the Hahn window and Fourier analysis.

The module also implements functions for calculating the sine and cosine of a given angle.

The Code::Blocks cross-platform development environment and the C programming language were chosen for the development of the software application.

Key words: *digital path, sound equipment, software application, Fourier analysis, Hahn window.*

Кондратець В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Мацуї А.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Артюхов А.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ РАДІОПЕРЕДАВАЧА ІНФОРМАЦІЇ З ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО ОБЕРТОВОГО БАРАБАННОГО ОБ'ЄКТА МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

В промисловості широке розповсюдження отримали обертові об'єкти, з яких виникає необхідність передавати корисні сигнали на їх нерухомі частини. Передачу корисних сигналів з обертових об'єктів, враховуючи їх особливість, неможливо здійснити звичайними радіотехнічними засобами, що вимагає їх удосконалення. З огляду на важливість даної проблеми вона знаходиться на контролі і, зокрема, включена до планів наукових досліджень Центральноукраїнського національного технічного університету. Метою даної роботи є забезпечення точності передачі сигналу на вихід радіопередавача з врахуванням особливостей обертового об'єкта. Запропоновано метод оптимізації, зокрема метод динамічного програмування, для забезпечення загальних характеристик радіопередавача в напрямі впливу перешкод шляхом нейтралізації їх дії. Оскільки перешкоди в даній задачі різноманітні за природою, то ефект їх компенсації і покращення характеристик пристрою запропоновано оцінювати частинними критеріями оптимізації в кожній стадії. При повній компенсації негативної дії фактору впливу частинний критерій оптимальності приймає значення 1, при відсутності компенсації – 0. У інших випадках частинний критерій оптимальності приймає проміжне значення, яке встановлюється методом експертних оцінок. Результируючий критерій оптимальності дорівнює сумі частинних критеріїв в окремих стадіях. Обмеження на зміну параметрів встановлюються за змістом задачі. В процесі досліджень встановлено особливості обертового об'єкта, радіопередавач подано як об'єкт оптимізації. Критерій оптимальності всього радіопередавача склав 4,65, що відповідає його оптимальності. Як показують теоретичні дослідження, відхилення вихідного сигналу від еталонного значення будуть незначними. Всі перешкоди нейтралізуються на етапі розробки. Вперше виявлено особливості обертового об'єкта, удосконалено узагальнену структуру радіопередавача шляхом вибору значення несучої частоти, амплітудної модуляції, мінімально можливої вихідної потужності та паралельного розташування антен на невеликій відстані, теоретично обґрунтовано підхід удосконалення передачі сигналу з обертового об'єкта в процесі оптимізації умов роботи радіопередавача, що дозволило значно покращити характеристики радіоелектронної апаратури. Запропонований радіопередавач відповідає умовам роботи обертового об'єкта.

Ключові слова: великогабаритний барабанний обертовий об'єкт, передача інформації, радіопередавач, оптимізація, умови роботи.

Постановка проблеми. Сучасні комплекси безпроводного радіозв'язку на підприємствах використовують безліч різних і все більш складних засобів передачі і прийому різноманітних сигналів. За останні роки в промисловості відбулося практично вибухове зростання використання безпроводних мереж, оскільки безпроводні технології дозволяють зменшити витрати, підвищити продуктивність праці та полегшити обслуговування цього обладнання. Крім того, безпроводні рішення знаходять все більш широке застосування завдяки

їх добре відомим перевагам, таким як більш високий рівень гнучкості і мобільності, а також більш простої установки. Нині в промисловості все ширше розповсюджуються обертові об'єкти, які здебільшого знаходяться на вістрі науково-технічного прогресу, визначають розвинення різних галузей економіки. Нормальне функціонування обертових об'єктів практично не можливе без передачі з них інформації, що визначає їх поточний стан. Однак ефективного методу передачі з них сигналів в даний час не існує. Давно

запропонований радіометод також стосовно обертових об'єктів не розроблено, що в основному, як показує аналіз, зв'язано з особливістю цих об'єктів і специфікою радіопередавальної апаратури, яка їм відповідає. Тому дана проблема, зокрема, включена в наукову тематику Центральноукраїнського національного технічного університету. Публікація виконана в межах наукових досліджень за темою "Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах" (0115U003942). Враховуючи викладене, тема даної публікації є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Областю застосування безпроводних радіомереж в останні роки стали нафтогазова, хімічна, харчова, атомна промисловість, збагачувальна галузь. При передачі сигналу через комплекс радіоелектронних засобів, встановлених на обертовому об'єкті, радіопередавач виступає базовим вузлом.

В останні роки у відкритому друці з'явилося кілька робіт, які спрямовані на покращення характеристик радіопередавача. Пропонується покращувати характеристики радіопередавача новими підходами пригнічення радіоперешкод, використанням кількох антен як на передавачеві, так і на приймачеві, аналізом характеристики сигналу, що приймається, з спектрограмами перешкод. Запропоновані в останній час підходи покращують конкретні радіотехнічні комплекси, однак, як показує аналіз, їх не можливо застосувати для обертових об'єктів. Тому необхідно відшукувати інший підхід. Результативною може виявитись оптимізація характеристик всього пристрою за напрямками впливу перешкод.

Нині накопичено значний досвід формування і вивчення впливу радіоперешкод на радіоелектронні системи. Ця робота продовжується і в теперішній час. Радіоперешкоди прийнято класифікувати за кількома напрямками. В теорії електромагнітних систем розглядаються лише ненавмисні електромагнітні перешкоди. Вони не призначені для цілеспрямованого порушення роботи радіозасобів.

Щодо космічного шуму можливо відмітити наступне. У діапазоні від 9 до 21 МГц космічний шум найбільш відчутний. На частотах до 300 МГц рівень космічних перешкод незначний [1].

Атмосферні радіоперешкоди виникають на частотах до 25 МГц і за рівнем перевищують космічні шуми. На частотах вище 30 МГц енергія радіохвиль від іоносфери не відбивається і шуми від віддалених джерел не формуються. Діапазон

надвисоких частот (НВЧ) практично не піддається грозовим перешкодам [2].

Індустріальні радіоперешкоди в процесі розповсюдження загасають. Загасання тим сильніше, чим вища частота перешкоди. На частотах більших 30 МГц з ними можливо не рахуватись [2].

Станційні перешкоди є особливою частиною індустріальних перешкод. Для позбавлення шкідливого впливу ці перешкоди за рівнем нормуються і практично суттєво не впливають на роботу радіоапаратури. Тобто, на них накладаються обмеження за рівнем сигналу [2].

Контактні перешкоди звичайно виникають на рухомих об'єктах. Флуктуаційна компонента переважає в літаках, а імпульсна – в об'єктах залізничного і автомобільного транспорту [2]. В досліджуваному керованому об'єкті такі перешкоди відсутні.

При оптимізації виду модуляції враховують наступні показники: вплив перешкод на сигнал, що передається при даному виді модуляції; ширину спектру частот, яка займається сигналом даного виду модуляції; коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) радіопередавача. Для неперервних сигналів використовують наступні види модуляції – частотну, фазову, амплітудну і односмугову амплітудну. Фазову модуляцію для радіозв'язку не використовують. Кожний вид модуляції має свої переваги і недоліки.

До переваг частотної модуляції (ЧМ) відносять високу перешкодостійкість, зменшення нелінійних викривлень, що дозволяє покращити якість відтворення сигналу. В режимі ЧМ радіопередавач працює при незмінних амплітудах, що дозволяє підвищити к.к.д. і краще використовувати потужність вихідного каскаду. При широкосмуговій ЧМ спектр сигналу виходить в п'ять-десять разів ширшим, ніж при амплітудній модуляції (АМ). Як наслідок, кількість ЧМ передавачів, які можливо розташувати в тому чи іншому діапазоні хвиль, в п'ять-десять разів менше, ніж при амплітудній модуляції. Це є головним недоліком частотної модуляції.

Погіршення стабільності частоти генератора також складає основний недолік модуляторів на напівпровідникових елементах при ЧМ.

Підсилювальні елементи з АМ, розраховані на максимальну потужність, будуть працювати майже з трикратним недовантаженням. Це є суттєвим недоліком схем АМ.

При АМ можуть з'являтися частотні та нелінійні викривлення. Нелінійні викривлення при АМ мають значно більше значення, ніж частотні. У сучасних

передавачах нелінійні викривлення можливо звести до мінімуму, де вони не перевищують 2...3%. У зв'язку з цим вимогою, яка пред'являється до генераторів з АМ порівняно з підсиленням модульованих коливань, є забезпечення високої лінійності амплітудної характеристики.

В підсилювачах потужності на транзисторах використовують три види модуляції – базову, колекторну і комбіновану. При комбінованій колекторній АМ отримується високий к.к.д. генератора і невеликий коефіцієнт нелінійних викривлень. Тому її доцільно застосовувати для отримання якісної передачі інформаційного сигналу в транзисторних радіопередавачах.

Ряд недоліків АМ можливо ліквідувати за допомогою односмугової передачі корисного сигналу. При односмуговій передачі використання підсилювальних елементів за потужністю покращується у кілька разів порівняно з передачею повного спектра АМ коливань. Односмугова передача звужує спектр частот, що передається, більше ніж вдвічі. Загальний теоретичний виграш за напругою на вході детектора дорівнює 4, а за потужністю – 16. Звуження смуги сигналу, що передається, і відсутність несучої дозволяє більш ефективно використовувати в передавачеві джерело живлення, а в приймачеві збільшити в $\sqrt{2}$ разів відношення сигнал/шум. Якщо середнє значення к.к.д. двосмугових передавачів складає 20...30%, то у односмугових передавачів він часто підвищується до 70%.

Поряд з перевагами односмугова АМ має і недоліки. Це складність забезпечення точної відповідності несучої частоти передавача і частоти гетеродина, який відтворює коливання несучої частоти в місці прийому. Схема радіопередавача, що працює за принципом односмугової передачі, значно складніша звичайних схем. Дійовим засобом зменшення величини нелінійних викривлень модулюючого сигналу при базовій АМ є використання регулювання. Для отримання максимального значення к.к.д. необхідно застосовувати спеціальні заходи для підвищення середнього значення коефіцієнта модуляції. Для досягнення синхронізму часто використовують налаштування частоти.

Кінцевим каскадом радіопередавача є передавальна антена. Стабільність передачі корисного сигналу антеною можливо охарактеризувати її коефіцієнтом підсилення. Коефіцієнт підсилення антени за певних умов роботи є незмінною величиною, тому передавальна антена не може змінити сигнал, що формується радіопередавачем. Одна і та ж антена з однаковими характеристи-

ками може виконувати як функції передавальної, так і приймальної. Сигнал буде самим великим, коли антени будуть розташовані паралельно одна одній. В реальних умовах роботи радіопередавача здійснюється взаємодія з середовищем, що оточує антену, – це вплив землі, атмосфери та перепон на шляху розповсюдження радіохвилі. Поверхневий промінь ультракоротких хвиль (УКХ) дуже поглинається ґрунтом і місцевими предметами, залежить від рельєфу місцевості. Однак в промисловості умови передачі радіосигналів є практично незмінними.

Отже, використовуючи викладені об'єктивні дані, можливо робити судження щодо удосконалення радіопередавача, який працює на обертових об'єктах.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення точності передачі сигналу з входу на вихід радіопередавача в умовах функціонування обертового об'єкта. Сформульована мета роботи зумовлює необхідність розв'язання таких задач: виявити особливості обертового об'єкта; теоретично обґрунтувати підхід удосконалення передачі сигналу з входу на вихід радіопередавача в умовах роботи обертового об'єкта; удосконалити узагальнену структуру радіопередавача.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нині все частіше виникає необхідність в передачі сигналів з обертових об'єктів на їх нерухомі частини. Різноманітність обертових керованих об'єктів велика, однак вони здебільшого являють собою або масивний барабан, або спіраль, які виконують певні технологічні функції.

Обертовий об'єкт, вносить в роботу радіопередавача свою специфіку, яка відображена на рис. 1. Якість сформованого на виході сигналу визначається точністю функціонування всіх вузлів радіопередавача, що знаходяться під впливом перешкод в основному зв'язаних з обертовим об'єктом. Однією з важливих особливостей обертового об'єкта є відсутність на ньому мережі, що примушує живлення технічних засобів здійснювати від акумуляторів. Це висуває вимогу мінімізації споживання електроенергії. Тому засоби формування сигналу слід використовувати, по-можливості, генераторного типу, досягати найбільшого функціонального спрощення радіопередавача, забезпечувати можливу мінімальну вихідну потужність та найвище значення його к.к.д. Другою важливою особливістю обертового об'єкта є наявність апріорних даних про умови його роботи. Важливою вимогою є забезпечення одночасної роботи кількох радіопередавачів. Тобто, необхідно, по

можливості, забезпечувати вузьку смугу частотного спектру. Ще однією специфічною рисою обертового об'єкта є той факт, що в основному з ним зв'язана дія атмосферних й індустріальних перешкод на радіопередавач. Відомо, що вплив перешкод на повний комплекс радіоелектронних засобів може пригнічуватись як в радіопередавачеві, так і в радіоприймачеві, забезпечуючи нормальний кінцевий результат. Тобто, функції пригнічення радіоперешкод можливо розподіляти між радіопередавачем і радіоприймачем. Виходячи з вимоги економії споживання електроенергії на обертовому об'єкті, функції пригнічення радіоперешкод в радіопередавачеві необхідно максимально звузити, а ті, що реалізуються, бажано вирішувати без витрати електроенергії. Останні функції пригнічення радіоперешкод необхідно реалізувати в межах нерухомої частини, тобто радіоприймача.

Основною задачею тут є формування сигналу на виході радіопередавача обертового об'єкта відповідно сигналу, що передається. Це найкраще можливо здійснити оптимальним радіопередавачем. З рис.1 видно, що для цього необхідно реалізувати шість функцій, точніше п'ять функцій, оскільки джерело сигналу виступає як автономна частина пристрою. Тобто, окремо необхідно створити оптимальне джерело сигналу генераторного типу. Реалізувавши п'ять функцій, притаманних безпосередньо радіопередавачеві, отримаємо оптимальний пристрій. Як видно з рис. 1, кожна функція може реалізуватись як окрема стадія. Тому у даному випадку для оптимізації характеристик радіопередавача доцільно використати метод динамічного програмування. Він не передбачає строгу послідовність виконання

операцій, однак у даному випадку так розв'язати задачу не можливо, оскільки в підходах є перехресні зв'язки. Так, як видно з рис.1, три параметра безпосередньо зв'язані з методом модуляції в радіопередавачеві, а четвертий – стійкість до атмосферних і індустріальних перешкод – може вирішуватись двома підходами – або фізичними обмеженнями, які формуються в середовищі їх створення, або методом модуляції. Тому оптимізацію характеристик радіопередавача доцільно розпочинати з дослідження стійкості до атмосферних і індустріальних перешкод. Потім розглянути оптимізацію виду модуляції, а після цього повернутись до загальної оптимізації радіопередавача, де послідовність операцій вже не має особливого значення. Порядковий номер стадій оптимізації можливо здійснити відповідно табл. 1. Аналіз показав, що оптимізацію в окремих стадіях найкраще здійснювати інваріантним підходом, тобто, методом повної або часткової компенсації впливу перешкоди. У даному випадку відмічені фактори являють собою перешкоди, вплив яких на роботу радіопередавача необхідно нейтралізувати. Підходи інваріантної компенсації дії перешкод на роботу радіопередавача зводяться до визначення і нейтралізації шкідливого впливу. Як показав аналіз, вони досить різноманітні – вибір функціональної структури радіопередавача за мінімальною кількістю складових елементів: забезпечення мінімальної вихідної потужності з врахуванням малої відстані між антенами і їх орієнтацією; гарантування високого значення к.к.д. і достатньої кількості одночасно працюючих радіопередавачів; стійкість проти впливу атмосферних й індустріальних перешкод.



Рис. 1. Особливості обертового об'єкта

Взаємозв'язок між змінними радіопередавача як об'єкта оптимізації, необхідність обмежень і вид обмежень

Порядковий номер стадії оптимізації	Взаємозв'язок між змінними	Необхідність в обмеженнях	Вид обмежень
1	Зб.5 → К4 → Вих.5	Потрібні	$A_{КП} < A_{КПдоп}; f_{АП} \cdot f_{П} < f_{доп}$
2	Зб.1 → К1 → Вих.1	Відсутні	–
3	Зб.3 → К3 → Вих.3	Відсутні	–
4	Зб.4 → К3 → Вих.4	Відсутні	–
5	Зб.2 → К2 → Вих.2	Потрібні	$P_{min} = P_{minдоп}$

Як видно з табл. 1, пропонується конкретний порядковий номер стадій оптимізації. Тут же запропоновано зв'язок між змінними радіопередавача як об'єкта оптимізації, вказана необхідність в обмеженнях в кожній стадії та їх вид. Тут змінні Зб.1...Зб.5 відповідно означають функціональну простоту, мінімальну вихідну потужність, максимальний к.к.д. радіопередавача, задану кількість одночасно працюючих радіопередавачів, вплив атмосферних та індустріальних перешкод, К1...К3 відповідно означають вибір оптимальної структури радіопередавача, режиму вихідного каскаду і розташування антен, типу модуляції, а змінні Вих.1...Вих.4 відповідно означають максимально можливу функціональну простоту, мінімальну вихідну потужність, найбільше значення к.к.д., забезпечення необхідної кількості одночасно працюючих радіопередавачів. У трьох стадіях оптимізації обмеження за фізичним змістом задач не виникають, а у двох вони мають місце. Серед них одне обмеження являє собою рівність, а друге – нерівність. Всі обмеження мають різний фізичний зміст. Так, мінімальна вихідна потужність радіопередавача P_{min} повинна дорівнювати $P_{minдоп}$, яке визначається в кожному конкретному випадку. Вплив атмосферних й індустріальних перешкод повинен враховувати $A_{КП} < A_{КПдоп}; f_{АП} \cdot f_{П} < f_{доп}$, де відповідно найбільше значення частоти, де атмосферні перешкоди мають суттєвий рівень, індустріальні перешкоди мають суттєвий рівень, найменше значення несучої частоти радіопередавача, а також амплітуда космічних шумів, допустима амплітуда космічних шумів.

При оптимізації частинні критерії оптимальності в окремих стадіях приймаємо в межах 0-1. Коли повністю не ліквідовано вплив перешкоди – 0, а 1 – коли такий вплив ліквідовано повністю. Проміжні значення критерію встановлювалися шляхом експертних оцінок. Загальний критерій оптимальності дорівнює сумі частинних критеріїв в окремих стадіях. Об'єктом оптимізації тут є радіопередавач (рис.2). Вхідною величиною

є Вх.1. Вихідними параметрами слугують – Вих.1, Вих.2, Вих.3, Вих.4, Вих.5 – стійкість проти дії атмосферних та індустріальних перешкод Вих.5 і ВихГ – вихідний сигнал, що відповідає поточному значенню вхідного сигналу. Збурюючими факторами тут виступають самі перешкоди – Зб.1, Зб.2, Зб.3, Зб.4, Зб.5 – вплив атмосферних та індустріальних перешкод. Керуючими параметрами тут є наступні: К1, К2, К3, К4 – вибір несучої частоти. Збурюючі параметри можливо компенсувати керуючими. Як видно, збурюючих параметрів на один більше порівняно з керуючими. Це означає, що в загальному підході повну компенсацію збурюючих параметрів в радіопередавачеві здійснити не можливо. Однак, використовуючи особливості керуючих параметрів і функціональних вузлів, що їх реалізують, можливо значно покращити характеристики радіопередавача.

Розглянемо в першу чергу забезпечення перешкодостійкості радіопередавача до впливу атмосферних й індустріальних перешкод. Як відмічено, діапазон надвисоких частот (НВЧ) практично не піддається грозовим перешкодам. Індустріальні радіоперешкоди також сильно загасають на високих частотах. На частотах, що перевищують 30 МГц, з ними можливо не рахуватись. На станційні перешкоди накладаються обмеження за рівнем сигналу. В досліджуваному керованому об'єкті контактні перешкоди відсутні. Отже, при несучій частоті радіопередавача 50 МГц і вище атмосферні й індустріальні перешкоди на нього впливати не будуть. Тоді частинний критерій оптимальності щодо стійкості радіопередавача до впливу атмосферних й індустріальних перешкод складе $J_{АП} = 1$.

Розглянемо оптимізацію процесу модуляції кожним з видів, що застосовуються, відповідно рис. 3, де позначення параметрів співпадають з рис. 2. Оптимізацію будемо проводити в межах відмічених трьох показників і за прийнятих критеріїв оптимальності, враховуючи і складність радіоелектронної апаратури, тобто функціональну простоту.



Рис. 2. Радіопередавач як об'єкт оптимізації
 ВМЖО – відсутність мережі живлення на обортовому об'єкті; ЗООД – апріорні дані, зв'язані з обортовим об'єктом

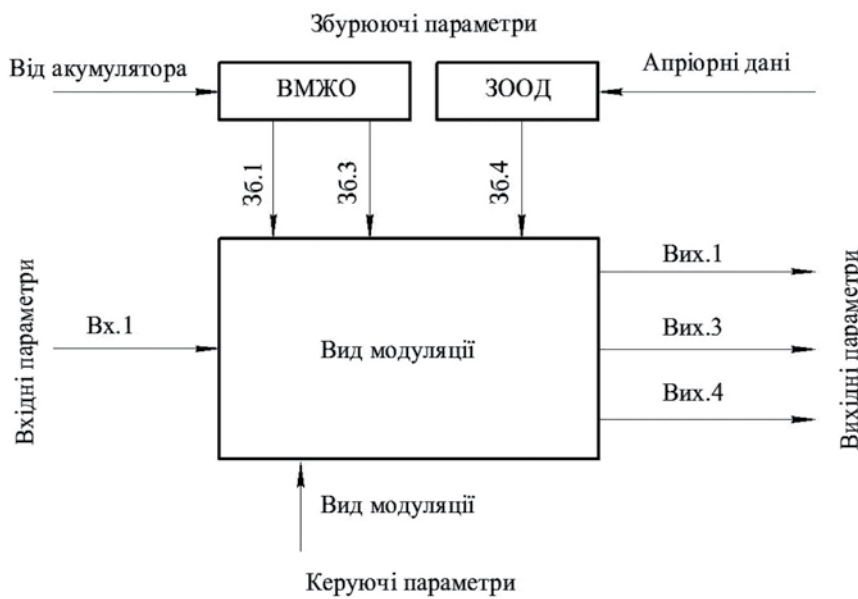


Рис. 3. Вид модуляції як об'єкт оптимізації

Зауважимо, що перешкодостійкість роботи радіопередавача вже вирішена немодуляційним підходом, а вибором значення несучої частоти, тобто, реалізована основна перевага ЧМ, коли $J_{ЧМС}=1$. Інші переваги ЧМ – певне підвищення к.к.д. і краще використання потужності вихідного каскаду не так суттєві, однак методом експертних оцінок встановлено $J_{ЧКД}=0,5$. В п'ять-десять разів збільшення ширини смуги пропускання при ЧМ складають головний недолік даного виду модуляції. Тоді $J_{ЧШС}=0$. Погіршення стабільності частоти генератора на напівпровідникових елементах зни-

жує до нуля функціональну простоту і $J_{ЧФМ}=0$. Враховуючи, що перешкодостійкість у даному випадку вирішена іншим шляхом, загальний критерій оптимізації ЧМ складе

$$J_{ЗЧМ} = J_{ЧКД} + J_{ЧШС} + J_{ЧФМ} = 0,5, \quad (1)$$

де $J_{ЧКД}$ – ЧКО відносно к.к.д. при ЧМ; $J_{ЧШС}$ – ЧКО за шириною смуги частот при ЧМ; $J_{ЧФМ}$ – ЧКО, зв'язаний з функціональним мінімумом при ЧМ.

Майже трикратне недонавантаження підсилювальних елементів при АМ, розрахованих на максимальну потужність, складають її недолік, однак у даному випадку, коли потужність на виході потрібна невелика, це стає перевагою методу.

Крім того, при АМ необхідно забезпечувати високу лінійність амплітудної характеристики, що пом'якшується використанням комбінованої колекторної АМ. В ній досягається високий к.к.д. і невеликий коефіцієнт нелінійних викривлень. Якість передачі корисного сигналу при цьому буде найвищою, що дозволяє прийняти $J_{АКД}=1$. Ширина смуги пропускання при АМ буде вузькою, що відповідає $J_{АШС}=1$. При здійсненні комбінованої АМ ускладнюється функціональна структура радіопередавача, тому частинний

критерій оптимальності $J_{АФМ}$ буде меншим одиниці. Методом експертних оцінок йому встановлено значення 0,65. Тоді загальний критерій оптимальності за АМ складе

$$J_{ЗАМ} = J_{АККД} + J_{АШС} + J_{АФМ} = 2,65. \quad (2)$$

Односмугова АМ звужує спектр частот більше ніж вдвічі ($J_{АОШС} = 1$), покращує у кілька разів використання підсилювальних елементів за потужністю, більш ефективно використовує в передавачеві джерело живлення, забезпечує саме високе значення к.к.д. ($J_{АОККД} = 1$). Однак відрізняється складністю забезпечення відповідності несучої частоти передавача і частоти гетеродина, схема самого радіопередавача набагато складніша звичайної, потребує неперервного підналагоджування ряду параметрів, що в умовах кульового млина здійснити не можливо. Тому $J_{АОФМ} = 0$. З врахуванням сказаного загальний критерій оптимальності за односмуговою АМ складає

$$J_{ЗАОМ} = J_{АОККД} + J_{АОШС} + J_{АОФМ} = 2,0. \quad (3)$$

Отже, окремі види модуляції відрізняються різними значеннями загального критерію оптимальності $J_{ЗВМ}$. АМ, яка широко використовується практично у всіх діапазонах хвиль має найкраще значення $J_{ЗВМ} = 2,65$.

Умова досягнення якомога найменшої вихідної потужності радіопередавача у даному випадку задовольняється достатньо просто. Для цього необхідно побудувати вихідний каскад радіопередавача на малопотужному транзисторі, а передавальну і приймальну антени розташувати паралельно одна одній на невеликій відстані, що в даних умовах легко здійснити. З врахуванням цього частинний критерій оптимальності прийме значення $J_{МВП} = 1$.

В цілому загальний критерій оптимальності радіопередавача буде дорівнювати сумі частинних критеріїв оптимальності (ЧКО) в окремих стадіях. Тоді загальний критерій оптимальності радіопередавача з амплітудною модуляцією складе

$$J_{ЗРП} = J_{АШП} + J_{ЗАМ} + J_{МВП} = 4,65, \quad (4)$$

де $J_{ЗАМ} = J_{АККД} + J_{АШС} + J_{АФМ} = 2,65$; $J_{АШП}$ – ЧКО від дії атмосферних та індустриальних перешкод; $J_{МВП}$ – ЧКО мінімальної вихідної потужності;

В результаті теоретичного аналізу розкриті особливості обертового керованого об'єкта, зв'язані з відсутністю на ньому мережі живлення та наявністю безпосередньо зв'язаних з ним апріорних даних. Показано, що особливості обертового об'єкта породжують п'ять наслідків, які потребують оптимізації процесу в цілому і оптимізації частинних процесів.

Розглянуто радіопередавач як об'єкт оптимізації і запропоновано застосовувати метод динамічного програмування. Оскільки вихідних, збудуючих і керуючих параметрів багато і вони різні за змістом і походженням, в якості частинних критеріїв оптимальності прийнято 0-1 в залежності від ступеню розв'язання частинної задачі в конкретній стадії. Загальний критерій оптимальності визначався як сума частинних в окремих стадіях оптимізації і приймав значення в залежності від досягнутого рівня розв'язання всієї задачі. В межах радіопередавача здійснювалася одна частинна оптимізація – виду модуляції. Оскільки критерій оптимальності за амплітудним видом модуляції отримав найбільше значення – 2,65 (2), саме АМ і була прийнята для реалізації в даному радіопередавачеві. Інваріантним і квазіінваріантним методами практично нейтралізована дія усіх п'яти перешкод на радіопередавач обертового об'єкта. Не зовсім досягнуто спрощення радіопередавача в наслідок використання комбінованої АМ. Не дивлячись на це, радіопередавач є оптимальним і може забезпечити високу якість передачі сигналу.

З розглянутого витікає, що з діючих на радіопередавач п'яти перешкод (рис.2) всі п'ять з них – 36.1-36.5 нейтралізовані. Критерій оптимальності всього радіопередавача склав 4,65 (4). Враховуючи, що на нього впливало п'ять збудуючих перешкод, то це майже всі вони повністю нейтралізовані. Одна перешкода пригнічена не повністю, однак вона не впливає на рівень корисного сигналу. Такий радіопередавач технічно можливо реалізувати.

Висновки. В процесі проведених досліджень виявлені особливості обертового об'єкта, теоретично обґрунтовано підхід удосконалення передачі сигналу з входу на вихід радіопередавача в умовах роботи обертового об'єкта, удосконалено узагальнену структуру радіопередавача. Показано, що запропонований радіопередавач відповідає умовам роботи обертового об'єкта і може забезпечити високу точність передачі сигналу на нерухому його частину. З розглянутих аналогів видно, що вони не володіють такими можливостями і не можуть порівнятися за характеристиками з запропонованим радіопередавачем.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше виявлена особливість обертового об'єкта передачі сигналу на нерухому частину, яка полягає у відсутності на ньому мережі живлення і наявності зв'язаних з ним апріорних даних, що

вимагає забезпечення заданої кількості одночасно працюючих радіопередавачів, мінімально можливої вихідної потужності, максимально можливої функціональної простоти, найбільшого значення к.к.д. радіопередавача та його стійкості до атмосферних й індустріальних перешкод, які є факторами, дестабілізуючими роботу радіоелектронного комплексу, і такими, що визначають напрям впливу на апаратуру, що надало можливість виокремити автономну оптимізацію джерела сигналу генераторного типу, а в межах радіопередавача – оптимізацію виду модуляції і цим самим створити умови підвищення точності формування і передачі сигналу на його вихід.

Удосконалено узагальнену структуру радіопередавача сигналу з обертового об'єкта шляхом вибору значення несучої частоти, амплітудної модуляції, мінімально можливої вихідної потужності та паралельного розташування передавальної

та приймальної антен, що дозволило оптимізувати енергетичні та точнісні показники передаючої частини радіоелектронного комплексу.

Вперше теоретично обґрунтовано підхід удосконалення роботи радіопередавача сигналу з обертового об'єкта шляхом оптимізації його характеристик в напрямку впливу п'яти діючих перешкод досягненням практично повної їх нейтралізації інваріантним і квазіінваріантним підходами, що дозволяє значно підвищити точність передачі сигналу на вихід пристрою.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що після розробки оптимального джерела сигналу генераторного типу та радіоприймального пристрою відкривається перспектива удосконалення функціонування обертових об'єктів на якісно новому рівні та розробки аналогічних радіоелектронних засобів для різних умов роботи.

Список літератури:

1. Woodruff T. Sullivan. Cosmic Noise: A History of Early Radio Astronomy. Cambridge University Press, 2009. 574 p. DOI: 10.1063/1.3455252.
2. Kenneth W., Michael G. Radio Frequency Interference (RFI) Pocket Guide. Scitech Publishing, 2015. 88 p. DOI: 10.1049/SBEW523E.

Kondratets V.O., Matsui A.M., Artiukhov A.M. OPTIMIZATION OF RADIO TRANSMITTER INFORMATION OPERATION FROM A LARGE-SIZED ROTATING DRUM OBJECT BY DYNAMIC PROGRAMMING METHOD

In industry, rotating objects are widespread, from which there is a need to transmit useful signals to their stationary parts. Transmission of useful signals from rotating objects, given their peculiarity, cannot be carried out by conventional radio equipment, which requires their improvement. Given the importance of this problem is under control and, in particular, is included in the research plans of the Central Ukrainian National Technical University. The purpose of this work is to ensure the accuracy of signal transmission to the output of the radio transmitter, taking into account the characteristics of the rotating object. A method of optimization, in particular the method of dynamic programming, is proposed to ensure the overall performance of the radio transmitter in the direction of the influence of interference by neutralizing their action. Since the interferences in this problem are diverse in nature, the effect of their compensation and improvement of the device characteristics is proposed to be evaluated by partial optimization criteria in each stage. In case of full compensation of the negative effect of the influence factor the partial optimality criterion takes the value of 1, in the absence of compensation – 0. In other cases the partial optimality criterion takes an intermediate value, which is set by the method of expert evaluations. The resulting optimality criterion is equal to the sum of partial criteria in separate stages. Restrictions on parameter changes are set according to the content of the problem. In the process of research the peculiarities of the rotating object are established, the radio transmitter is presented as an object of optimization. The optimality criterion of the whole radio transmitter was 4,65, which corresponds to its optimality. As theoretical studies show, deviations of the output signal from the reference value will be insignificant. All interferences are neutralized at the stage of development. For the first time, the features of the rotating object were identified, the generalized structure of the radio transmitter was improved by selecting the value of the carrier frequency, amplitude modulation, the minimum possible output power and the parallel arrangement of antennas at a short distance, the approach to improve the signal transmission from the rotating object in the optimization of operating conditions of the radio transmitter was theoretically justified, which significantly improved the characteristics of radioelectronic equipment. The proposed radio transmitter corresponds to the operating conditions of a rotating object.

Key words: large-sized drum rotating object, information transfer, radio transmitter, optimization, working conditions.

Лазурчак Л.В.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Дорошенко М.В.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

КОМП'ЮТЕРНА ПІДТРИМКА ВИВЧЕННЯ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ «МЕТОДИ ОБЧИСЛЕНЬ»

Практичний досвід викладання освітньої компоненти «Методи обчислень» у закладах вищої освіти переконує у складності засвоєння навчального матеріалу в умовах традиційних форм навчання. Для якіснішого та ефективнішого засвоєння даного навчального матеріалу у статті запропоновано комп'ютерну підтримку освітнього процесу, зокрема авторами створено навчальну систему, що дозволяє швидко і зручно засвоїти запропоновані методи, провести програмну розробку необхідного алгоритму розв'язання задачі та проаналізувати отримані результати. У статті розкрито важливість такої комп'ютерної підтримки, що значно полегшує сприйняття студентами теоретичного матеріалу та демонструє програмну реалізацію поставленої задачі. Авторами статті продемонстровано, що застосування даного програмного продукту на заняттях дозволяє студенту удосконалити навички програмування при виконанні запропонованих індивідуальних завдань та полегшити вивчення даної освітньої компоненти.

З'ясовано, що правильний вибір найбільш ефективного методу, серед відомих методів обчислень, для розв'язання поставленої задачі можливий лише при досконалому вивченні теоретичної частини.

Спрогнозовано навчальний ефект розробленої системи, оскільки студенту запропоновано програмну реалізацію поданих методів засобами C++ Builder. Дане середовище програмування обране тому, що програми, які у ньому реалізовані, є мобільними та неприв'язаними як до виробника комп'ютерів, так і до налаштувань операційної системи в ньому.

У статті представлено тестову частину, що є складовою розробленої комп'ютерної системи, яка перевіряє якість знань і, при негативному результаті, дозволяє повторне вивчення матеріалу. Для освоєння даної освітньої компоненти детально проаналізовано отримані студентами результати тестування, що дозволяє викладачу внести ефективні корективи в навчальний процес, а отже і досягати успішних результатів у навчанні.

Ключові слова: методи обчислень, навчальна система, студенти закладу вищої освіти, середовище програмування.

Постановка проблеми. Математика займає особливе місце серед наук і є універсальною мовою моделювання. Математичному моделюванню належить особливе місце серед інформаційних технологій. Воно поширилося на природничі і суспільні науки, що дозволяє вміло використовувати математичний апарат, замінивши при цьому об'єкт, що досліджується, його моделлю. Для кожної математичної моделі формулюється математична задача. Якщо не можна отримати її точний розв'язок, використовуються чисельні методи або інші види моделювання.

Відповідно до виду математичної моделі розрізняють такі базові типи математичних задач: розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь; розв'язання нелінійних алгебраїчних рівнянь; апроксимація масиву даних або складної функції набором стандартних, більш простих

функцій; чисельне інтегрування і диференціювання.

Навички розв'язувати дані задачі формуються у студентів закладів вищої освіти під час вивчення навчальної дисципліни «Методи обчислень». Зокрема, студенти отримують математичний інструментарій, за допомогою якого математична задача формулюється у вигляді, зручному для розв'язання на комп'ютері. Для обрання ефективного способу розв'язання поставленої задачі потрібні глибокі знання і певні навички. Оскільки дана навчальна дисципліна є доволі складна для опанування в рамках традиційних форм навчання, студенту пропонується програмоване навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання ґрунтовного вивчення методів обчислення у вищій школі аналізували Цегелик Г. [5], Лазурчак І.І., Лазурчак Л. [4]. Розвиток

обчислювальної математики у сучасному світі і її застосування у наукових дослідженнях викладені у працях Гаврилюка І., Макарова В. [2].

Технології розробки програмного забезпечення та їх розвиток досліджував Ковалевський В. [3], зокрема, програмування мовою С вивчала Шпак З. [6]. Проектування інформаційних систем та їх застосування для прикладних задач продемонстровано авторами Авраменко В.С., Авраменко А.С.[1]

Постановка завдання – комп'ютерна підтримка освітнього процесу студентів у закладах вищої освіти для вивчення освітньої компоненти «Методи обчислень».

Виклад основного матеріалу дослідження. Для реалізації поставленого завдання вибрано C++ Builder – гнучкий та зручний програмний продукт для швидкої розробки додатків. Система забезпечує кваліфікованим спеціалістам розробку програмного забезпечення з використанням мови програмування C++, що є проста у використанні і, водночас, володіє функціями для розробки складних програм. Інтегроване середовище розробки C++ Builder має можливості проектування, запуску і тестування програмних продуктів і робить процес створення програм легким і цікавим.

Головне вікно навчальної системи (рис. 1) містить чотири об'єкти типу Button, що знаходяться на закладці Standard: Button1 із властивістю Caption – «Теоретична частин»; Button2 із властивістю Caption – «Лабораторні роботи»; Button3 із властивістю Caption – «Програмна реалізація»; Button4 із властивістю Caption – «Тестування».



Рис. 1. Головне вікно системи

Теоретична частина дозволяє студенту ознайомитися з теоретичним матеріалом, щоб згодом, критично оцінивши ситуацію, правильно вибрати

серед відомих методів найбільш ефективний у конкретній ситуації і, при потребі, уміло поєднати різні методи для розв'язання поставленої задачі. Важливою при цьому є оцінка точності отриманих результатів та глибоке розуміння сутності методів, наявність власного досвіду їх застосування для розв'язання різних задач.

Для програмування кнопки Button1, відкривається вікно тексту програми із заготовкою функції Button1Click, яка опрацюватиме вивід на екран головного меню – об'єкт типу MainMenu1, що знаходиться на закладці Standard. Пункти меню теоретичної частини освітньої компоненти «Методи обчислень» включають перелік розділів (рис. 2), що пропонуються до вивчення. Перелік методів, що містяться у кожному з розділів та візуальне представлення вибраного студентом методу подано у таблиці 1.

Щоб навчання було осмисленим, керованим і забезпечувало досягнення прогнозованого ефекту, у розробленій навчальній системі поряд з теоретичними основами курсу, студенту запропоновано програмну реалізацію всіх попередньо розглянутих методів засобами C++ Builder. Ця частина навчальної системи активізується на кнопці *Програмна реалізація* головного вікна системи.

У пункті *Зразки* головного меню користувач обирає метод, для якого запропоновано приклад і його програмна реалізація мовою програмування C++ (рис. 3–5).

У пункті *Лабораторні роботи*, що викликається відповідною кнопкою у головному вікні навчальної системи, для кожного із запропонованих методів підібрані варіанти індивідуальних завдань лабораторних робіт.

Однією із найважливіших складових навчального процесу є перевірка якості знань. Від її об'єктивності, своєчасності та оперативності в значній мірі залежить можливість внесення ефективних коректив в навчальний процес, а отже і успіх процесу навчання. Саме *Тестова частина*, що викликається відповідною кнопкою у головному вікні навчальної системи, сприяє

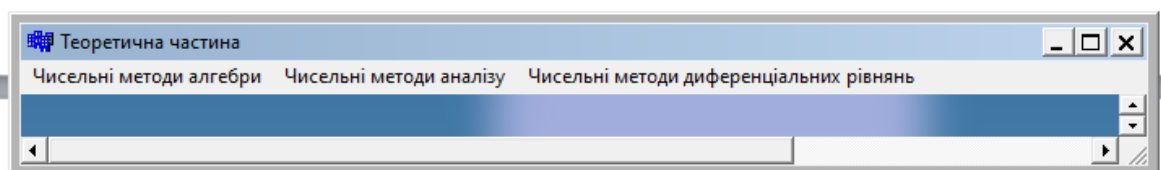
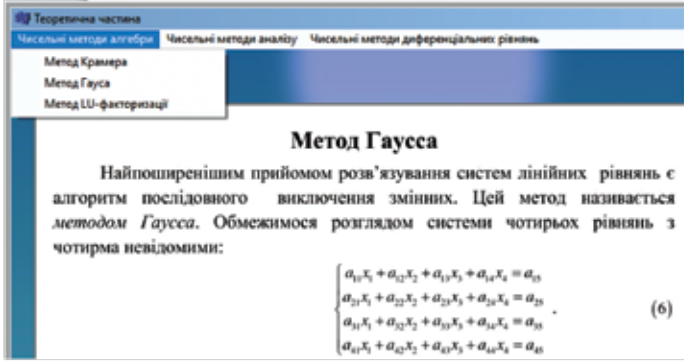
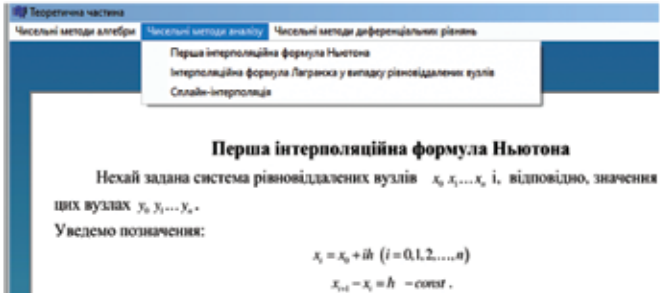
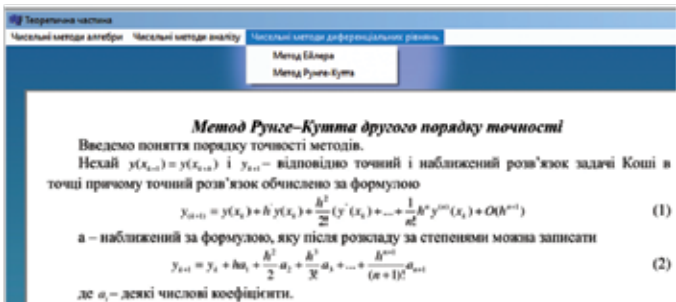


Рис. 2. Перелік розділів навчальної системи щодо теоретичної частини

Теоретична частина навчальної системи

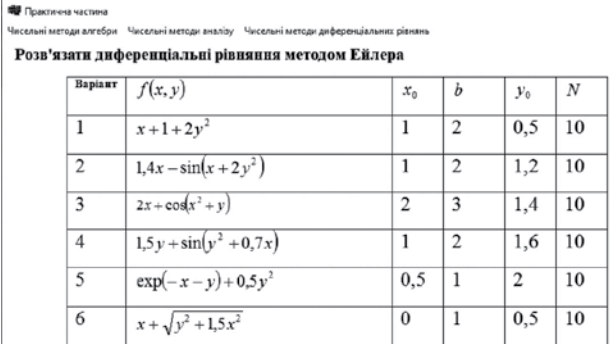
Перелік розділів	Вміст розділів
Чисельні методи алгебри	
Чисельні методи аналізу	
Чисельні методи диференціальних рівнянь	

більш глибокому засвоєнню навчального матеріалу студентами, дозволяє краще зрозуміти методи, проаналізувати швидкість збіжності обчислювального процесу та оцінити похибку результату (рис. 6).

Тестова частина дозволяє студентів перевірити рівень своїх знань і, в разі необхідності, знову повернутися до повторного вивчення теоретичного матеріалу. В розробленій системі запропоновано тести з введенням правильної відповіді (завдання відкритої форми). До кожного питання пропонується декілька відповідей, серед яких вибирається вірна (приклади тестових завдань наведено у табл. 2).

При проходженні повного тестування система опрацьовує відповіді і виводить на екран результат тестування (рис. 7).

Для реалізації *Тестової частини* в середовищі C++ Builder використано об'єкти RadioButton,



Варіант	$f(x, y)$	x_0	b	y_0	N
1	$x + 1 + 2y^2$	1	2	0,5	10
2	$1,4x - \sin(x + 2y^2)$	1	2	1,2	10
3	$2x + \cos(x^2 + y)$	2	3	1,4	10
4	$1,5y + \sin(y^2 + 0,7x)$	1	2	1,6	10
5	$\exp(-x - y) + 0,5y^2$	0,5	1	2	10
6	$x + \sqrt{y^2 + 1,5x^2}$	0	1	0,5	10

Рис. 3. Приклади завдань

що дозволяють вибір однієї альтернативної можливості серед декількох. Властивості Checked цих компонент, що вказують на стан перемикача, попередньо надають значення False. Для створення контейнерів, що містить інші компоненти, у програмі вибрано компоненти Panel із закладки

Програмна реалізація:

```

void __fastcall TForm2::Button1Click(TObject *Sender)
{
    ListBox1->Items->Clear();
    ListBox2->Items->Clear();
    double x=(double)StrToFloat(Edit1->Text);
    double b=(double)StrToFloat(Edit2->Text);
    double y=(double)StrToFloat(Edit3->Text);
    double n=(double)StrToInt(Edit4->Text);
    float dy;
    double h=(double)(b-x)/(n);
    float dy2;
    float X=x;
    double k1,k2,k3;
    ListBox1->Items->Add("x");
    ListBox2->Items->Add("y");
    for(int i=0;i<=n;i++)
    {
        ListBox1->Items->Add(FloatToStr(x));
        ListBox2->Items->Add(FloatToStr(y));

        k1=h*fun(x,y);
        k2=h*fun(x+h/3,y+k1/2);
        k3=h*fun(x+2/3*h,y+k2*2/3);
        x+=h;
        //ShowMessage(FloatToStr(k1)+" "+FloatToStr(3*k2)+" "+FloatToStr((k1+3*k2)/4));
        y+=(double)1/4*(k1+3*k2);
    }
}
    
```

Рис. 4. Програмна реалізація варіанту № 6 методом Рунге-Кутта

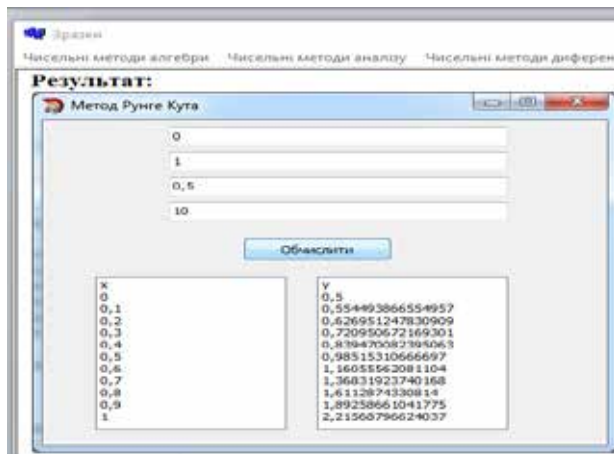


Рис. 5. Перегляд результатів варіанту № 6 методом Рунге-Кутта



Рис. 6. Вікно Тестування

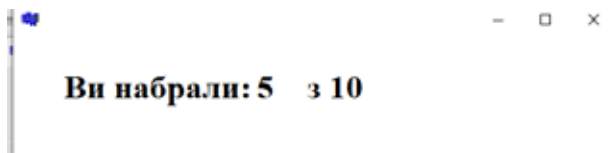


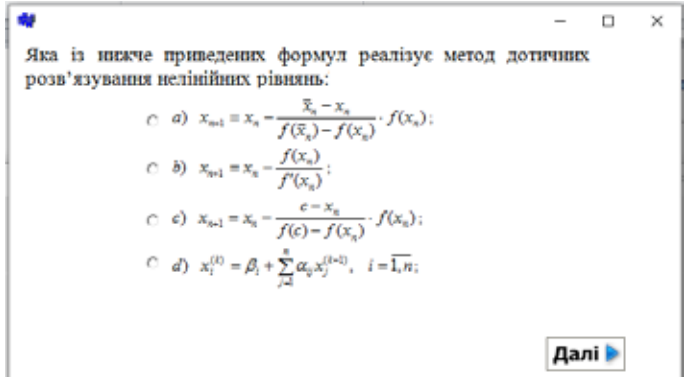
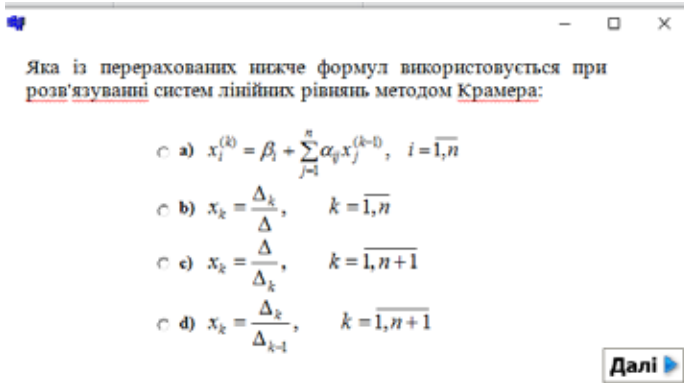
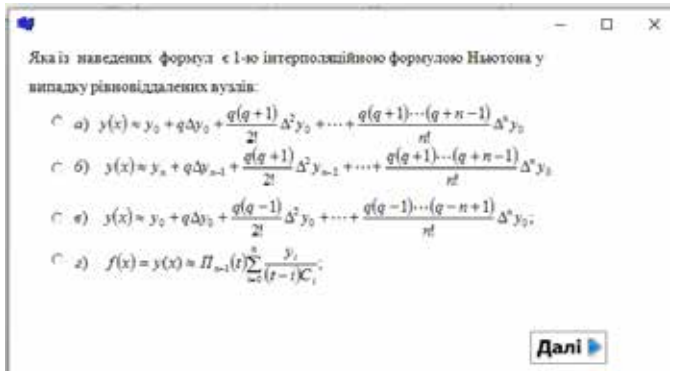
Рис. 7. Вікно результату тестування

Standard. Фрагмент програми в середовищі C++ Builder, що реалізує підрахунок кількості правильних відповідей і вивід результатів подано на рис. 8.

Запропонована навчальна система сприяє легшому засвоєнню студентами теоретичного матеріалу. Оскільки, на практиці навчальні дослідження з даної дисципліни полягають у створенні комп'ютерної моделі і застосування для її розв'язку певної мови програмування, то система пропонує програмну реалізацію методів в середовищі C++ Builder. Однак, оскільки студенти вивчають й інші мови програмування (наприклад, C#, Java, тощо), то для реалізації поставлених задач, за бажанням студента, можна використати і ці середовища.

Висновок. Різноманітність практичних задач, що потребують використання чисельних методів, має достатньо широкий спектр методів, з певними

Приклади тестових завдань

Тематика тестових завдань	Вигляд тестового завдання у навчальній системі
«Розв'язування нелінійних рівнянь»	 <p>Яка із нижче приведених формул реалізує метод дотичних розв'язування нелінійних рівнянь:</p> <p>а) $x_{n+1} = x_n - \frac{x_n - x_0}{f(x_n) - f(x_0)} \cdot f(x_n)$;</p> <p>б) $x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$;</p> <p>в) $x_{n+1} = x_n - \frac{c - x_n}{f(c) - f(x_n)} \cdot f(x_n)$;</p> <p>г) $x_i^{(k)} = \beta_i + \sum_{j=1}^n \alpha_j x_j^{(k-1)}, i = \overline{1, n}$;</p> <p>Далі ►</p>
«Розв'язування СЛАР»	 <p>Яка із перерахованих нижче формул використовується при розв'язуванні систем лінійних рівнянь методом Крамера:</p> <p>а) $x_i^{(k)} = \beta_i + \sum_{j=1}^n \alpha_j x_j^{(k-1)}, i = \overline{1, n}$</p> <p>б) $x_k = \frac{\Delta_k}{\Delta}, k = \overline{1, n}$</p> <p>в) $x_k = \frac{\Delta}{\Delta_k}, k = \overline{1, n+1}$</p> <p>г) $x_k = \frac{\Delta_k}{\Delta_{k-1}}, k = \overline{1, n+1}$</p> <p>Далі ►</p>
«Інтерполяція функцій»	 <p>Яка із наведених формул є 1-ю інтерполяційною формулою Лагранжа у випадку рівновіддалених вузлів:</p> <p>а) $y(x) = y_0 + q \Delta y_0 + \frac{q(q+1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \dots + \frac{q(q+1) \dots (q+n-1)}{n!} \Delta^n y_0$</p> <p>б) $y(x) = y_n + q \Delta y_{n-1} + \frac{q(q+1)}{2!} \Delta^2 y_{n-1} + \dots + \frac{q(q+1) \dots (q+n-1)}{n!} \Delta^n y_n$</p> <p>в) $y(x) = y_0 + q \Delta y_0 + \frac{q(q-1)}{2!} \Delta^2 y_0 + \dots + \frac{q(q-1) \dots (q-n+1)}{n!} \Delta^n y_0$</p> <p>г) $f(x) = y(x) = \prod_{i=1}^n \frac{y_i}{(t - t_i) C_i}$</p> <p>Далі ►</p>

особливостями застосування та специфікою. Освітня компонента «Методи обчислень» є доволі складною для опанування в рамках традиційних форм навчання. Створена навчальна система дозволяє швидко і якісно засвоїти студенту навчальний матеріал і, володіючи навичками програмування, самостійно провести розробку необхідного алгоритму, програмно його реалізувати, проаналізувати отримані результати.

Для розробки навчальної системи використано середовище C++ Builder. Програми, реалізовані

у даному середовищі, є мобільним, можуть бути виконані на комп'ютерах різних виробників та у різних операційних системах. Такі навчальні системи дозволяють студенту ознайомитися з теоретичним матеріалом та програмною реалізацією методів. При успішному засвоєнні освітньої компоненти, студент може правильно вибрати серед відомих методів найбільш ефективний у конкретній ситуації, уміло поєднати різні методи в ході розв'язання задачі та проаналізувати отримані результати.

```

void __fastcall Ttest1::FormActivate(TObject *Sender)
{
    mark=0;
}
void __fastcall Ttest1::Image4Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton5->Checked) mark++; Panel3->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image6Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton11->Checked) mark++; Panel4->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image8Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton12->Checked) mark++; Panel5->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image10Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton18->Checked) mark++; Panel6->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image12Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton20->Checked) mark++; Panel7->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image14Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton25->Checked) mark++; Panel8->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image16Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton29->Checked) mark++; Panel9->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image18Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton35->Checked) mark++; Panel10->BringToFront();
}
void __fastcall Ttest1::Image20Click(TObject *Sender)
{
    if(RadioButton37->Checked) mark++; Label2->Caption=IntToStr(mark), "/10";
}
void __fastcall Ttest1::FormClose(TObject *Sender, TCloseAction &Action)
{
    test1->Refresh(); RadioButton1->Checked=False;
}
    
```

Рис. 8. Програмний код результатів тестування

Список літератури:

1. Авраменко В.С., Авраменко А.С. Проекування інформаційних систем: навч. посібник, Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.
2. Гаврилюк І.П., Макаров В.Л. Методи обчислень: У 2 ч., Київ: Вища школа, 1995.
3. Ковалевський В.М. Технології розробки програмного забезпечення. Завдання і алгоритми команд для практикуму з візуального програмування прикладних програм в C++ Builder : навчальний посібник, Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 185 с.
4. Лазурчак І.І., Лазурчак Л.В. Методи обчислень: курс лекцій, Дрогобич: Видавничий відділ ДДПУ імені І. Франка, 2013. 92 с.
5. Цегелик Г.Г. Чисельні методи: підручник, Львів: Видавничий центр ЛНУ імені І. Франка, 2004. 408 с.
6. Шпак З.Я. Програмування мовою С., Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. 436 с.

Lazurchak L.V., Doroshenko M.V. COMPUTER SUPPORT FOR STUDYING THE EDUCATIONAL COMPONENT “METHODS OF CALCULATIONS”

The practical experience of teaching the educational component "Calculation methods" in institutions of higher education convinces of the difficulty of learning the educational material in the conditions of traditional forms of education. For better and more effective learning of this educational material, the article offers computer support for the educational process, in particular, the authors have created an educational system that allows you to quickly and conveniently learn the proposed methods, carry out software development of the necessary algorithm for solving the problem, and analyze the results obtained. The article reveals the importance of such computer support, which greatly facilitates students' perception of theoretical material and demonstrates the software implementation of the task. The authors of the article demonstrated that the use of this software product in classes allows the student to improve programming skills when performing the proposed individual tasks and facilitate the study of this educational component.

It was found that the correct choice of the most effective method, among the known calculation methods, for solving the given problem is possible only with a thorough study of the theoretical part.

The educational effect of the developed system is predicted, as the student is offered the programmatic implementation of the presented methods using C++ Builder. This programming environment is chosen because the programs that are implemented in it are mobile and independent of both the computer manufacturer and the settings of the operating system in it.

The article presents the test part, which is a component of the developed computer system, which checks the quality of knowledge and, in case of a negative result, allows re-study of the material. To master this educational component, the test results obtained by the students were analyzed in detail, which allows the teacher to make effective corrections in the educational process, and therefore to achieve successful results in education.

Key words: calculation methods, educational system, students of a higher education institution, programming environment.

Нікітенко Є.В.

Національний університет біоресурсів та природокористування України

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНОГО ЗАКОНУ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

Авторами розроблено інформаційну систему моделювання фізичних законів на прикладі віртуальної лабораторної роботи для вивчення основного закону динаміки обертального руху. Комп'ютерне моделювання різних фізичних експериментів давно стало невід'ємною реальністю віртуального освітнього середовища. Віртуальні демонстрації та комп'ютерне моделювання фізичних процесів та явищ дуже поширені на ринку програмних продуктів. Ці системи мають загальну назву – віртуальна лабораторна робота, і є гідною альтернативою реальним лабораторним практикумам. На сьогодні є великий попит на такі програмні продукти. Найбільш активним споживачем є середня школа, а у вищих навчальних закладах така практика поступово інтегрується у навчальний процес, особливо там, де фізика не є базовою дисципліною для підготовки бакалаврів.

Актуальність роботи обумовлюється тим, що у зв'язку з постійною комп'ютеризацією суспільства та з погіршенням або дефіцитом матеріального забезпечення існує попит серед вищих навчальних закладів на комп'ютерні системи моделювання фізичних законів, а саме віртуальні лабораторні роботи, що допомагають студентам краще засвоїти складний матеріал, можуть мати багатий набір варіантів завдань та дозволяють проводити досліди з пристроями, які є небезпечними для життя, і моделювати умови, які неможливо створити у реальних лабораторіях.

У якості фізичної задачі було обрано основний закон динаміки обертального руху, теоретичний матеріал якого часто складно засвоюється студентами, особливо без проведення лабораторних робіт з реальними приладами.

Ключові слова: комп'ютерна система, моделювання фізичних законів, віртуальна лабораторна робота, закон динаміки обертального руху, фізична модель, OSGi, Java, JavaScript, контент.

Постановка проблеми. Однією з необхідних умов для успішного засвоєння навчального матеріалу студентами є проведення практичних занять. Це, в першу чергу, лабораторні роботи, на яких можна практично протестувати різні хімічні, фізичні та інші закони природи. На жаль, не завжди у навчальних закладах є можливість проводити експерименти на практиці. В результаті існують ситуації в навчальних закладах, де не вистачає, наприклад, хімікатів, і багато експериментів потребують дорогого обладнання. Крім того, часто лабораторне обладнання в школах та університетах просто застаріле або в дефіциті і сам процес дослідження вимагає значного часу і не викликає у студентів інтересу.

Однак сучасні інформаційні технології дозволяють частково компенсувати такі недоліки за допомогою спеціальних комп'ютерних систем – віртуальних лабораторних робіт. Це спеціальні комп'ютерні програми, що забезпечують моделювання різних процесів на комп'ютерах.

Подібні віртуальні лабораторні роботи мають безліч переваг для впровадження у навчальний процес та є альтернативою до реальних лабораторних занять.

Переваги віртуальних лабораторних робіт [1]:

1. Віртуальні лабораторні роботи надають можливість впровадження візуалізації фізичного закону на прикладі віртуального експерименту у лекцію або практичне заняття без підготовки спеціального обладнання.

2. Використання віртуальних лабораторних робіт дозволить навчати на достойному рівні навіть з низьким рівнем матеріального забезпечення навчального закладу.

3. Надається можливість проводити експерименти, які є небезпечними при проведенні в реальних умовах.

4. Надається можливість провести експеримент з критичними параметрами, що неможливо за реальних умов.

5. Проводити експеримент може кожен, хто має комп'ютер, без ризиків для життя та працездатності обладнання.

При дистанційній формі навчання, коли студенти не мають можливості проводити реальні лабораторні роботи, віртуальні лабораторні роботи є вкрай необхідні. Вони можуть бути представлені як у вигляді веб-додатків, так і у вигляді настільних програм.

Формулювання цілей статті

Метою статті є створення комп'ютерної системи моделювання основного закону динаміки обертального руху у вигляді віртуальної лабораторної роботи.

Для досягнення цієї цілі було поставлено такі завдання:

- вивчити існуючі аналоги інформаційних комп'ютерних систем, що візуалізують фізичні експерименти та проаналізувати їх недоліки та переваги;
- розробити вимоги та технічне завдання для комп'ютерної системи, яка покриє недоліки аналогів та буде здатна до розширення та підтримки;
- спроектувати систему та допоміжні модулі;
- створити програмну частину – віртуальну лабораторну роботу, як модуль системи для вивчення основного закону динаміки обертального руху у вигляді веб-додатку;
- зробити тестування системи.

Теоретичною основою дослідження стали концепція побудови комп'ютерних систем з використанням специфікації OSGi, документація існуючих бібліотек для моделювання фізичних експериментів та положення щодо архітектури багатомодульного програмного додатку.

Виклад основного матеріалу. Проаналізувавши доступні аналоги віртуальних лабораторних робіт, були створені вимоги для майбутньої системи. При цьому були сформовані функціональні і системні вимоги та вимоги до інтерфейсу. До функціональних вимог системи можна віднести:

- деталізоване моделювання фізичних процесів;
- володіння можливостями до розширення контенту та функціоналу;
- можливість виконання лабораторної роботи за шаблоном або шаблонами, представленими до кожного експерименту;
- позбавлення користувачів самостійних складних та великих розрахунків, надавши до шаблону лабораторної спеціалізовані калькулятори;
- надання можливості вибрати переклад опису експерименту та шаблонів лабораторних робіт міжнародною мовою;
- система повинна детально та поступово симулювати експеримент зі зрозумілими підказками.

Разом з функціональними вимогами були сформовані системні вимоги:

- архітектура додатку повинна бути реалізована з використанням специфікації OSGi і сервісної платформи для Java-додатків;
- система повинна містити модуль моделювання фізичних експериментів, які написані мовою програмування JavaScript;
- система повинна мати можливості для керування контентом, що полегшить організацію, управління та доставку авторського контенту;
- система повинна бути реалізована у вигляді зручного веб-додатка;
- система повинна бути спроможною інтегруватися, як додаток, або, як допоміжний ресурс, для систем дистанційного навчання вищих навчальних закладів.

Також були розроблені вимоги до інтерфейсу системи. Інтерфейс повинен містити:

- компонент з моделюванням фізичного експерименту;
- компонент для конфігурації експериментальної установки;
- компонент з шаблонами лабораторних робіт, що містять теоретичні відомості, опис установки, порядок та хід проведення;
- компонент с допоміжними калькуляторами для спеціалізованих розрахунків;
- форму для збереження проміжних результатів експерименту;
- компонент для відправки отриманих результатів на перевірку;
- компонент з підказками.

Враховуючи всі вимоги, які були поставлені до системи, було вирішено використовувати дворівневу архітектуру «клієнт-сервер», яка розділяє завдання або навантаження між постачальниками ресурсу або сервісу, що називаються серверами, та споживачами служб, які називаються клієнтами. Клієнт не надає ніякого ресурсу, але запитує контент або службову функцію у сервера. Сервери та клієнти мають окреме програмне забезпечення. Клієнти починають спілкування з серверами, які чекають на вхідні запити.

Клієнтська сторона – це сторінка сайту у веб-браузері з віртуальною лабораторною роботою, а сервер – це окреме програмне забезпечення, що має свої сервіси для контенту. Зрозуміло, що сервер і клієнт відповідають за різні функції, і тому для їх надання існує зовсім різний стек технологій. Тому слід розглянути вибір технології для кожної з цих частин окремо.

Серверна частина

Серверна частина відповідає за збереження, модифікацію, відновлення та керівництво даними. Специфікація OSGi була вибрана через те, що її мета задовольняє наші потреби, адже вона дає модель для побудови програм з компонентів, пов'язаних разом за допомогою сервісів. Суть полягає в можливості переінсталяції динамічних компонентів і складових частин програми без необхідності її зупинки і перезапуску.

Плагіни платформи OSGi містять Java-класи та інші ресурси, які разом можуть реалізовувати деякі функції, а також надавати послуги і пакети іншим плагінам. Конструктивно, плагін може бути або каталогом, або jar-архівом. Основний спосіб взаємодії між плагінами здійснюється за допомогою сервісів (об'єктів, які зареєстровані в ядрі системи з заявленими реалізованими інтерфейсами). Плагіни реєструють сервіси для надання певної функціональності іншим плагінам. Крім цього, фреймворк OSGi надає механізм створення і обробки подій, управління імпортом/експортом java-пакетів і бібліотек, набір класлоадерів, методи адресації ресурсів [2].

В якості прикладів тематики плагінів можна виділити наступні:

- UI-шаблони, UI-компоненти, сторінки, стилі, скрипти;
- контролери для взаємодії клієнта з сервером;
- сервіси, провайдери та інші утилітарні класи для обслуговування запитів всередині сервера.

Основною метою роботи є створення програмного продукту, що інтегрується у навчальний процес, тому вибір фреймворку OSGi є цілком доречним, оскільки, завдяки його можливостям, можна без перезапуску додатку встановлювати, підключати, відключати і оновлювати модулі системи. Це означає, що не потрібно зупиняти сервер, встановлювати нову версію програми, перевіряти та запускати сервер [3].

Під час проектування серверної частини комп'ютерної системи було запропоновано спроектувати прототип системи з використанням особливостей систем управління контентом. Адже тоді, вимога щодо можливості управління контентом задовольняє відразу декілька інших вимог.

Система керування вмістом (СКВ) – інформаційна система або комп'ютерна програма, яка використовується для забезпечення і організації спільного процесу створення, редагування і управління контентом.

Основними функціями СКВ є:

- надання інструментів для створення вмісту, організація спільної роботи над контентом;

- управління контентом: зберігання, контроль версій, дотримання режиму доступу, управління потоком документів;

- публікація контенту;
- подання інформації у вигляді, зручному для навігації та пошуку.

В системі керування вмістом можуть перебувати найрізноманітніші дані: документи, фільми, фотографії, номери телефонів, наукові дані і т.і. Така система часто використовується для зберігання, управління, перегляду і публікації документації. Контроль версій є одним з основних її переваг, коли вміст змінюється групою осіб.

Більшість сучасних СКВ мають модульну архітектуру, що дозволяє адміністратору самому вибирати і налаштовувати ті компоненти, які йому необхідні. В нашій системі можна виділити такі компоненти:

- компонент з візуалізацією фізичного експерименту;
- панель для шаблонів лабораторних робіт;
- шаблон лабораторної роботи;
- спеціалізовані калькулятори;
- форми та таблиці для інтерактивного виконання та заповнення результатів.

Сайти, які організовані за допомогою системи керування вмістом, базуються на наступних технологіях: веб-сервер, сховище даних (зазвичай СУБД, наприклад, такі, як MySQL або PostgreSQL, але існують і noSQL), веб-додаток для забезпечення роботи самої системи, візуальний редактор сторінок, файловий менеджер з веб-інтерфейсом для управління файлами сайту, система управління правами користувачів і редакторів сайту.

Існує термін «контент-менеджер», який означає вид професійної діяльності редактора сайту або співробітника, який працює з СКВ. Так як планується інтеграція з системами дистанційного навчання, то таку роль можуть отримати викладачі. За допомогою таких привілеїв вони зможуть самостійно створювати сторінки з новими реалізаціями моделювання фізичних процесів, додавати авторські шаблони для виконання лабораторного практикуму та створювати спеціалізовані калькулятори.

Головною метою створення на серверній стороні системи керування вмістом полягає в тому, щоб створити для викладачів платформу для створення власних прикладів лабораторних практикумів з існуючих компонентів, що можуть конфігуруватися. Тобто, якщо будуть існувати компоненти, які моделюють установку та експерименти, компоненти опису лабораторного практикуму, компоненти спеціалізованих калькуляторів та

різноманітні шаблони форм, таблиць для збереження результатів, то автор зможе створити власну віртуальну лабораторну роботу. Більш того, якщо автор володітиме спеціальними правами, то матиме змогу самостійно створювати компоненти та шаблони, щоб розвивати, удосконалювати систему та покривати потреби у необхідних компонентах.

Клієнтська частина

Клієнтська частина – це те, що бачить користувач. Так як задовольнити потреби кожного користувача у зручності інтерфейсу дуже важко, було запропоновано приблизити вигляд веб-додатку до аналогів. Тобто користувач не матиме необхідності у вивченні нового інтерфейсу, а буде орієнтуватися завдяки досвіду користувача.

Майже всі симуляції фізичних експериментів у аналогів виконані з використанням flash-анімацій. На сьогоднішній день розробники сайтів намагаються уникати flash-анімацій, бо вони мають низку недоліків:

- технологія flash-анімації вимагає додаткових системних ресурсів, тому існує велика ймовірність втрати клієнтів з нешвидким Інтернет-каналом і комп'ютерами невисокої продуктивності;
- у відвідувачів не завжди є можливість запустити flash-додаток, іноді необхідно встановити плагін або оновити його до необхідної версії;
- деякі браузерери потребують дозвіл на використання flash-анімацій.

На заміну flash-анімаціям фізичних експериментів запропоновано використання іншої технології для створення візуальних ефектів. В нашому випадку це мова програмування JavaScript, яка буде вимальовувати 2D-експеримент на веб-сторінці на такому елементі HTML, як canvas-полотно. Написання програмного коду для скрипта на JavaScript для візуалізації фізичної установки є нетривіальною задачею. Тому це створює незручності, оскільки для того, щоб симулювати фізичний експеримент, треба дотримуватися законів и запрограмувати відповідні правила.

Щоб уникнути цього була проаналізована наявність безкоштовних JavaScript-бібліотек. Зазвичай ці бібліотеки мають вбудовані фізичні закони. До таких бібліотек відносяться наступні [4][5][6]:

- Matter.js;
- Planck.js;
- P5.js;
- Physics.js;
- Vox2D.js.

В основному ці бібліотеки розраховані на створення веб-браузерних ігор та розважального контенту. Використання цих інструментів для

створення скриптів для моделювання фізичних процесів є більш доречним. Але всі мають свої обмеження у вигляді малої бази написаного коду та складності документації. Кожна з розглянутих бібліотек була не в змозі при дослідженні основного закону динаміки обертального руху надати можливості для програмування тросу, який перекинутий через нерухомий вал. Також фреймворки не надають можливості для реалізації накладених компонентів, а саме хрестовини у маятника.

Для реалізації інших компонентів, необхідних для віртуальної лабораторної роботи, краще за все підходить нова версія мови розмітки HTML5. Ця технологія описує та визначає вміст веб-сторінки разом із основним макетом веб-сторінки. Головною метою використання цієї технології у рамках системи є розподіл складових віртуальної лабораторної роботи на семантичні компоненти, які будуть точно та конкретно описувати те, що представляє собою даний контент.

Також для презентації та відображення веб-сторінки підходить формальна мова опису зовнішнього вигляду сторінки CSS. CSS застосовується до документів, що написані за допомогою мови розмітки, тому вибір цих технологій є цілком обумовленим.

Діаграми прецедентів та класів

При проектуванні системи були розроблені діаграми прецедентів та класів. Діаграма прецедентів (рис. 1) показує взаємозв'язок між користувачем та різними випадками використання, в яких користувач бере участь.

Мета діаграми прецедентів полягає в тому, щоб забезпечити високий рівень перегляду системи та передати вимоги, викладені на загальних умовах.

Під час проектування клієнтської частини були виявлені наступні класи-кандидати:

1. OberbekWheel, який представляє фізичну модель маятника Обербек;
2. OberbekWheelView, який відповідає за графічне зображення та анімацію маятника Обербек;
3. DrawCanvas2DService – утилітарний сервіс, що взаємодіє з canvas-елементом у веб-документі та відповідає за зображення примітивних фігур.

Ці класи були розроблені за допомогою патерна проектування MVC (Model – View – Controller). На основі класів-кандидатів була створена діаграма класів (рис. 2).

Реалізація комп'ютерної системи

Концепція показу контенту для клієнту полягає у відображенні набору готових компонентів відповідно до шаблону. Це означає, що контент-автор наповнює шаблон веб-сторінки необхідними компонентами, який потім стає суцільною веб-

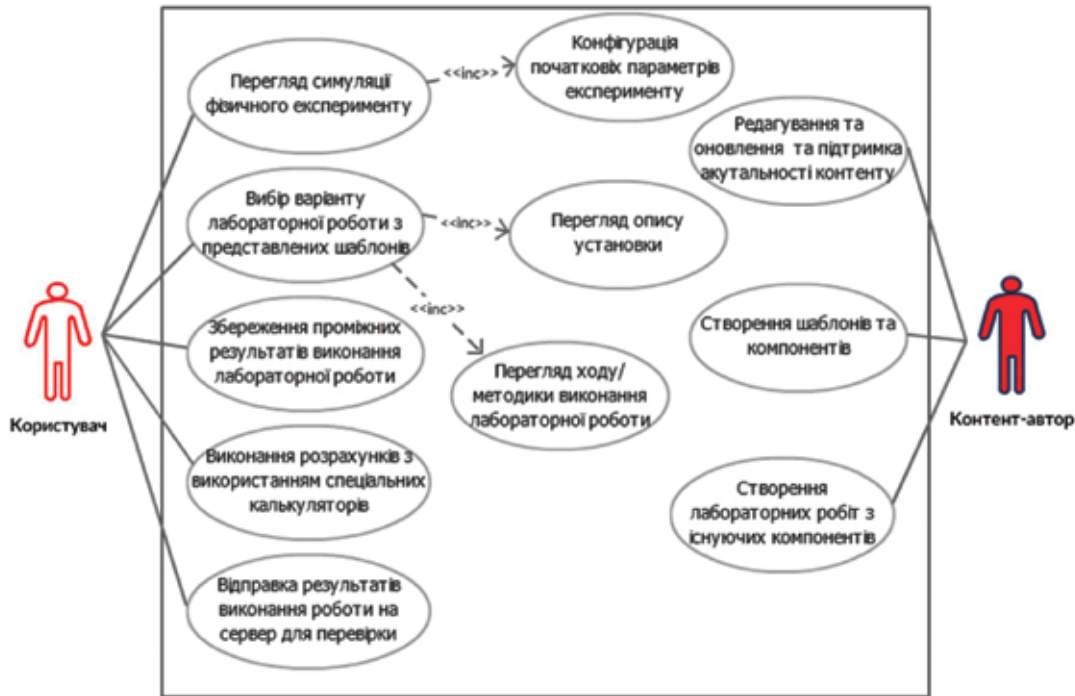


Рис. 1. Діаграма прецедентів

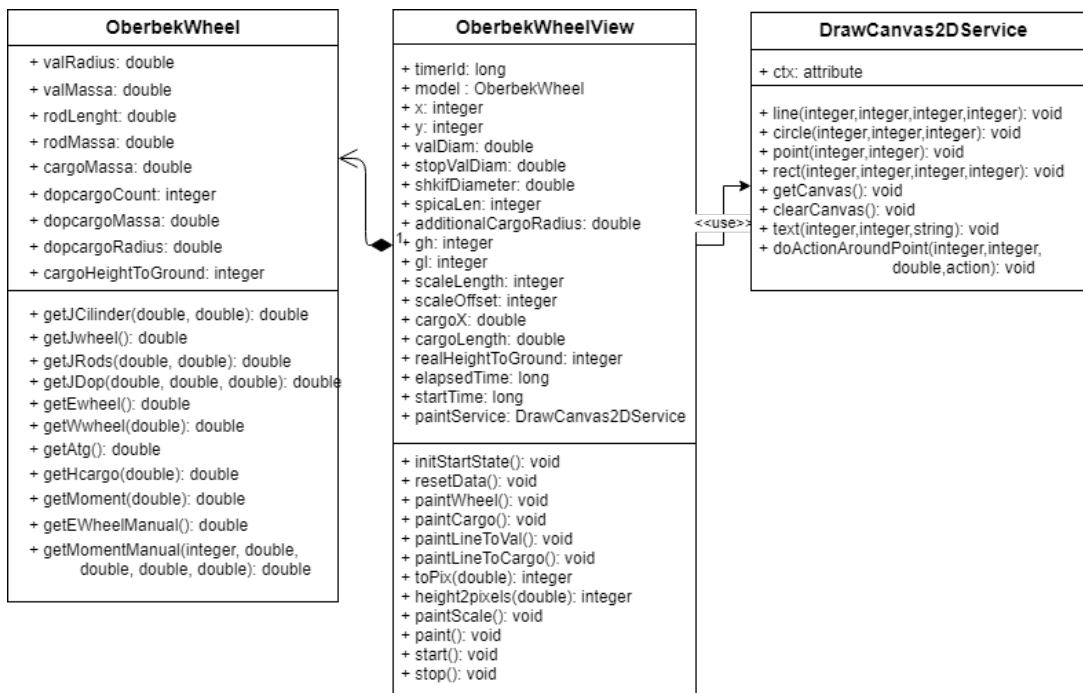


Рис. 2. Діаграма класів

сторінкою з готовою для виконання віртуальною лабораторною роботою.

Так як ключовими одиницями клієнтської програми є шаблон та компонент, то процес реалізації клієнтського програмного забезпечення було розділено на декілька частин:

1. Створення шаблону структури віртуальної лабораторної роботи;

2. Реалізація компонентів, необхідних для віртуальної лабораторної роботи.

Для створення шаблону були проаналізовані такі компоненти:

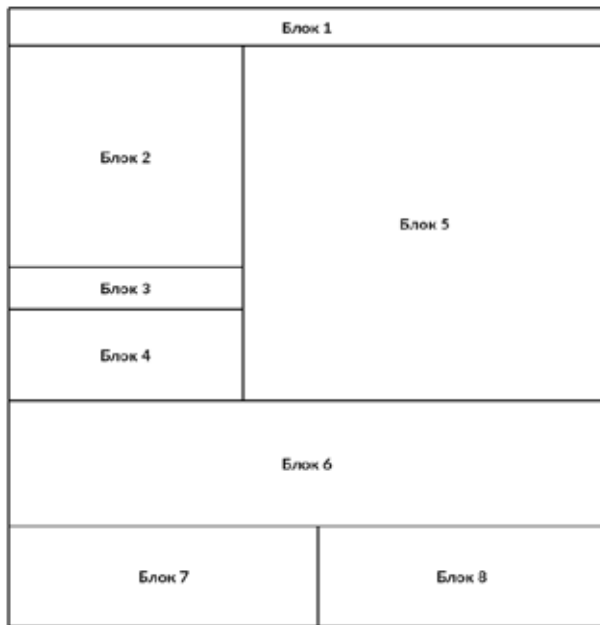


Рис. 3. Шаблон віртуальної лабораторної роботи

1. Компонент візуалізації фізичного експерименту;
2. Компонент з варіантами лабораторних робіт;
3. Компонент зі спеціальними калькуляторами;
4. Компонент з таблицею отриманих результатів;
5. Компонент з формою відправки результатів на сервер.

Базуючись на аналогах, переліку компонентів та їх семантичному значенні для віртуальної лабораторної роботи був розроблений шаблон (рис. 3).

Шаблон розділений на блоки, які призначені для конкретного компоненту:

1. Блок 1 – для компоненту, що містить тему та категорії лабораторної роботи, ім'я автора.
2. Блок 2 – для компоненту, що моделює фізичний експеримент.
3. Блок 3 – для компоненту, що контролює симуляцію фізичного експерименту.
4. Блок 4 – для компоненту, що представляє різноманітні конфігурації обладнання для фізичного експерименту.
5. Блок 5 – для компоненту, що містить варіанти лабораторних робіт з описом фізичної установки, теоретичним матеріалом, методичними вказівками та ходом роботи.
6. Блок 6 – для компоненту, що містить таблицю результатів, отриманих під час проведення експерименту.
7. Блок 7 – для компоненту, що представляє спеціалізовані до лабораторної роботи калькулятори.
8. Блок 8 – для компоненту, що містить форму для відправки отриманих результатів на сервер або для відображення службової інформації.

Шаблон містить мінімально необхідний набір компонентів, які повинні брати участь у віртуальній лабораторній роботі, тому він здатний підлаштуватися під різні типи віртуальних лабораторних робіт. Однією з головних властивостей розробленого шаблону є те, що за відсутності одного з блоків, структура шаблону залишається незмінною, а значить відображення теж не зазнає змін.

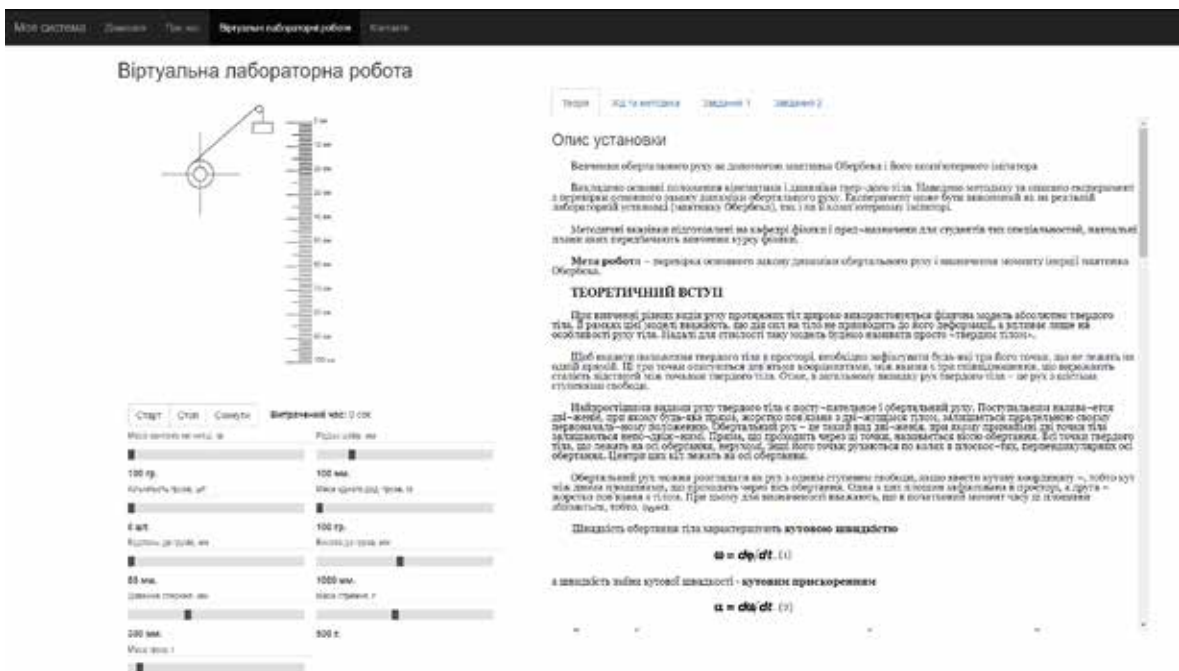


Рис. 4. Зовнішній вигляд частини підготовленої веб-сторінки

Таблиця результатів експерименту

№ пп	m, кг	r, м	h, м	t, сек	t _{сп} , сек	M, Н * м	ε, рад/с ²	
1	0.1	0.01	4.48	4.48	4.48	0.0965	1.0067	--
				4.481				
				4.48				
2	0.5	0.01	1	4.52	4.521	0.0971	0.9859	--
				4.521				
				4.521				
3	0.1	0.02	1	1	2.321	0.1885	1.9235	--
				2.321				
				2.32				
4	0.5	0.02	1	2.4	2.4	0.1890	1.7839	--
				2.41				
				2.4				

Калькулятори

Час	Обчислити		Кутове прискорення
Час	Обчислити		Момент сили
Обчислити			Момент інерції

Форма для відправки результатів

Ім'я:

Емейл:

Деталі:

Комп'ютерна система моделювання фізичних процесів

Рис. 5. Зовнішній вигляд частини підготовленої веб-сторінки

Веб-сторінка віртуальної лабораторної роботи

Після реалізації усіх необхідних компонентів на основі попереднього шаблону була створена веб-сторінка (рис. 4, рис. 5).

Висновки. В роботі були сформовані функціональні і системні вимоги та вимоги до інтерфейсу. Для деталізації варіантів використання програми була створена діаграма прецедентів, а для зручної реалізації – діаграма класів.

Були розглянуті найбільш доречні інструменти для реалізації системи як для серверної частини, так і для клієнтської. Для серверної частини було вибрано OSGi-технологію з мовою програмування Java. Для клієнтської частини було вибрано стек тех-

нологій HTML5, CSS з використанням бібліотеки Bootstrap та JavaScript. Із-за відсутності готових JavaScript 2D-фізичних рушіїв, які могли б візуалізувати фізичний процес, було вирішено реалізувати моделювання з використанням фізичної моделі, створеної на основі аналітичних формул.

Було створено клієнтську частину комп'ютерної системи моделювання закону динаміки обертового руху, яка представлена у вигляді працюючої веб-сторінки з віртуальною лабораторною роботою.

Процес тестування клієнтської частини показав працездатність розробленої системи. Шляхом виконання розрахунків наведених у лабораторній роботі було визначено, що фізична модель відповідає дійсності.

Список літератури:

1. Гергова И.Ж., Коцева М.А., Ципинова А.Х., Шериева Э.Х., Азизов И.К. Виртуальные лабораторные работы как форма самостоятельной работы студентов [Електронний ресурс]// Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 1. – с. 94-98; URL: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=36562>
2. Sunil Patil. Hello, OSGi, Part 1: Bundles for beginners [Електронний ресурс]// Creating, executing, and managing bundles in an OSGi container, 2008-2018. URL: <https://www.javaworld.com/article/2077837/application-development/java-se-hello-osgi-part-1-bundles-for-beginners.html>
3. Павел Самолисов. Введение в OSGi.[Електронний ресурс]// Знакомимся с "серебряной пулей" для разработки модульных приложений, 2009-2018. URL: <http://samolisov.blogspot.com/2009/03/osgi.html>
4. Liam Liabru. Git Hub Repository. [Електронний ресурс]// Matter.js, 2017-2018. URL: <https://github.com/liabru/matter-js/wiki>
5. Ali Shakiba. Git Hub Repository. [Електронний ресурс]// Planck.js, 2018. URL: <https://github.com/shakiba/planck.js>
6. Processing Foundation. Processing. [Електронний ресурс]// p5.js as a JS client-side library for creating graphic and interactive experiences, based on the core principles of Processing, 2017-2018. URL: <https://p5js.org/reference/>

Nikitenko Ye.V., Guida O.G. INFORMATION SYSTEM OF SIMULATION OF THE BASIC LAW OF THE DYNAMICS OF ROTATIONAL MOTION

The authors developed an information system for modeling physical laws using the example of virtual laboratory work to study the basic law of rotational motion dynamics. Computer modeling of various physical experiments has long become an integral reality of the virtual educational environment. Virtual demonstrations and computer simulations of physical processes and phenomena are very common in the market of software products. These systems have a common name - virtual laboratory work, and are a worthy alternative to real laboratory practices. Today there is a great demand for such software products. The most active consumer is the secondary school, and in higher educational institutions such practice is gradually integrated into the educational process, especially where physics is not a basic discipline for the preparation of bachelors.

The relevance of the work is determined by the fact that in connection with the constant computerization of society and with the deterioration or shortage of material support, there is a demand among higher educational institutions for computer systems for modeling physical laws, namely virtual laboratory work that helps students better learn complex material, can have a rich set of task options and allow experiments with devices that are life-threatening and simulate conditions that cannot be created in real laboratories.

As a physical problem, the basic law of the dynamics of rotary motion was chosen, the theoretical material of which is often difficult for students to learn, especially without conducting laboratory work with real devices.

Key words: *computer system, simulation of physical laws, virtual laboratory work, law of dynamics of rotary motion, physical model, OSGi, Java, JavaScript, content.*

УДК 004.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/18>

Новак Д.С.

Київський національний університет технологій та дизайну

Мошенський А.О.

Національний університет харчових технологій

Олещенко Л.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Медведєв М.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Лісовець С.М.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯМ МОБІЛЬНИМ РОБОТОМ

Кожна епоха має власні уявлення про те, що є сучасним, зручним, необхідним і прекрасним. На сьогодні, завдяки науково-технічному прогресу, те, що вважалося фантастичним, стало нашою реальністю, особливо в області комп'ютерної інженерії.

Наразі ми живемо у світі високих технологій, а роботи стали нашою реальністю. Історія розвитку робототехніки бере початок ще з глибокої стародавності, у ті часи, коли вперше виникли ідеї й були початі перші спроби створення людиноподібних пристроїв, статуї з рухливими частинами, механічні слуги, тощо.

Стрімкий розвиток робототехніки, переважно за останні декілька десятиліть років, значно збагатив науково-технічний прогрес й представив людству нові засоби автоматизації, від промислових до персональних роботів.

У XXI сторіччі широко використовуються комерційні та промислові роботи для виконання різної роботи. Роботи точніші та надійніші за людей. Роботів також доцільно застосовувати у роботах, які небезпечні для людини.

Робототехніка на сьогодні займає передову позицію в інноваційних комп'ютерних технологіях. Ця галузь є яскравим прикладом популярного в світі напрямку STEAM, який поєднує в собі природничо-наукові дисципліни з інноваційними технологіями.

Робототехнічні системи являють собою базу автоматизації промислової, медичної, транспортної, військової, аерокосмічної та багатьох інших галузей діяльності людей які виконують різноманітні функції. Тобто, найближчим часом роботи стануть невід'ємною частиною нашого життя, а мобільні девайси будуть задіяні у всіх сферах діяльності людини.

Метою даної роботи є розроблення програмно-апаратного забезпечення управлінням мобільним роботом на базі мікроконтролера ESP8266 з використанням програмно-апаратних способів реалізації. Для досягнення поставленої мети необхідне виконання наступних задач: оволодіння сучасними методами збору, аналізу та обробки інформації для управління мобільним роботом; аналіз архітектури робота та розробка схем алгоритмів роботи мобільного робота; розробка програмно-апаратного забезпечення управління мобільним роботом.

У статті проведено: дослідження математичної та фізичної моделі робота-навука, розробка й тестування програмно-апаратного забезпечення управління мобільним крокуючим роботом.

Ключові слова: робототехніка, мобільний робот, програмне забезпечення, апаратне забезпечення, крокуючий робот.

Постановка проблеми. У світі відбувається стрімке зростання темпу впровадження роботів у промисловості та побуті. За останній рік у світі було продано понад 600 тисяч промислових роботів, а за оцінками фахівців у 2023 році це число досягне близько 750 тисяч [1]. Більшість впроваджених роботів – це роботи, які застосовуються в приміщенні, тобто Indoor типу. Обсяги світового ринку Indoor роботів також стрімко зростають і до 2026 року досягнуть 50 мільярдів доларів [2]. До існуючої статистики включені всі промислові роботи Indoor типу, проте більшість із них – це мобільні робототехнічні платформи, що впроваджуються у складські приміщення та туди, де особливо важлива швидкість та точність перевезення вантажів.

Повсюди відбувається заміщення людини роботами та залучення мобільних роботів для вирішення завдань, які раніше вирішувалися без їх використання. Процес впровадження мобільних роботів на виробництво дуже трудомісткий. Необхідно розробити систему управління цим роботом, а також підготувати інфраструктуру приміщення, в якому буде експлуатуватися мобільний робот. Усі ці завдання входять у поняття побудови програмно-апаратного забезпечення управління мобільним роботом.

Постановка задачі. Метою роботи є розробка програмно-апаратного забезпечення для управління мобільною робото технічною платформою на базі мікроконтролера ESP8266, з використанням програмно-апаратних способів реалізації.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз наявних систем управління мобільними роботами, була розроблена структурна схема, був зроблений вибір програмних та апаратних компонентів та розроблено функціональну схему. Також було побудовано систему прийому передачі даних між компонентами та виведено математичну модель мобільних платформ. Побудова системи управління та модель для зняття параметрів з мобільної платформи розроблені з використанням мови програмування C++ та на базі мікроконтролера Espressif.

Одним з найбільш швидкозростаючих напрямків робототехніки є мобільна робототехніка (МР). МР можна розділити на дві категорії: одна – це робот з дистанційним керуванням, а інша – робот, який може виконувати певні дії в автономному режимі. У більшості випадків роботом керує людина-оператор на рівні руху, що вимагає від людини постійного спостереження за роботом і швидкого контролю за його рухами. Такий підхід визначається нездатністю робота приймати самостійні рішення і має багато недоліків, таких як необхідність організації та підтримки каналів зв'язку з людьми-операторами (через кабельний або радіо зв'язок), які значно обмежують дальність роботи робота.

Крім того, не завжди можна правильно оцінити ситуацію на основі телеметрії та належним чином керувати нею. Може статися, що мобільний робот знаходиться поза зоною моніторингу або втратить зв'язок з ним. У таких випадках робот повинен автоматично визначати типи виникаючих перед ним перешкод і вибирати відповідний спосіб їх подолання.

Розроблену систему управління мобільним роботом можна виразити як взаємозв'язок між кількома підсистемами та зовнішнім середовищем та системою керування ([3], рис. 1).

Системи управління рухом мобільного робота призначена для планування таких програмних траєкторій робота, які б приводили робота у вказану цільову точку в середовищі з перешкодами, враховуючи при цьому динаміку робота.

Цільовий стан системи формується системою планування траєкторії. На виході цієї системи розраховуються і формуються значення бажаної лінійної швидкості руху і кута повороту тіла з фізичних розмірів приводу (в даному випадку кут повороту валу сервоприводу).

Система реалізує взаємодію між програмним забезпеченням і апаратним забезпеченням робота. На вхідній стороні він має сигнал значення швидкості, отриманий від системи контролю руху, а на стороні виходу отримуємо зміну положення робота. Взаємодія із зовнішнім середовищем досягається за допомогою системи вимірювання інформації, яка використовує датчики для отримання інформації про стан зовнішнього середовища, що відноситься до робота. Дана інформація являється зміною для алгоритму розрахунку і побудови траєкторії руху робота, яка обробляється системою планування траєкторій.



Рис. 1. Загальна система управління роботом

Кінематика руху крокуючого мобільного робота

У робототехніці є дві основних задачі кінематики: пряма та зворотна ([4-6], рис. 2).

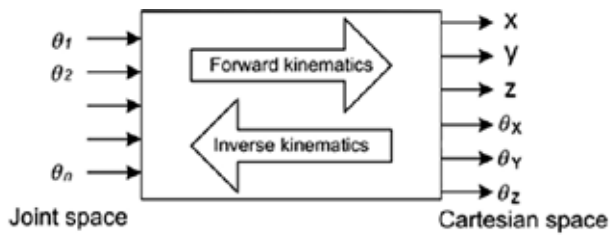


Рис. 2. Загальний вид прямої та зворотної кінематики

Пряма задача – це задача, обчислення положення (X, Y, Z) робочого органу робота за його кінематичною схемою та заданою орієнтацією (Q1, Q2...Qn) його ланок (n – число ступенів свободи маніпулятора, Q – кути повороту).

Зворотна задача – це задача, обчислення кутів (Q1, Q2...Qn) за заданим положенням (X, Y, Z) робочого органу і знову ж таки відомою схемою його кінематики.

У робототехніці, найбільш поширена зворотна кінематика. Вона є математичним процесом обчислення змінних спільних параметрів, необхідних, щоб розмістити кінець кінематичного ланцюга, такі як робот маніпулятор, в заданому положенні та орієнтації по відношенню до старту ланцюга. При заданих параметрах з'єднання положення та орієнтація кінця ланцюжка, наприклад, руки робота, зазвичай можна обчислити безпосередньо, використовуючи кілька додатків тригонометричних формул, процес, відомий як пряма кінематика. Проте зворотна операція, як правило, набагато складніша.

Кінематика робота вимагає визначення структури робота за допомогою набору ланок, які в основному є твердими тілами, і суглобів, що зв'язують їх та обмежують їх відносний рух, таких як обертальні або поступальні суглоби.

```
void Servo_PROGRAM_Center()
{
    // Очистити резервне поточне значення двигуна
    for (int Index = 0; Index < ALLMATRIX; Index++) {
        Running_Servo_POS[Index] = Servo_Act_1[Index];
    }

    // Перезавантаження попередньо встановлених значень двигуна
    for (int iServo = 0; iServo < ALLSERVOS; iServo++) {
        Set_PWM_to_Servo(iServo, Running_Servo_POS[iServo]);
        delay(10);
    }
}
```

Рис. 4. Функція Servo_PROGRAM_Center

Рух кінематичного ланцюга моделюється кінематичними рівняннями ланцюга. Ці рівняння визначають конфігурацію ланцюга з погляду його спільних параметрів.

Кінематичний аналіз – один із перших кроків у проектуванні більшості промислових роботів. Кінематичний аналіз дозволяє розробнику отримати інформацію про становище кожного компонента у механічній системі. Ця інформація необхідна для подальшого динамічного аналізу разом із шляхами управління.

Зворотна кінематика – це приклад кінематичного аналізу системи твердих тіл зі зв'язками або кінематичного ланцюга. У кінематичних рівняннях робота можуть бути використані визначення петлевих рівнянь складної шарнірної системи. Ці рівняння петля є нелінійними обмеженнями на параметри конфігурації системи. Незалежні параметри цих рівняннях відомі як ступеня свободи системи.

Всі скетчі, компілюються в програму написані в редакторі вихідного коду VSCode (рис. 3) [7]:

```
int "variable initialization";
#include "library name";
void setup() {
    // code;
}
void loop() {
    // code;
}
```

Рис. 3. Загальний вигляд VSCode

В int ініціалізується змінна, що використовується в програмі (наприклад, int Servo_PROGRAM); include використовується для підключення необхідних для роботи програми бібліотек (наприклад, #include<Servo.h>). Наприклад, функція Servo_PROGRAM_Center() має вигляд (рис. 4):

Фрагмент коду, з функцією setup наведено при- ведено на рис. 5.

```
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Q1 rini Start!");
}
```

Рис. 5. Фрагмент функції Setup

Фрагмент коду, з функцією loop наведено при- ведено у рис. 6.

```
void loop(void)
{
  // Побудова веб-сторінки
  server.handleClient();

  if (Servo_PROGRAM >= 1 ) {
    switch (Servo_PROGRAM) {
      // code }}
    }
}
```

Рис. 6. Фрагмент функції loop

Після вмикання мікроконтролер обробляє вирази між фігурними дужками функції, після закінчення виконання функції, контролер береться за нескінченне послідовне виконання програмного коду в динамічному режимі.

Переваги програмування в VSCode wiring: доступність; простий у використанні і зрозумілий інтерфейс; кросплатформеність; наявність інструментів, необхідних для роботи; вбудований набір прикладних програм; функції збереження, експорту, перевірки, пошуку, заміни ескізів.

Вибір апаратного забезпечення управління мобільним роботом

В даній роботі використовувався MPArduinoSpiderRobotR1 ([8], рис. 7), як основа для розробки програмно-апаратного управління мобільним роботом.



Рис. 7. ArduinoSpiderRobotR1

Робот R1 – чотириногий крокуючий Wi-Fi-робот, що базується на основі платформи ESP8266, використовує 8 сервоприводів та драйвер (рис. 8), яким можна керувати через веб-інтерфейс будь-якого смартфона.

NodeMCU – це платформа з відкритим кодом. Спочатку вона включала мікропрограму, яка працює на ESP8266 Wi-Fi SoC від Espressif Systems, і апаратне забезпечення, яке було засноване на модулі ESP-12. Пізніше була додана підтримка 32-розрядного MCU ESP32. Назва «NodeMCU» поєднує слова «вузол» і «MCU» (блок мікроконтролера). Термін «NodeMCU» відноситься до мікропрограми, тобто це прошивка з відкритим вихідним кодом, до якої входять проекти прототипних плат.

Сервопривід (рис. 9) найбільш поширений в робототехніці. Без нього не обійтися, особливо якщо мова йде про вирішення проблеми точного переміщення самого робота чи предметів які він повинен переміщати. Це завдання виникає при виконанні будь-яких механічних робіт (фарбуванні, зварюванні, шліфуванні, переміщення виробів по конвеєру, ходьбі, тощо).

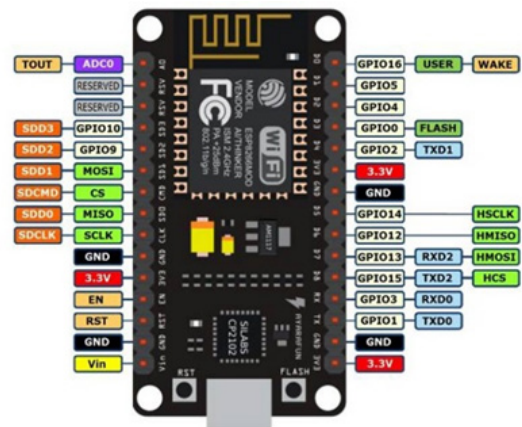


Рис. 8. NodeMCU ESP8266



Рис. 9. Micro Servo SG90 9g

Рух робота забезпечується за допомогою 8 сервоприводів, які прикріплені до тіла робота. Сервопривод – це пристрій в системах автоматичного регулювання або дистанційного керування, що за рахунок енергії допоміжного джерела здійснює механічне переміщення регулюючого органу відповідно до отримуваних від системи керування сигналів.

Алгоритм ходьби робота засновано на розв'язанні задачі зворотної кінематики, – це ланцюжок, у якому кожна ланка пов'язана з двома сусідніми ланками через шарніри.

Висновки. В даній роботі розглянуто мобільні роботи, спосіб пересування яких є кроки. В май-

бутньому роботі на ногах зможуть пробиратися туди, де людям знаходитися небезпечно. Вони будуть стрибати з парашутом у лісові пожежі для збору даних у реальному часі, бігти у палаючі будівлі у пошуках мешканців, заходити на територію катастроф, вивчаючи важкодоступні території, тощо.

Розроблено програмно-апаратне управління мобільним роботом Spider Robot R1 на базі мікроконтролера ESP8266, що базується на програмуванні мовою C++ з використанням програмно-апаратних способів реалізації. Рух даного робота забезпечується за допомогою 8 сервоприводів, які прикріплені до тіла робота, мікроконтролер ESP8266, який в цьому випадку грає роль точки доступу, та надає веб-контроль за допомогою будь-якого смартфона або браузера комп'ютера, які підключені до нього. Алгоритм роботи програми робота-павука базується на розв'язанні задачі зворотної кінематики.

Для підвищення ефективності роботи мобільного крокуючого робота в нього було вмонтовано додаткові датчики та вдосконалено алгоритм програмного забезпечення з використанням штучного інтелекту.

Список літератури:

1. Світле майбутнє: яких технологічних трендів чекати у 2022–2025 роках. *Mind.ua*. URL: <https://mind.ua/openmind/20234271-svitlye-majbutne-yakih-tehnologichnih-trendiv-chekati-u-20222025-rokah> (дата звернення: 15.08.2022).
2. Worldwide - indoor robots market size 2026 | Statista. *Statista*. URL: <https://www.statista.com/statistics/822051/global-indoor-robots-market-size/#statisticContainer> (date of access: 15.08.2022).
3. Папуша Д., Чепюк Л. Автоматизована система управління рухом робота для дослідження небезпечних приміщень. *Тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення – 2017»*. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/11/154.pdf>.
4. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. М.: Мир, 1989. 622 с. ISBN 5-03-000805-5.
5. Chakraborty E. Кинематика роботов: 9 важных фактов, которые вы должны знать | Лямбда-выродки. *Lambda Geeks*. URL: <https://ru.lambdageeks.com/robot-kinematics-forward-inverse/> (дата звернення: 15.08.2022).
6. Кинематика: прямая и обратная задачи – RoboCraft. *RoboCraft*. URL: <https://robocraft.ru/mechanics/756> (дата звернення: 15.08.2022).
7. Уроки Arduino структура программы для начинающих. *Ардуино интернет-магазин | контроллеры, датчики*. URL: https://geekmatic.in.ua/arduino_uroki_struktura_programmi (дата звернення: 15.08.2022).
8. R1 Quadruped robot mg90s. *MakerBuying Cloud*. URL: <https://cloud.makerbuying.com/index.php/s/DXeWZJETFwnxLNF?path=/Spider%20robot> (date of access: 15.08.2022).

Novak D.S., Moshenskyi A.O., Oleshchenko L.M., Medvedev M.H., Lisovets S.M.

DEVELOPMENT OF MOBILE ROBOT CONTROL SOFTWARE

Each era has its own ideas about what is modern, convenient, necessary and beautiful. Today, thanks to scientific and technological progress, what was considered fantastic has become our reality, especially in the field of computer engineering.

We live in a high-tech world, and robots has become our reality. The history of the development of robotics dates back to ancient times, in those days when ideas first arose and the first attempts were made to create humanoid devices, statues with moving parts, mechanical servants, etc.

The rapid development of robotics, mainly over the past few decades, has significantly enriched scientific and technological progress and introduced new automation tools to mankind, from industrial to personal robots.

In the 21st century, commercial and industrial jobs are widely used to perform various jobs. Work is more accurate and reliable than people. It is also advisable to use works in works that are dangerous to humans.

Robotics today occupies a leading position in innovative computer technologies. This industry is a prime example of the world's popular STEAM direction, which combines the natural sciences with innovative technologies.

Robotic systems are the basis for automation of industrial, medical, transport, military, aerospace and many other industries of people performing various functions. That is, in the near future, work will become an integral part of our lives, and mobile accessories will be involved in all areas of human activity.

The purpose of this work is to develop software and hardware for controlling a mobile robot based on the ESP8266 microcontroller using software and hardware implementation methods. To achieve these goals, it is necessary to perform the following tasks: mastering modern methods of collecting, analyzing and processing information to control a mobile robot; analysis of the robot architecture and development of schemes for the operation of a mobile robot; development of software and hardware for mobile robot control

In the research, the following was carried out: a study of the mathematical and physical model of a spider robot, the development and testing of software and hardware for controlling a mobile walking robot.

Key words: *robotics, mobile robot, software, hardware, walking robot.*

Пахомова В.М.

Український державний університет науки і технологій

Маслак А.В.

Український державний університет науки і технологій

ВИЗНАЧЕННЯ АТАК КАТЕГОРІЇ PROBE З ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИ ДАНИХ KDDCUP99 ТА НЕЙРОНЕЧІТКОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Сучасний світ неможливо уявити без комп'ютерних мереж: як локальних, так і глобальних; тому питання мережевої безпеки стає все більш злободенним. На сучасному етапі найчастіше пропонуються системи виявлення мережесевих атак, що побудовані на основі наступних нейронних мереж: багатошарового перцептронну, мережі Кохонена або самоорганізуючої карти, мережі радіально-базисних функцій. Наразі методики виявлення мережесевих атак можна підсилити використанням нейронечіткої технології, що підтверджує актуальність теми. Метою дослідження є визначення параметрів якості виявлення мережесевих атак на основі бази даних KDDCup99 та з використанням нейронечіткої технології. У якості методу дослідження використана адаптивна мережа нечіткого висновку ANFIS конфігурації 4-5-8-16-1 (де 4 – кількість вхідних нейронів; 5 – загальна кількість шарів; 8 – кількість нейронів першого прихованого шару; 16 – кількість нейронів другого прихованого шару; 1 – кількість результуючих нейронів), що створена за допомогою пакета Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB; за результуючу характеристику взято ступень впевненості, що атака відбулася з наступними термами: низький; середній; високий. На створеній ANFIS проведено дослідження похибки на вибірках різної довжини (60, 80, 100 прикладів) за різними методами оптимізації: Backprop та Hybrid. Визначено, що найменше значення похибки ANFIS склало за методом Hybrid (40 epoch), при цьому достатньо мати вибірку із 60 прикладів. Досліджено, що на ANFIS оптимальної структури значення помилки другого роду склали 0,5 %; 1,5 %; 3 %; 4 % для класів Ipsweep; Satan; Portsweep і Nmap відповідно.

Ключові слова: атака, ANFIS, похибка, вибірка, оптимізація, якість.

Постановка проблеми. Створення ефективної системи виявлення мережесевих атак вимагає застосування якісно нових підходів до обробки інформації, які повинні ґрунтуватися на адаптивних алгоритмах здатних до самонавчання. Найбільш перспективним напрямком у створенні подібних систем виявлення мережесевих атак є застосування нейронечіткої технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що для виявлення мережесевих атак можливе використання наступних нейронних мереж (НМ): багатошарового перцептронну (Multi Layer Perceptron, MLP) [3, 13, 15-17]; мережі Кохонена або самоорганізуючої карти (Self Organizing Map, SOM) [4-5, 10]; радіально-базисної мережі (Radial Basis Function Network, RBF) [7, 9]. НМ з різними топологіями (MLP, RBF, SOM) можуть визначати різні атаки, але помилкові спрацьовування також відбуваються не завжди на одних і тих самих мережесевих пакетах при аналізі за допомогою різних типів НМ. На сучасному етапі з'являються роботи на основі комбінованого підходу [1, 5-9, 11, 14], в основі одного із них: 1) використання одного із

типів НМ (MLP, RBF або SOM); 2) використання нейронечіткої мережі (ННМ) для підвищення точності виявлення, зменшення кількості помилок спрацьовувань та забезпечення більш високого рівня виявлення для нечастих атак. Однак, разом з тим важливим недоліком таких методик є відсутність універсальності їх застосування при визначенні мережесевих атак різних категорій (DoS, PROBE, R2L, U2R), проте значна кількість джерел присвячена дослідженню DoS-атак [2, 6, 8, 15]; крім того, необхідно провести додаткові дослідження стосовно оптимальної структури ННМ (кількості термів, функції приналежності, методу оптимізації, довжини вибірки).

Формулювання цілей статті. Проведені дослідження ставили за мету розвиток методики визначення атак категорії PROBE. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: розробити методику виявлення мережесевих атак з використанням нейронечіткої технології; при виконанні машинного навчання виявити оптимальні параметри ННМ, що забезпечить достатньо високий рівень достовірності виявлення

вторгнень в комп'ютерну мережу; оцінити помилки першого та другого роду при виявленні мережеских атак на створеній ННМ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Атаки PROBE полягають в скануванні мережеских портів з метою отримання конфіденційної інформації. Відомі наступні класи мережеских атак відповідно до категорії PROBE: Portswweep, Ipsweep, Satan, Nmap. У якості початкових даних використана відкрита база даних KDDCup99 [12]. У якості методу дослідження використана адаптивна мережа нечіткого висновку (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS), що поєднує методи штучної НМ та системи нечіткої логіки виводу Такагі-Сугено, структура якої подана на рис. 1.

Перший шар (input) має наступні нейрони: X1 (dst_host_srv_count) – сума підключень до того самого номера порту призначення; X2 (dst_host_srv_diff_host_rate) – відсоток підключень до різних машин призначення серед з'єднань, агрегованих у dst_host_srv_count; X3 (srv_diff_host_rate) – відсоток підключень до різних машин призначення серед з'єднань, агрегованих у srv_count; X4 (diff_srv_rate) – відсоток підключень до різних служб.

Другий шар (inputmf) має $4 \times 2 = 8$ вузлів; кожному нейрону відповідає 2 терми.

Третій шар (rule) має $2^4 = 16$ правил, які мають наступний вигляд:

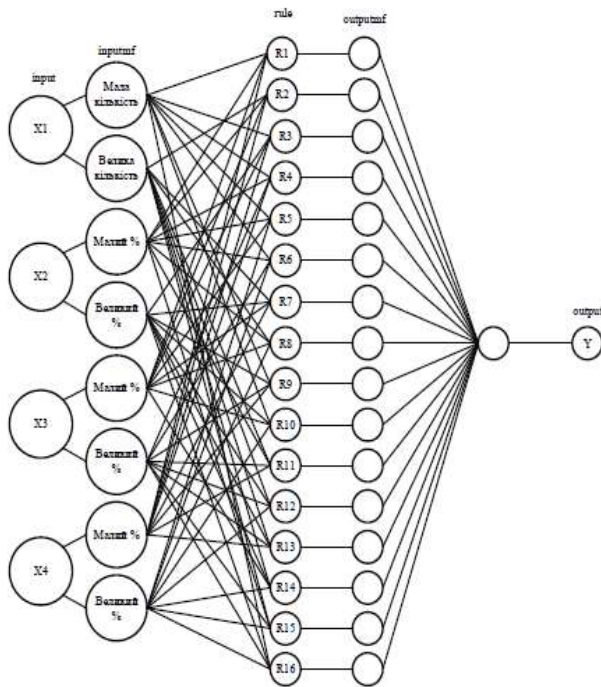


Рис. 1. Структура нейронечіткої мережі

1) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = мінімальне значення I X3 = мінімальне значення

I X4 = мінімальне значення, тоді низький ступень впевненості;

2) якщо X1 = максимальне значення I X2 = мінімальне значення I X3 = мінімальне значення I X4 = мінімальне значення, тоді низький ступень впевненості;

3) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = максимальне значення I X3 = мінімальне значення I X4 = мінімальне значення, тоді низький ступень впевненості

4) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = мінімальне значення I X3 = максимальне значення I X4 = мінімальне значення, тоді низький ступень впевненості;

5) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = мінімальне значення I X3 = мінімальне значення I X4 = максимальне значення, тоді низький ступень впевненості;

6) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = мінімальне значення I X3 = максимальне значення I X4 = максимальне значення, тоді середній ступень впевненості;

7) якщо X1 = максимального значення I X2 = максимального значення I X3 = мінімальне значення I X4 = мінімальне значення, тоді середній ступень впевненості;

8) якщо X1 = максимального значення I X2 = мінімальне значення I X3 = мінімальне значення I X4 = максимального значення, тоді середній ступень впевненості;

9) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = максимального значення I X3 = максимального значення I X4 = мінімальне значення, тоді середній ступень впевненості;

10) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = максимального значення I X3 = мінімальне значення I X4 = максимального значення, тоді середній ступень впевненості;

11) якщо X1 = максимального значення I X2 = мінімальне значення I X3 = максимального значення I X4 = мінімальне значення, тоді середній ступень впевненості;

12) якщо X1 = максимального значення I X2 = максимального значення I X3 = максимального значення I X4 = максимального значення, тоді високий ступень впевненості;

13) якщо X1 = максимального значення I X2 = максимального значення I X3 = максимального значення I X4 = мінімальне значення, тоді високий ступень впевненості;

14) якщо X1 = максимального значення I X2 = максимального значення I X3 = мінімальне значення I X4 = максимального значення, тоді високий ступень впевненості;

Таблиця 1

Фрагмент навчальної вибірки (25 із 100 прикладів)

X1	X2	X3	X4	Y	X1	X2	X3	X4	Y
26	0,67	0	0	1	255	0,09	0,14	0	1
36	0,50	0	0	1	255	0,09	0	0	1
119	0,18	0	0	0	227	0,09	0,14	0	1
255	0,17	0	0,67	1	197	0,09	0	0	1
180	0,17	0	0	1	187	0,09	1	0	1
255	0,13	0,40	0	1	177	0,09	0,33	0	1
127	0,13	0	0	1	57	0,09	1	0	1
16	0,13	0	0	0	56	0,09	1	0	1
255	0,12	0	1	1	47	0,09	1	0	1
15	0,11	0,40	0	0	17	0,09	0,67	0	1
237	0,10	1	0	1	7	0,09	1	0	1
117	0,10	0,50	0	1	6	0,09	0,67	0	1
50	0,10	0,12	0	0

15) якщо X1 = максимального значення I X2 = мінімальне значення I X3 = максимального значення I X4 = максимального значення, тоді високий ступень впевненості;

16) якщо X1 = мінімальне значення I X2 = максимального значення I X3 = максимального значення I X4 = максимального значення, тоді високий ступень впевненості.

Четвертий шар (outputmf) складається з функцій приналежності для кожного правила нечіткого виводу; кількість вузлів цього шару відповідає кількості правил $2^4=6$.

П'ятий шар (output) – результуючий шар: Y – ступень впевненості, що атака відбулася, який має три терми: низький; середній; високий.

Формування вибірки. Навчальна вибірка складалася із 100 прикладів, фрагмент якої представлений в табл. 1, тестувальна вибірка – із 70 прикладів.

Створення ННМ. За допомогою пакета Fuzzy Logic Toolbox в MatLAB створено ННМ конфігу-

рації 4-5-8-16-1; у якості функції приналежності нейронів взято Гаусовську функцію. Згенеровану в MatLAB структуру ННМ показано на рис. 2.

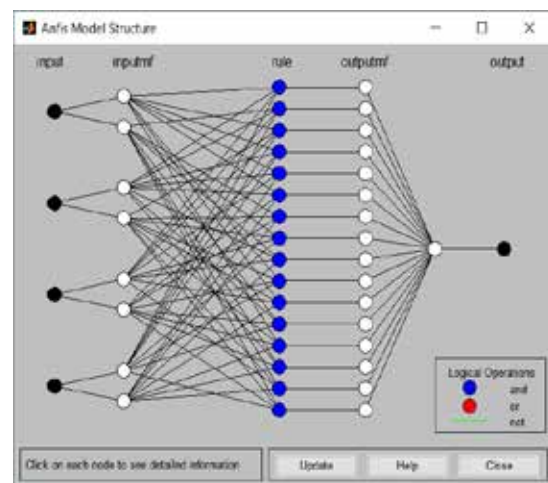


Рис. 2. Структура згенерованої ННМ в MatLAB Апробація ННМ. Результати апробації ННМ зведено до таблиці 2

Таблиця 2

Результати апробації ННМ

KDDCup99		ANFIS		Ступень впевненості
мережвий клас	факт	[X1 X2 X3 X4]	відгук	
Nmap	0	[119 0,18 0 0]	0,2754	низький
Nmap	1	[255 0,17 0 0,67]	0,8013	високий
Nmap	1	[180 0,17 0 0]	0,9896	високий
PortswEEP	1	[6 0,09 0,67 0]	0,9077	високий
Nmap	1	[127 0,13 0 0]	0,9021	високий
Ipsweep	0	[16 0,13 0 0]	0,0104	низький
Satan	1	[25 0,10 0 1]	0,8924	високий
Nmap	0	[15 0,11 0,4 0]	0,1211	низький
Satan	1	[237 0,1 1 0]	0,9361	високий
Satan	1	[117 0,1 0,5 0]	0,8221	високий

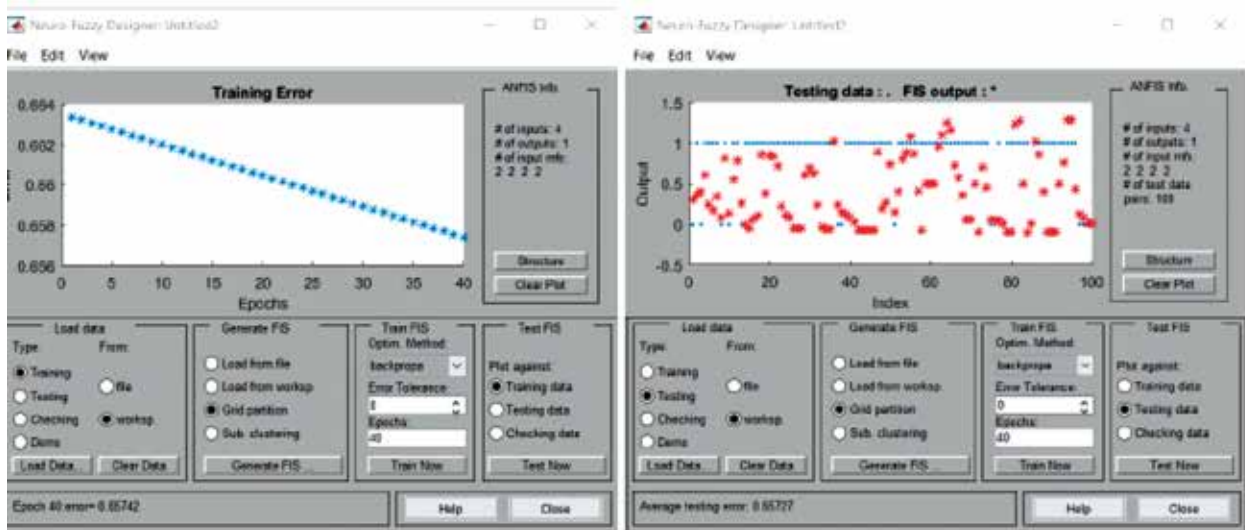


Рис. 3. Результати дослідження (вибірка із 100 прикладів)

Таблиця 3

Значення похибки ННМ за різними методами оптимізації

Кількість прикладів	Вакргора		Hybrid	
	Навчання	Тестування	Навчання	Тестування
60	0,67698	0,67681	0,024245	0,024245
80	0,67094	0,67078	0,030822	0,030822
100	0,65742	0,65727	0,039481	0,039481

Таблиця 4

Помилки першого та другого роду при визначенні PROBE атак

Ipsweep		Nmap		PortswEEP		Satan	
TP	FP	TP	FP	TP	FP	TP	FP
11 %	4 %	2 %	1%	9 %	4 %	15 %	3 %
FN	TN	FN	TN	FN	TN	FN	TN
0,5 %	13 %	4 %	10 %	3 %	12 %	1,5 %	7 %

Дослідження параметрів ННМ. На створеній ANFIS проведено дослідження похибки на вибірках різної довжини: 60; 80; 100 прикладів за різними методами оптимізації: Вакргора (метод зворотного поширення помилки, заснований на ідеях методу найшвидшого спуску); Hybrid (гібридний метод, який об'єднує метод зворотного поширення помилки з методом найменших квадратів). У якості прикладу на рис. 3 подані результати дослідження за методом Вакргора (вибірка із 100 прикладів).

Найменші значення похибки ННМ склали приблизно 0,02 та 0,68 відповідно за методами Hybrid і Вакргора (табл. 3); при цьому достатньо мати вибірку із 60 прикладів.

Оцінка параметрів якості. У ході проведення дослідження отримані на ННМ наступні результати: TP (True Positive); FP (False Positive); FN (False Negative); TN (True Negative), на основі яких на завершальному етапі залишилось дати оцінку якості рішень. Помилка першого роду – це кількість неві-

рно виявлених атак (FP, False Positive), а помилка другого роду – це кількість пропусків атак (FN, False Negative); обчислені значення цих помилок при визначенні атак наступних мережевих класів: Ipsweep, Nmap, PortswEEP і Satan зведені до таблиці 4. Із таблиці видно, що значення помилки першого роду склали 1%, 3 % і 4 % для класів Nmap; Satan і Ipsweep (PortswEEP) відповідно, а значення помилки другого роду склали 0,5; 1,5 %; 3 %; 4 % для класів Ipsweep; Satan; PortswEEP і Nmap відповідно.

Практична значимість. У [4] найменшу точність показала SOM при визначенні атак класу Nmap на основі бази даних KDDCup99, одночасне використання створеної ANFIS та SOM надає можливість підвищити точність виявлення атак цього класу.

Висновки. Для визначення ступеню впевненості здійснення атаки категорії PROBE на основі використання бази даних KDDCup99 створена за допомогою пакета Fuzzy Logic Toolbox системи MatLAB ННМ конфігурації 4-5-8-16-1 (де 4 – кількість вхідних

нейронів; 5 – загальна кількість шарів; 8 – кількість нейронів першого прихованого шару; 16 – кількість нейронів другого прихованого шару; 1 – кількість результуючих нейронів), у якості функції приналежності нейронів взято Гаусовську функцію. На створеній ANFIS проведено дослідження похибки на вибірках різної довжини (60; 80; 100 прикладів) за різними методами оптимізації: Вакрора і Hybrid. Найменше значення похибки ANFIS склало за мето-

дом Hybrid, при цьому достатньо мати вибірку із 60 прикладів. Визначено, що на створеній ANFIS значення помилки другого роду склали 0,5 %; 1,5 %; 3 %; 4 % для класів Ipsweep; Satan; Portswweep і Nmap відповідно. У подальшому для виявлення PROBE атак з використанням відповідних баз даних доречно провести дослідження декількох комбінованих варіантів, основу яких буде складати створена ННМ.

Список літератури:

1. Браницкий А. А. Обнаружение аномальных сетевых соединений на основе гибридизации методов вычислительного интеллекта: автореф. дис... канд. техн. наук : Санкт-Петербург, 2018. 18 с.
2. Мустафаев А. Г. Нейросетевая система обнаружения компьютерных атак на основе анализа сетевого трафика. *Вопросы безопасности*. 2016. № 2. С. 1-7. DOI: 10.7256.2409-7543.2016.2.18834.
3. Пахомова В. М., Коннов М. С. Дослідження двох підходів до виявлення мережних атак із використанням нейромережної технології. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. №3(87). С. 81-93. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/208233>.
4. Пахомова В. М., Павленко І. І. Дослідження параметрів якості визначення мережних атак категорії PROBE з використанням самоорганізуючої карти. *SworldJournal*. 2022. Issue 11. Part 1. pp. 100-104. DOI: 10.30888/2663-5712.2022-11-01-022.
5. Пахомова В. М., Видиш А. Д. Дослідження комбінованого варіанту визначення атак з використанням нейромережних технологій. *Системні технології*. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. № 3(140). 2022. С. 79-86. DOI: 10.34185/1562-9945-3-140-2022-08.
6. Слеповичев И. И., Ирматов П. В., Комарова М. С., Бежин А. А. Обнаружение DDoS-атак нечеткой нейронной сетью. *Известия Саратовского университета*. Серия: «Математика. Механика. Информатика». 2017. № 3. С. 84-89.
7. Фролов П. В., Чухраев И. В., Гришанов К. М. Применение искусственных нейронных сетей в системах обнаружения вторжений. *Системный администратор*. 2018. № 9(190). URL: <http://samag.ru/archive/article/3724> (дата звернення: 10.01.2022).
8. Alguliyev R. M., Aliguliyev R. M., Imamverdiyev Y. N., Sukhostat L. V. An improved ensemble approach for DoS attacks detection. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 2. С. 73-82. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-2-8.
9. Amini M., Rezaeenour J., Hadavandi E. A Neural Network Ensemble Classifier for Effective Intrusion Detection using Fuzzy Clustering and Radial Basis Function Networks. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*. 2016. Vol. 25. Iss. 02. P. 1–32. DOI: <https://doi.org/10.1142/s0218213015500335>.
10. Esteban J. A New GHSOM Model applied to network security. *Artificial Neural Networks-ICANN 2008*. 2008. P. 680-689.
11. Hadi A. A. A. Performance Analysis of Big Data Intrusion Detection System over Random Forest Algorithm. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2018. Vol. 13, No. 2. P. 1520-1527.
12. KDD Cup 1999 Data. URL: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html> (дата звернення: 05.04.2022).
13. Pakhomova V. M., Bikovska D. G. Investigation of multilayer neural network parameters for determination of R2L category network attacks. *Modern engineering and innovative technologies*. Germany, Karlsruhe: Sergeieva&Co, «ISE&E». 2021. № 18-02. pp. 39-43. DOI: 10.30890/2567-5273.2021-18-02-059.
14. Pakhomova V. N. Determination of network attacks using neural network technologies. Chapter 8. pp. 113-128. DOI: 10.30890/2709-2313.2021-07-08-003. Prospektive globale wissenschaftliche trends: Innovative Technik, Transport, Sicherheit. *Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft»*. Buch 7. Teil 8. Germany: Karlsruhe, 2021. 168 p.
15. Saied A., Overill R. E., Radzik T. Detection of known and unknown DDoS attacks using Artificial Neural Networks. *Neurocomputing*. 2016. Vol. 172. P. 385-393. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.101>.
16. Zhukovyts'kyu I. V., Pakhomova V. M. Identifying threats in computer network based on multilayer neural network. *Наука та прогрес транспорту*. 2018. № 2 (74). P. 114-123. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2018/130797>.
17. Zhukovyts'kyu I. V., Pakhomova V. M., Ostapets D. O., Tsyhanok O. I. Detection of attacks on a computer network based on the use of neural network complex. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 5(89). P. 68-79. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/218318>.

Pakhomova V.M., Maslak A.V. NETWORK ATTACK DETECTION USING KDDCup99 DATABASE AND NEURON FUZZY TECHNOLOGY

The modern world cannot be imagined without computer networks: both local and global; therefore, the issue of network security is becoming more and more urgent. At the current stage, network attack detection systems built on the basis of the following neural networks are most often proposed: a multilayer perceptron, a Kohonen network or a self-organizing map, a network of radial basis functions. Currently, methods of detecting network attacks can be strengthened using neurofuzzy technology, which confirms the relevance of the topic. The purpose of the study is to determine the parameters of the quality of detection of network attacks based on the KDDCup99 database and using neurofuzzy technology. As a research method, an adaptive fuzzy inference ANFIS network of the 4-5-8-16-1 configuration was used (where 4 is the number of input neurons; 5 is the total number of layers; 8 is the number of neurons of the first hidden layer; 16 is the number of neurons of the second hidden layer; 1 is the number of resulting neurons) created using the Fuzzy Logic Toolbox package of the MatLAB system; the resulting characteristic is the degree of confidence that the attack took place with the following terms: low; average; high. On the created ANFIS, an error study was carried out on samples of different lengths (60, 80, 100 examples) using different optimization methods: Backpropa and Hybrid. It was determined that the smallest error value of the ANFIS was obtained by the Hybrid method (40 epochs), while it is enough to have a sample of 60 examples. It was found that the second kind was 0,5 %; 1,5 %; 3 %; 4 % for Ipsweep; Satan; Portsweep i Nmap corresponding.

Key words: attack, ANFIS, error, sampling, optimization, quality.

Погорцова Н.Є.

Ізмаїльський державний гуманітарний університет

Тірон-Воробйова Н.Б.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ: НОВІ СТАНДАРТИ КОМПЕТЕНЦІЙ ТА ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ ПЛАВСКЛАДУ З НАЛАГОДЖЕННЯМ ОСУЧАСНЕНИХ ВИМОГ ДО МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ЗАКЛАДІВ ОСВІТИ

У статті наведено інформативний показ осучаснення матеріально-технічної бази з використанням технології *digitalization* у сучасному світі інформаційних технологій, «інфо-інноватик», на тлі підвищення компетентісних навичок, здобутків, кваліфікаційних вимог до здобувачів вищої освіти, зокрема до майбутніх членів командного плавскладу. Показано оновлення «логічної парадигми» процесів, явищ, непередбачуваних ситуацій на відповідному тренажері (*digital-уявлення*) крізь 3D окуляри віртуальної реальності. А це «віртуальне уявлення» всього найбільш точно відображеного, з точки зору уособлення різноманітних позицій, де за допомогою програмних засобів й методів *digital-технологій* відтворюється реальна ситуація, яка повинна бути здобувачем вищої освіти достатньо вивчена, проаналізована. Це надає змогу майбутнім фахівцям морської галузі швидко діяти, демонструвати найкращі лідерські якості, реалізувати себе у безмежному *digital-просторі*. Задля накопичення знань та вмінь з технології *digitalization* здобувачі вищої освіти повинні реалізувати себе як стратеги, зокрема, підприємницької діяльності, при оцінці різнопланових бізнес-проектів, їх втілення та реалізації.

У статті в якості прикладу наведено дублювання використання процесу технології діджиталізації на основі оновлення матеріально-технічної бази сільськогосподарського (с/г) підприємства групи компаній «Ukrlandfarming» (восьма за величиною компанія у світі за площею контрольованих с/г угідь). А це відповідні напрямки дистанціювання – *digital-трансформації*, точного позиціювання, посіву с/г культур і т.д. І також дистанційність – це логістика. Всіх процесів, оновлених вимог, методологій.

Можливості технології *digitalization* безмежні. Адже, у сучасному світі це досить вагоме досягнення, це втілення всіх опрацьованих людьми кроків «фізично» - на інформаційному *digital-рівні*, із виключенням монотонності праці, економією людських і матеріальних ресурсів, затрат робочого часу, із забезпеченням економічної стабільності, значним заощадженням державного бюджету країни в цілому.

Ключові слова: діджиталізація, *digital-технології*, осучаснення обладнання, матеріально-технічна база, плавсклад.

Постановка проблеми. Згідно «Закону про освіту» в Україні, ст. 63:

1. Матеріально-технічна база навчальних закладів та установ, організацій, підприємств системи освіти включає будівлі, споруди, землю, комунікації, обладнання, транспортні засоби, службове житло та інші цінності. Майно навчальних закладів та установ, організацій, підприємств системи освіти належить їм на правах, визначених чинним законодавством.

2. Земельні ділянки державних навчальних закладів, установ та організацій системи освіти передаються їм у постійне користування відповідно до Земельного кодексу України.

3. Навчальні заклади самостійно розпоряджаються прибутками від господарської та іншої передбаченої їх статутами діяльності.

4. Основні фонди, оборотні кошти та інше майно державних навчальних закладів, установ, організацій та підприємств системи освіти не підлягають вилученню, крім випадків, передбачених чинним законодавством.

5. Об'єкти освіти і науки, що фінансуються з бюджету, а також підрозділи, технологічно пов'язані з навчальним та науковим процесом, не підлягають приватизації, репрофілюванню або використанню не за призначенням.

6. Потреби державних навчальних закладів та установ, організацій системи освіти для розвитку їх матеріально-технічної бази задовольняються державою першочергово відповідно до затверджених Кабінетом Міністрів України нормативів [1].

Для більшості підприємств поняття матеріально-технічної бази враховує стан компонентів: наявність і пристосованість виробничих площ, вік парку обладнання, відповідність матеріальних ресурсів виробничій (зокрема, й науково-виробничій) програмі, наявність та структура цифрових (digital) та інноваційних технологій до майбутнього подальшого втілення бізнес-процесів (які існують або на майбутнє заплановані).

Під діджиталізацією (digitalization) прийнято розуміти глибинну трансформацію, проникнення цифрових технологій щодо оптимізації та автоматизації бізнес-процесів, з підвищенням продуктивності та покращенням комунікаційної взаємодії зі споживачами. Концептуалізація та управління бізнес-процесами стикаються з певними фундаментальними проблемами, а саме зв'язком між безліччю управлінських бізнес-процесів та їх внеском у корпоративну цінність [2-3].

Діджиталізація бізнесу починається з визначення логіки того, що буде піддано діджиталізації/автоматизації. Таким чином, продукт діджиталізації служить продовженням систематизації та трансформації бізнес-процесів. Опрацьовуються процеси компанії на предмет логіки побудови, фінансової ефективності, пропускну здатності, керування та зв'язку зі стратегією, а також вирішується, як все це автоматизувати. Окремі фахівці взаємодіють з кожним відокремленим процесом поступально, аналізуючи його, допрацьовуючи та створюючи бізнес-вимоги до інформаційних технологій, щоб потім вибудувати повну digital-інфраструктуру компанії.

Зокрема, представники компанії-замовника ставлять завдання розробнику та приймають результати їх виконання.

Діджиталізація може проходити за допомогою будь-яких ІТ-інструментів:

- Повного переїзду на нову ERP-систему (Enterprise Resource Planning): організаційна стратегія інтеграції виробництва та операцій, управління трудовими ресурсами, фінансового менеджменту та управління активами, орієнтована на безперервне балансування та оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакета прикладного програмного забезпечення, що забезпечує загальну модель даних та процесів для всіх сфер діяльності. ERP-система – конкретний програмний пакет, що реалізує стратегію ERP;

- Формування вимог для розвитку наявної ІТ-інфраструктури;

- Підбору вузьких функціональних систем, супроводу їх налаштування та імплементації в життя компанії;

- Налаштування та впровадження BPMS (Business Process Management System): дизайн, моделювання, оформлення, контролювання/моніторинг, оптимізація (налаштування потрібного);

- Роботизації бізнес-процесів і т.і.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Розглянемо налагодження матеріально-технічної бази з використанням інноваційної тренажерної структури на базі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія» (ДІ НУ «ОМА»). З 2004 року при інституті в структурному підрозділі Професійної підготовки, перепідготовки та підвищення кваліфікації командного складу морських суден (ПП та ПКМ) діють курси підвищення кваліфікації командного складу морських суден за напрямками «Судноводіння» та «Енергетика суден» з використанням сучасних тренажерів-симуляторів Ізмайльського морського тренажерного центру «Marine Pro Service». Підвищення кваліфікації командного складу морських суден при ДІ НУ «ОМА» ліцензовано Міністерством освіти і науки України за напрямком «Морський та річковий транспорт» і у 2011 р. ухвалено Системою якості, яка сертифікована Bureau Veritas на відповідність стандарту ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015 IDT).

ПП та ПКМ укомплектовано висококваліфікованим складом компетентних викладачів, які мають вищу освіту, морську кваліфікацію та відповідають вимогам Міжнародної морської організації ІМО з кожного профілю. Для проведення лекцій та навчальних занять залучаються кандидати наук та доценти з великим досвідом практичної та викладацької роботи. Окрім того, до процесу підготовки залучаються діючі капітани та механіки 1 розряду, які працюють на сучасних суднах різних судноплавних компаній світу.

Результати моніторингу ринку праці на освітні послуги ДІ НУ «ОМА» щодо підвищення кваліфікації командного складу морських суден є погодженими з Одеською обласною державною адміністрацією.

Манільська Конференція ІМО, яка відбулася у червні 2010 р., затвердила нові поправки до Міжнародної конвенції з підготовки й дипломування моряків та несення вахти (ПДМНВ 78/95) стосовно стандартів компетенції плавскладу морських суден. За Резолюцією 7 Конвенції, а також згідно з вимогами Правила 1/11 Конвенції, держави учасниці Конвенції є зобов'язаними органі-

зовувати перепідготовку та підвищення кваліфікації плавскладу для досягнення нових стандартів компетенції.

Тренажерне обладнання, яке використовується для підготовки, повністю відповідає вимогам Конвенції та Стандартів якості ISO 90001: 2008 включає наступні комп'ютерні тренажери:

1. Повномасштабний навігаційний місток «Navi-Trainer Professional 5000 School Edition», включає:

- Маневрування і керування судном;
- Електронну картографію;

2. МКУБ (Міжнародний кодекс з управління безпекою). Система управління безпеки менеджменту компанії;

3. Тренажер ГМЗЛБ «TGS-3000»;

4. Машинний тренажер «Engine Room Simulator ERS 4000», включає:

- Технічне обслуговування головних суднових установок і допоміжних систем суден;

- Головні силові установки та суднові системи;

5. Турбо-дизельні установки. У процесі навчання використовуються технічні рисунки з основами креслень, плакати, схеми.

Формулювання цілей статті. Інформативний показ осучаснення матеріально-технічної бази вищих закладів освіти задля забезпечення компетентнісних якостей майбутніх фахівців, зокрема, морської галузі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Наш світ ніколи не стане колишнім. У зв'язку зі стрімким попитом так званої «заміни» фізичної праці більш, здається, легкою, більш зарозумілою, але й водночас, тяжкою – digital-існуванням: окремих особистостей, цілого набору алгоритмів, керувань ними, вимог, з'явився великий зріст на розповсюдження та налаштування осучасненого обладнання, digital-технологій, які, водночас, практично частково або повністю виключають роботу людини.

Зокрема, для підготовки й навчання здобувачів вищої освіти (курсантів) ДІ НУ «ОМА» використовується цілий ряд тренажерів та навчальних імітаторів. «Фізичні» тренажери (застосування монотонності людської праці) займають достатньо великі площі із значними витратами енергії, життєвого потенціалу людей та не дозволяють досить ефективно вести підготовку здобувачів вищої освіти (ЗВО). Також проблемою є зміна «логічної послідовності» роботи осучаснених тренажерів при зміні вимог до підготовки ЗВО. Задля проекту оновлення/осучаснення матеріально-технічної бази ДІ НУ «ОМА», при виборі основних

засобів, застосування новітніх вимог, правил, була врахована підтримка технології digitalization. Для цього в проекті оновлення матеріально-технічної бази закладено 3D окуляри віртуальної реальності. Вони дозволяють за допомогою технології точного позиціонування та програмних засобів відтворити ситуацію, яку ЗВО/курсант має вивчити та потренувати. При цьому зміна логіки роботи тренажера відбувається програмними засобами, що дозволяє зекономити/заощадити значні кошти на придбання фізичних тренажерів.

В якості іншого прикладу, розглянемо оновлення матеріально-технічної бази на прикладі сільськогосподарського підприємства групи компаній «Ukrlandfarming», яка працює на території бесарабського регіону. За основу була взята та сама технологія digitalization. Для прикладу, трактори використовують технологію точного позиціонування GPS, сіялки підтримують технологію точного посіву, квадрокоптери використовують технологію точного позиціонування GPS та дозволяють знімати посівні площі в різних видимих діапазонах та передавати ці дані для аналізу ефективності вирощування. Це дозволяє дистанційно вести облік врожаю, вчасно обробляти культури, виправляти помилки, відправляти групу для ремонту техніки, перевіряти об'єкти без виїзду на нього, контролювати якість посіву та перевезень усіх видів культур на елеватор. Такі можливості підвищують ефективність праці та економічну стабільність, адже затрати часу скорочуються на 50 %.

Перехід до цифрового суспільства є не менш революційним, ніж, наприклад, підкорення вогню. Історичний досвід кардинальних змін переконує, що чим раніше вміння ефективно застосовувати у повсякденні інновації опанує більшість населення, тим швидше підвищиться загальний рівень життя в Україні. Тож потрібно розпочинати зміни зі шкіл, вишів та забезпечити здобувачам вищої освіти умови для гідної освіти й надалі – подальшого працевлаштування, що допоможе їм бути конкурентоспроможними у сучасному світі.

Висновки. Оновлення матеріально-технічної бази закладів вищої освіти та й підприємств з врахуванням сучасних технологій діджиталізації дозволяє пришвидшити операційні можливості та транспарентність бізнес-процесів в цілому, створення комфортних умов для споживача товарів та послуг.

Окрім того, ЗВО повинні на достатньо високому рівні розуміти основні концепції, теоретичні і прикладні проблеми використання digital технологій у сфері підприємництва; демонструвати

системність наукового світогляду, здійснювати критичний аналіз, оцінку і синтез нових ідей щодо цифрової трансформації в бізнесі; критично аналізувати, оцінювати і синтезувати нові та складні ідеї щодо цифрових аспектів підприємницької діяльності.

Отже, доцільність цифрової трансформації бізнес-процесів (навіть розроблених на базі закладів вищої освіти або діючих) визначається швидкістю та розумінням споживачами, створенням системи ефективних різноспрямованих комунікаційних потоків. Мінливість зовнішнього середовища вимагає від підприємства налагодження системи прогностичних досліджень та формування адекватного інтерпретування інформаційних потоків для формування оптимального управлінсько-організаційного рішення [4-6].

За поняттями «автономність і відповідальність» ЗВО закладів вищої освіти повинні: ініціювати інноваційні комплексні проекти з впровадження digital-технологій у підприємницьку діяльність, демонструвати лідерство та повну автономність під час їх реалізації; ідентифікувати,

формулювати та вирішувати актуальні наукові та прикладні проблеми впровадження digital технологій у підприємництва; реалізовувати соціальну відповідальність за результати прийняття стратегічних рішень в області digital технологій; саморозвиватися і самовдосконалюватися протягом життя, нести відповідальність за навчання інших.

До того ж, цифрова реальність вже стала невіддільною частиною нашого життя. Інтерактивні панелі, зокрема, у вишах, офісах і громадських місцях сприймаються доволі природньо. Інтерактивна дошка в школі для нарад вже є невід'ємною частиною інтер'єру. Взаємодія з сенсорним інтерактивним обладнанням все рідше викликає занепокоєння. Навпаки, для багатьох звичною справою є оплата комунальних послуг через термінали самообслуговування чи смартфон, онлайн запис до лікаря та покупки в мережі. Кілька кліків на смартфоні чи комп'ютері дозволяють вирішити чимало побутових питань. І все це суттєво спрощує наше життя.

Цифрові навички здобувачів вищої освіти – майбутнє України.

Список літератури:

1. Закон України про освіту. Розділ IV. Фінансово-господарська діяльність, матеріально-технічна база навчальних закладів. URL: <http://zahyst.in.ua/194>
2. Діджиталізація, як інструмент удосконалення бізнес-процесів, їх оптимізація. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&_S21P03=FILE=&_S21STR=esmebi_2018_1_7 (дата звернення: 29.03.2021).
3. Діджиталізація, як конкурентна перевага підприємств URL: [:http://journals.dut.edu.ua/index.php/emb/article/view/2215](http://journals.dut.edu.ua/index.php/emb/article/view/2215) (дата звернення: 29.03.2021).
4. Бізнес-процеси в умовах діджиталізації економіки. URL: <http://visnik.knute.edu.ua/files/2019/05/5.pdf> (дата звернення: 29.03.2021).
5. Юрчак О.В. Індустрія 4.0 – що це таке та навіщо це Україні. URL: <https://appau.org.ua/publications/industriya-4-0-shho-tse-take-ta-navishho-tse-ukrayini/> (дата звернення: 24.03.2018).
6. Нове в управлінні бізнес-процесами – методологія S-BPM та рішення Metasonic. URL: <http://journal.itmane.ru/node/888> (дата звернення: 31.03.2018).

Pohorielova N.Ye., Tiron-Vorobiova N.B. DIGITALIZATION: NEW STANDARDS OF COMPETENCE AND INCREASING THE QUALIFICATION OF FLOATING STAFF WITH IMPROVEMENT OF MODERN REQUIREMENTS TO THE MATERIAL AND TECHNICAL BASE OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

The article presents an informative demonstration of modernization of material and technical base using digitalization technology in the modern world of information technology, "info-innovation", against the background of improving competencies, achievements, and qualification requirements for higher education, including future members of the command fleet. The update of the "logical paradigm" of processes, phenomena, and unforeseen situations on the appropriate simulator (digital representation) through 3D virtual reality glasses is shown. And this "virtual representation" of all the most accurately reflected, in terms of personification of various positions, wherewith the help of software and methods of digital technology reproduces the real situation, which should be a student of higher education sufficiently studied, analyzed. This allows future professionals in the maritime industry to act quickly, demonstrate the best leadership qualities, and realize themselves in the boundless digital space. In order to accumulate knowledge and skills in digitalization technology, higher education students must realize themselves as strategists, in particular,

entrepreneurship, in the evaluation of various business projects, their implementation, and realization. The article illustrates the duplication of the use of digitalization technology based on the renewal of the material and technical base of the agricultural (agricultural) enterprise of the Ukrlandfarming group of companies (the eighth largest company in the world by the area of controlled agricultural land). And these are the relevant areas of distancing - digital transformation, accurate positioning, sowing of agricultural crops, etc. And also remoteness is logistics. All processes, updated requirements, and methodologies.

The possibilities of digitalization technology are endless. After all, in today's world, this is a significant achievement, it is the embodiment of all man-made steps "physically" - at the information digital level, excluding monotony of labor, saving human and material resources, labor costs, ensuring economic stability, significant savings in the state budget. countries as a whole.

Key words: *digitalization, digital technologies, modernization of equipment, material and technical base, floating staff.*

Сікора О.В.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ

Протягом усього життя людина приймає рішення: чи це в побуті, чи на виробництві, чи в якійсь іншій галузі. Вона аналізує параметри, які впливають на прийняття рішень, оцінює отримані результати та використовує їх при необхідності. Процес прийняття рішень такий давній, як і саме людство. Протягом довгих років, людина приймала рішення, підбирала для них спеціальні умови, параметри і завжди намагалася одержати найкращий результат. Довгий час особа ухвалювала рішення, не використовуючи математичний апарат, а на основі здорового глузду, запасу знань та міркувань. Цей підхід до прийняття рішень не втратив свого значення і на сьогоднішній день.

Широкий розвиток техніки та її автоматизація, а також проникнення у всі сфери життя інформаційних технологій, привело до прийняття більш загальних, науково обґрунтованих рішень на основі математичного апарату для підвищення ефективності роботи. Сама постановка питання вимагала уже побудови математичної моделі, її обґрунтування та вибір найкращого рішення за наперед визначеними критеріями. Такий підхід вимагає використання певного математичного апарату, його аналізу та обґрунтування. Для таких цілей зібрано математичні методи, які дістали назву оптимізаційних методів дослідження операцій.

Стаття присвячена використанню оптимізаційних методів для розв'язування задач та технологіям розробки проєктів для них у візуальному програмному середовищі. Для розробки програмного продукту обрано візуальне середовище системи Delphi, яке дозволяє розробляти програми з використанням готових об'єктів, властивостей та методів. У програмному кодї, що орієнтований на опрацювання подій, студент вказує як слід реагувати на різні події чи дії користувача, н-д, побудувати таблицю, перерахувати дані згідно правила алгоритму, побудувати графічне зображення функції тощо.

У статті продемонстровано програмну реалізацію симплексного методу для розв'язування задач лінійного програмування, що знаходить оптимальний розв'язок та програмну реалізацію методів безумовної оптимізації унімодалної функції однієї змінної та функції двох змінних.

Ключові слова: оптимізаційні методи, математична модель, програмний продукт, лінійне програмування, візуальне середовище програмування.

Постановка проблеми. Методи дослідження операцій, які включають в себе методи математичного моделювання та оптимізації, складають фундамент прикладної математичної підготовки студентів. Математичні, кількісні методи призначені для розв'язання та обґрунтування приймаючих рішень оптимізаційних задач, що зустрічаються в будь-якій сфері людського життя. Операція – це дія, або сукупність дій спрямованих на досягнення певної мети. Основними її характеристиками є поставлена мета та циклічність операцій. Якщо користувач немає мети, то і відсутня операція або їх сукупність. Якщо користувач поставив перед собою завдання, лише тоді може бути сукупність операцій для досягнення поставлених цілей. Однак шляхів досягнення мети може бути багато, користувач завжди намагається вибрати оптимальний шлях для розв'язання поставлених проблем. Розв'язки оптимізаційних задач можна отримати різними шляхами, методами, з різним

наближенням, з врахуванням тих чи інших факторів, параметрів, і все це вимагає обґрунтування для прийняття кінцевого оптимального рішення. Оптимальними будуть ті рішення, які за певними критеріями є найкращими серед всіх інших.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато праць відомих вчених присвячено розробленню і удосконаленню оптимізаційних методів та їх практичному використанню для рішення прикладних задач. Серед них: М. Жалдак, Ю. Триус [2], Е. Санніков [9], Н. Забуранна [11], О. Ключко, В. Ключко тощо. Щодо практичного використання оптимізаційних методів, то їх розкривають в роботах такі автори: В. Вовк [12], І. Бартіш, І. Дудзяний, Г. Цегелик та інші. Теоретичні відомості щодо створення програмних додатків в середовищі візуального програмування Delphi розкрили в своїх працях такі вчені як: В. Фаронов, С. Попов, А. Архангельський, В. Рубанцев, С. Федотова, Ю. Ревіч та інші.

Постановка завдання—об'єктно-орієнтований підхід до розв'язування оптимізаційних задач.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження операції необхідно побудувати її модель, яка враховує усі фактори впливу на дану операцію. Однак здебільшого врахувати всі параметри реальної операції інколи неможливо, тому враховують тільки найбільш впливові параметри. Таким чином, модель замінює оригінал операції і зберігає найбільш важливі властивості. За допомогою моделі можна навчитися правильно керувати операціями і факторами, що впливають на неї. За допомогою математичної моделі досліджується операція перетворюється в образ з інформацією про неї. Побудова математичної моделі і її дослідження є найбільш поширеним підходом до дослідження реальних операцій, які відбуваються в різних галузях економіки і побутового життя. Інколи математичні моделі є дуже складними, але використання математичних методів та інформаційних технологій дає можливість отримати оптимальне рішення поставленої задачі. Моделі можуть бути ігрові, детерміновані та імовірнісні. Застосування теорії методів оптимізації та дослідження операцій у наукових та практичних дослідженнях довільних систем можливе лише при існуванні наступних взаємозв'язаних факторів, зокрема методів: побудови моделей оптимізації, рішення оптимізаційних задач, математичного обґрунтування прийнятих рішень, інформаційно-комунікаційного забезпечення.

Для постановки задачі дослідження операцій необхідно визначити: мету роботи об'єкта, що досліджується; наявні можливості для вирішення проблеми та фактори впливу для досягнення поставленої мети. Кожне дослідження має свої принципи і вимагає від дослідника знань, практичних навичків, інтуїції та уявлення, щоб правильно поставити мету та отримати найкраще рішення. До головних елементів математичної моделі дослідження операцій входять: змінні керування (керовані та некеровані); обмеження на цільову функцію; функція мети.

Змінні називаються керованими, якщо в процесі роботи системи користувач може міняти їхні значення для розв'язання поставленої проблеми. Переважно це змінні, значення яких необхідно знайти, щоб отримати найкращий результат. Вони обґрунтовують приймаючі рішення з множини пропонуваніх альтернатив. В такій же мірі корис-

тувач повинен враховувати і некеровані змінні, але міняти їх в процесі роботи системи не може, так як, наприклад, при обчисленні найбільшого врожаю на деяких посівних площах, користувач не може впливати на погодні умови. Часто некеровані змінні називають параметрами задачі оптимізації. Трапляються випадки, що некеровані змінні можуть переходити в керовані і навпаки. Обмеження цільової функції, що записуються в математичній моделі, відображають взаємозв'язок між керованими і некерованими змінними. Обмеженнями можуть бути рівняння і нерівності. Множина рішень системи обмежень називають множиною допустимих(опорних) розв'язків. Ця множина може бути багатокутником, необмеженою областю, або порожньою множиною. Нульове рішення говорить про те, що досягнення поставленої мети при таких співвідношеннях керованих і некерованих змінних неможливе, щось необхідно міняти або в процесі виробництва, або переглянути побудову математичної моделі.

Побудуємо загальну математичну модель задачі дослідження операцій. Функція мети являє собою певну математичну функцію, яка зв'язує незалежні змінні, залежні змінні, параметри системи та величину досягнення мети:

$$F(X)=F(x_j, y_r, c_k) \quad (1)$$

Розв'язати задачу означає, знайти такі значення керованих змінних $x_j (j = \overline{1, n})$, які б перетворили функцію мети (1) в оптимальне значення. Процес вибору керованих змінних завжди залишаються обмеженими некерованими змінними та параметрами системи. В загальному випадку систему обмежень можна записати так:

$$g_i(x_j, y_r, c_k) \{ \leq \geq \} b_i, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Залежність (2) називають системою обмежень, або системою умов задачі. Вирази (1) та (2) задають математичну модель операції.

Побудуємо математичну модель проблемної операції на конкретному прикладі.

Приклад 1. Підприємець відгодовує курей і гусей. Для цього він використовує три види сировини, а саме: пшеницю, овес і кукурудзу. Витрати сировини на одну тварину, запаси сировини та вартість від реалізації однієї штуки курей та гусей подані в таблиці 1. Визначити кількість курей і кількість гусей, які необхідно виростити, після реалізації яких отримаємо найбільший прибуток.

Таблиця 1

Вид сировини	Витрати сировини на відгудівлю однієї штуки		Запаси сировини
	курей	гусей	
Пшениця	2	3	180
Овес	4	1	240
Кукурудза	6	7	426
Прибуток від однієї шт	16	6	

Розв’язання: Позначимо через x_1 – кількість вирощених курей; x_2 – кількість вирощених гусей. Отже вектор керованих змінних $X(x_1, x_2)$. Функція мети, тобто наш прибуток дорівнює: $F = 16x_1 + 6x_2 \rightarrow \max$. Кількість пшениці сировини, що витрачається, повинна задовільняти наступним нерівностям:

$$2x_1 + 3x_2 \leq 180 \text{ – пшениці; } 4x_1 + x_2 \leq 240; \text{ – вівса; } 6x_1 + 7x_2 \leq 426. \text{ – кукурудзи.}$$

Отже, ми отримали систему трьох нерівностей:

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 180, \\ 4x_1 + x_2 \leq 240, \\ 6x_1 + 7x_2 \leq 426. \end{cases}$$

$$F = 16x_1 + 6x_2 \rightarrow \max,$$

$$\begin{cases} 2x_1 + 3x_2 \leq 180, \\ 4x_1 + x_2 \leq 240, \\ 6x_1 + 7x_2 \leq 426, \end{cases}$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0.$$

Виділяють *лінійне програмування* – функції $f(x)$ і $g_i(x_j, y_r, c_k)$ лінійні, *квадратичне* – $f(x)$ є квадратична форма, а функції $g_i(x_j, y_r, c_k)$ лінійні, *нелінійне програмування*, коли $f(x)$ і $g_i(x_j, y_r, c_k)$ – нелінійні функції [2].

В залежності від кількості невідомих, математичні моделі бувають *одновимірні* (одна вхідна керована змінні і одна вихідна) та *багатовимірні* (існує декілька вхідних і декілька вихідних шуканих змінних, їх кількості можуть бути рівними або нерівними).

При наявності обмежень на введені шукані невідомі ми маємо задачу умовної оптимізації, якщо такі обмеження не накладаються на невідомі величини, то це задача безумовної оптимізації. Важливим елементом у процесі розв’язування оптимізаційних задач є класифікація моделей, оскільки їх алгоритми рішення адаптовані до конкретного типу [1].

Основним методом розв’язування задач лінійного програмування є симплексний метод, ідея якого полягає в переході від одного опорного розв’язку до іншого, із покращенням значення функції мети, і таким чином за скінченну кількість кроків буде знайдено рішення задачі, або з’ясовано, що вона не має розв’язків [2]. Реалізуємо алгоритм у системі візуального програмування для рішення Прикладу 1. Рис. 1 містить першу і останню симплексну таблицю розв’язування задачі. В цій формі користувач зобов’язаний ввести вхідні дані, або їх викликати за допомогою меню форми.

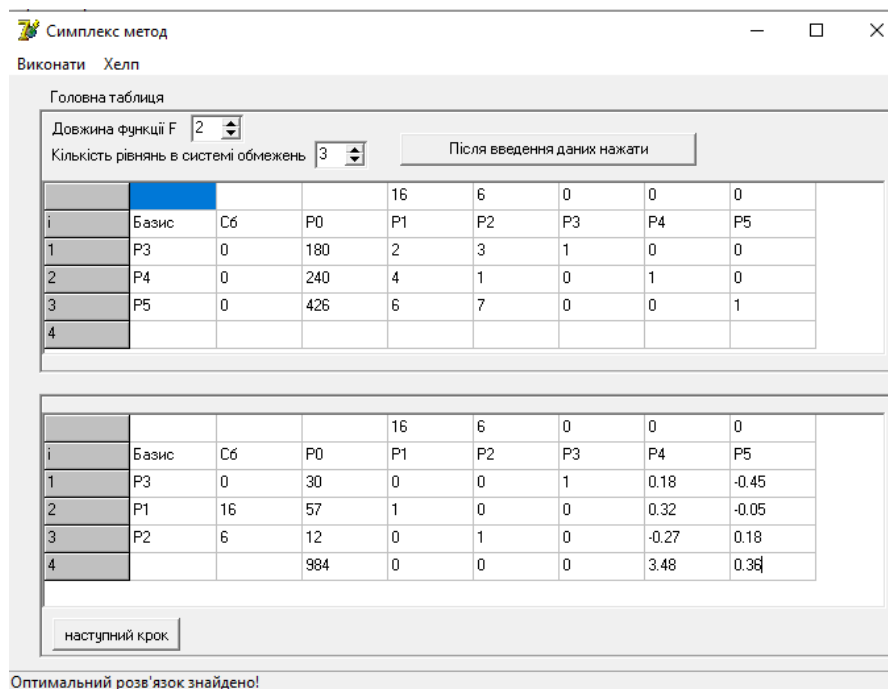


Рис. 1 Симплексні таблиці для прикладу 1

```

for i := k to stp.ColCount-1 do
  for j := 1 to stp.RowCount-2 do
    if j <> main then
      st.Cells[i,j] := FloatToStr(StrToFloat(stp.Cells[i,j]) -
        StrToFloat(stp.Cells[maxd,j])*StrToFloat(stp.Cells[i,maxd])/
        StrToFloat(stp.Cells[maxd,maxd]));
  for i := 2 to stp.RowCount-2 do
    if i <> main then
      begin
        st.Cells[1,i] := stp.Cells[1,i];
        st.Cells[2,i] := stp.Cells[2,i];
      end;
  st.Cells[3,stp.RowCount-1] := FloatToStr(Answer(st2));

```

Рис. 2. Заповнення симплекс таблиці за правилом трикутника

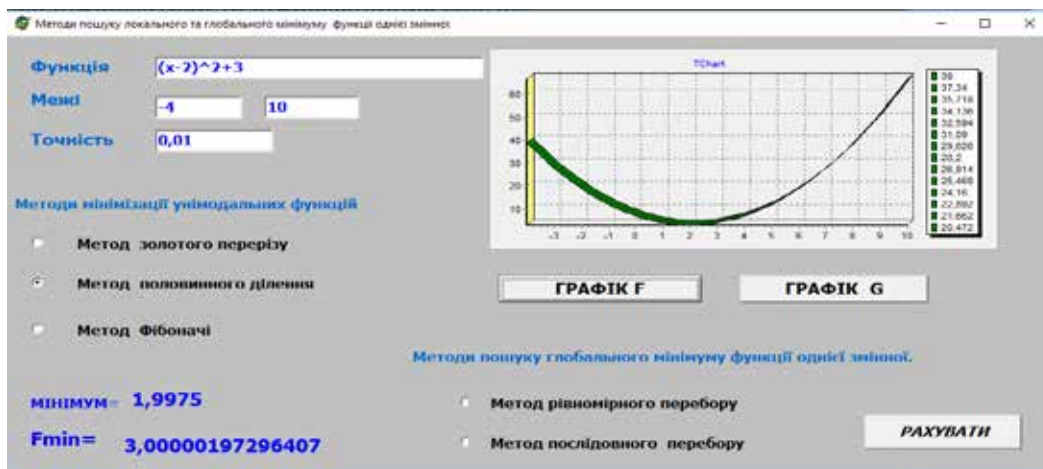


Рис. 3. Форма результату роботи методу половинного ділення для пошуку локального мінімуму функції однієї змінної

```

if RadioButton2.Checked then begin
  a:=StrToFloat(Edit2.Text);
  b:=StrToFloat(Edit3.Text);
  acc:=StrToFloat(Edit4.Text);
  del:=acc/3;
  repeat
    x1:=(a+b-del)/2;
    x2:=(a+b+del)/2;
    f1:=IntFunction(x1);
    f2:=IntFunction(x2);
    if f1<=f2 then begin
      a:=a;b:=x2;xp:=a;fp:=f1;end
    else begin a:=x1;b:=b;xp:=b;fp:=f2 end;
  until Abs(b-a)<acc;
  Label12.Caption:=FloatToStr(xp);
  Label13.Caption:=FloatToStr(fp);
end;

```

Рис. 4. Фрагмент програмного коду методу дихотомії

Фрагмент програмної реалізації симплекс-методу подано на рис. 2.

Іноді для знаходження оптимальних розв'язків можуть бути застосовані методи відшукування ек-

стремальних значень функцій однієї та багатьох дійсних змінних. Задачі такого типу відносяться до задач безумовної оптимізації. Для відшукування рішень таких задач існують чисельні оптимізаційні

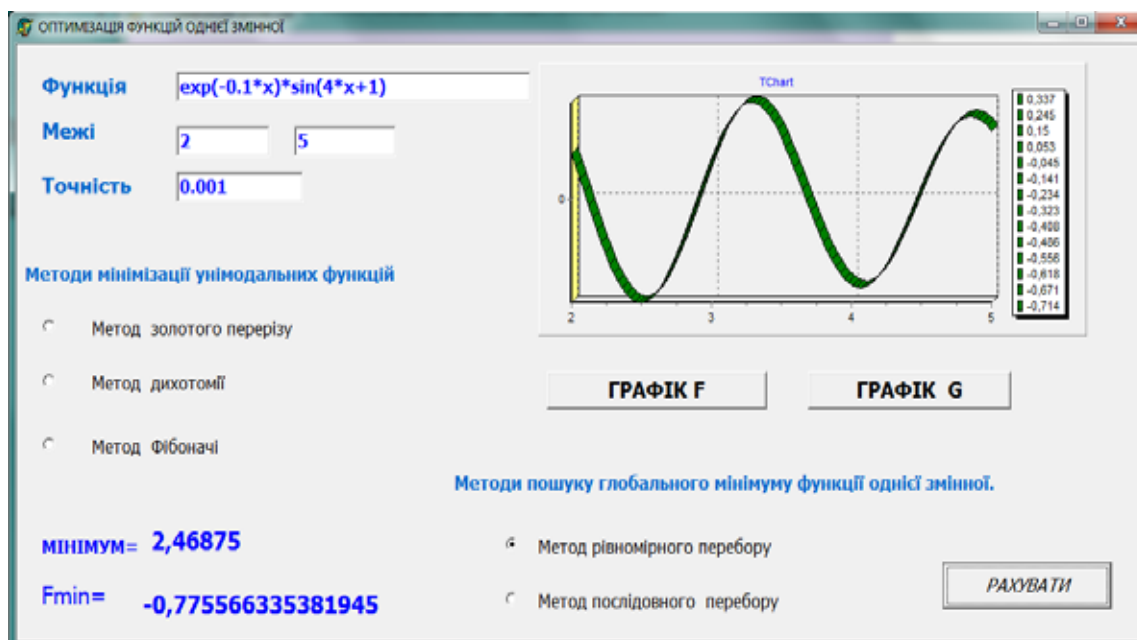


Рис. 5. Пошук мінімуму методом рівномірного перебору

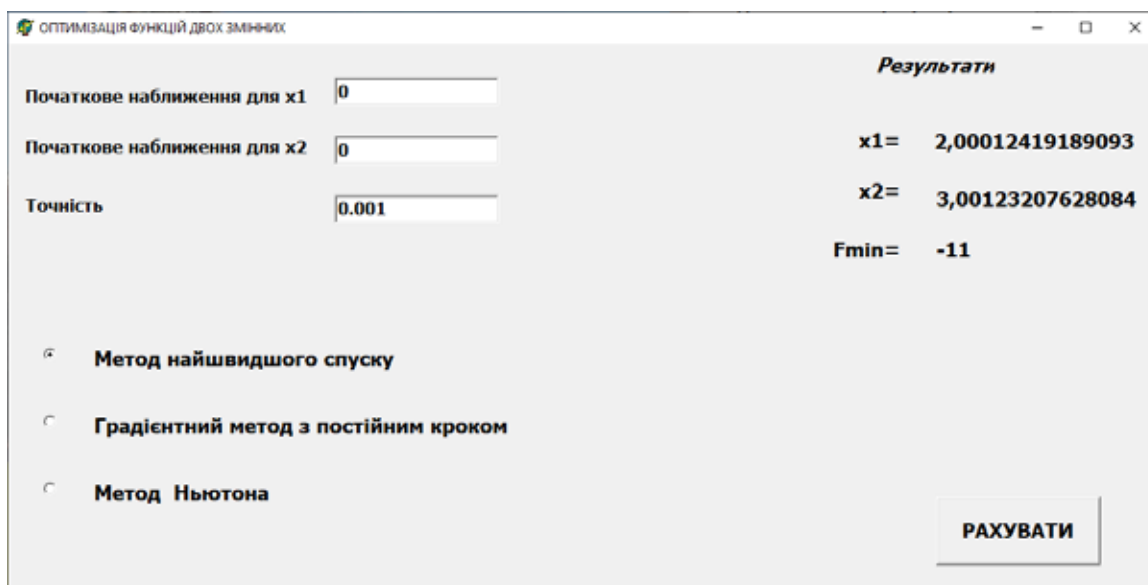


Рис. 6. Форма оптимізації функції двох змінних за методом найшвидшого спуску

методи. Якщо якщо одновимірна цільова функція унімодальна в області, яку досліджуємо то для відшукування оптимуму можна використати метод половинного ділення, метод золотого перетину, метод Фібоначі та інші.

Приклад 2. Знайти мінімальне значення функції $y = (x - 2)^2 + 3$ на відрізку $[-4, 10]$ методом половинного ділення з точність $\varepsilon = 0,0$.

На рис. 3 відображена форма результату роботи методу половинного ділення для пошуку локального мінімуму функції однієї змінної та графічне зображення функції на заданому інтервалі.

Фрагмент програмної реалізації чисельного методу дихотомії для знаходження локального мінімуму унімодальної функції зображено на рис. 4.

Для пошуку глобального мінімуму функції однієї змінної доцільно використати метод рівномірного чи послідовного перебору. На рис. 5 відображена форма результату роботи методу рівномірного перебору для пошуку глобального мінімуму функції однієї змінної та графічне зображення функції на заданому інтервалі.

Для оптимізації функції кількох змінних можна використовувати методи нульового порядку, для


```

if RadioButton1.Checked then begin
  a:=StrToFloat(Edit1.Text);
  b:=StrToFloat(Edit2.Text);
  acc:=StrToFloat(Edit3.Text);
  xs[1]:=a; xs[2]:=b;

2:  nor:=Sqrt(Sqr(f1(xs[1],xs[2]))+Sqr(f2(xs[1],xs[2])));
    if Abs(NOR)<acc then begin Label3.Caption:=FloatToStr(xs[1]);
      Label4.Caption:=FloatToStr(xs[2]);
      Label9.Caption:=FloatToStr(f(xs[1],xs[2]));goto 3
    end;

1:  xn[1]:=xs[1]-1*f1(xs[1],xs[2]);
    xn[2]:=xs[2]-1*f2(xs[1],xs[2]);
    if f(xn[1],xn[2])<f(xs[1],xs[2]) then
begin      xs[1]:=xn[1];xs[2]:=xn[2]; goto 1      end
else begin xs[1]:=xn[1];xs[2]:=xn[2];l:=1/e; goto 2
      end;
end;

```

Рис. 7. Програмна реалізація методу найшвидшого спуску

реалізації яких потрібно тільки значення функції, методи першого порядку, де застосовуються перші похідні функції та методи другого порядку що містять другі похідні функції.

Приклад 3. З використанням методу найшвидшого спуску, знайти наближене значення координат точки мінімуму функції $f = 2x_1^2 - 5x_1 - x_1x_2 + x_2^2 - 4x_2$. Почати пошук з точки (0, 0).

На рис 6 відображена форма для роботи із методами пошуку мінімуму функції двох змінних. На цій формі можна обирати один із методів: методи першого порядку (метод найшвидшого спуску та градієнтний метод з постійним кроком) та метод Ньютона-метод другого порядку.

Фрагмент програмної реалізації методу найшвидшого спуску зображений на рис. 7.

Висновок. Сьогодні особливе місце займає проблема вибору найкращого варіанта з усіх мож-

ливих. Методи безумовної та умовної оптимізації широко використовуються у різних галузях знань та практичній діяльності. Це стосується і підбору збалансованого харчування, оптимізації асортименту продукції, оптимального розподілу ресурсів, оптимізації транспортних перевезень та інші. Знання методології та програмних засобів дозволяють за допомогою розроблених програмних продуктів за мінімальний час і без великих зусиль знаходити оптимальні рішення таких прикладних задач. Сам процес створення проєкту, наприклад реалізація симплексного методу, що починаючи з певного опорного плану, за скінченну кількість кроків повертає оптимальний план задачі лінійного програмування, є досить затратним по часу, громіздким та непростим. Однак створюючи такий програмний продукт, студенти отримують навички роботи в програмному середовищі і у використанні оптимізаційних методів.

Список літератури:

1. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник. Київ, 2006. 816 с.
2. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації: навчальний посібник. Черкаси, 2005. 608 с.
3. Самсонов В.В. Алгоритми розв'язання задач оптимізації: навчальний посібник. Київ, 2014. 300 с.
4. Томашевський В.М. Моделювання систем: підручник. Київ, 2007. 352 с.
5. Костевич Л.С. Математическое программирование: учебное пособие. Минск, 2003. 424 с.
6. Бех О.В., Городня Т.А., Щербак А.Ф. Математичне програмування : навчальний посібник. Львів, 2014. 200 с.
7. Вітлінський В.В., Наконечний С. І., Терещенко Т. О. Математичне програмування: навч.-метод. посіб. для сам. вивчення дисципліни. Київ, 2001. 248 с.
8. Казарезов А.Я., Верланов Ю.Ю. Дослідження операцій: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. освіти. Ч.1. Математичне програмування. Миколаїв, 2003. 83 с.

Sikora O.V. OBJECT-ORIENTED APPROACH TO SOLVING OPTIMIZATION PROBLEMS

Throughout life, a person makes decisions, whether it is at home, at work, or in some other field. She analyzes the parameters that influence decision-making, evaluates the obtained results and uses them if necessary. The decision-making process is as old as humanity itself. For many years, a person made decisions, selected special conditions for them, influencing parameters and always tried to get the best result. For a long time, a person made decisions not using a mathematical apparatus, but on the basis of common sense, stock of knowledge and reasoning. This approach to decision-making has not lost its importance even today.

The wide development of technology, its automation and penetration of information technology into all spheres of life, led to the adoption of more general, scientifically based decisions based on mathematical apparatus to increase work efficiency. The very formulation of the question required the construction of a mathematical model, its substantiation and the selection of the best solution according to a predetermined criterion. This approach requires the use of a certain mathematical apparatus, its analysis and justification. For such purposes, mathematical methods were collected, which received the name of optimization methods of operations research.

The article is devoted to the use of optimization methods for solving problems and technologies for developing projects for them in a visual programming environment. For the development of the software product, the visual environment of the Delphi system was chosen, which allows you to develop programs using ready-made objects, properties and methods. In the program code focused on processing events, the student indicates how to react to various events or user actions, n-d, build a table, list data according to the rules of the algorithm, build a graphic representation of the function, etc.

The article demonstrates the software implementation of the simplex method for solving the problem of linear programming, which finds the optimal solution, and the software implementation of the methods of unconditional optimization of the unimodal function of one variable and the function of two variables.

Key words: *optimization methods, mathematical model, software product, linear programming, visual programming environment.*

Стаценко Д.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Злотенко Б.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

Демішонкова С. А.

Київський національний університет технологій та дизайну

Стаценко В.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИКОРИСТАННЯ I2C У КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ ПРИМІЩЕНЬ

У статті розглядаються імітаційні моделі комп'ютерних систем моніторингу температури у приміщеннях. Проведено порівняльний аналіз цих комп'ютерних систем. Наголошено, що використання пристроїв для вимірювання температури поширене серед різноманітних галузей людської діяльності. Необхідність встановлення великої кількості датчиків призводить до зростання складності комп'ютерної системи моніторингу. Важливу роль у розробці систем відіграють протоколи з'єднання датчиків з мікроконтролером.

У аналізі останніх публікацій та досліджень наведена інформація про широке застосування протоколу I2C у різних галузях для вирішення практичних завдань та необхідність подальшого вдосконалення систем з використанням цього протоколу.

Представлені дві імітаційні моделі комп'ютерних систем моніторингу температури в приміщенні на базі класичного з'єднання так і на базі I2C. У імітаційній моделі на базі стандартного використано: плата Arduino Uno на базі мікроконтролера Atmega328p, датчики температури LM35 та мультиплексор 74HC4051D. У імітаційній моделі на базі I2C протоколу використано: плата Arduino Uno та датчики температури TC74A0-5.0VAT. Наведено інформацію про роботу протоколу I2C, який широко застосовується для підключення низькошвидкісної периферії до мікропроцесорів та мікроконтролерів. З метою порівняння, використано однакову кількість датчиків в обох комп'ютерних системах для проведення рівнозначного аналізу результатів моделювання. Розглянуті параметри: кількість можливих з'єднань, складність конструкції, використання компактного програмного коду, частота тактового сигналу та вартість комп'ютерних систем моніторингу температури приміщення.

У висновках подано результати проведеного аналізу розглянутих імітаційних моделей комп'ютерної системи моніторингу температури приміщень. Наведено переваги та недоліки систем з I2C протоколом.

Ключові слова: імітаційна модель, комп'ютерна системи, I2C, датчик температури, Arduino UNO, мікроконтролер.

Постановка проблеми. Датчики дозволяють отримувати, реєструвати, обробляти та надавати інформацію про стан систем до яких вони підключені. На сьогодні, вимірювання температури поширене серед різноманітних галузей людської діяльності, відповідно використання термодатчиків стало звичним явищем. Термодатчики, різних типів, застосовуються у автоматизації технологічних процесів, проведенні наукових досліджень, промисловості, сільському господарстві, медицині, побуті тощо. Застосування термодатчиків дає можливість знизити вірогідність аварійних ситуацій та забезпечити роботоспроможність

дорогого виробничого обладнання. Удосконалення та розвиток моделей сучасних датчиків призводить до підвищення ефективності вимірювань. Надійність та ефективність різноманітних технічних пристроїв, зокрема датчиків, є визначальними факторами у будь-якій комп'ютерній системі.

В більшості випадків, термодатчики використовуються у пристроях для одночасного дистанційного вимірювання та контролю температури в різних точках об'єкта моніторингу. Установка досить великої кількості точок вимірювання температури на об'єктах моніторингу пов'язана з необхідністю своєчасного визначення осередку

підвищення або зниження температури та прийняття відповідних контрзаходів.

Необхідність встановлення великої кількості датчиків призводить до зростання складності комп'ютерної системи моніторингу даного об'єкту. Що у свою чергу, призведе до підвищення витрат необхідних для побудови такої комп'ютерної системи. При цьому, готові до придбання рішення не завжди задовольняють всім вимогам, або їх вартість перевищують допустимі межі.

Один з варіантів вирішення такої проблеми, є використання мікроконтролерів сімейства Arduino та під'єднаних до них датчиків, а також елементів візуалізації обробленої інформації для побудови комп'ютерної системи моніторингу об'єкту. Відповідно до чого, важливу роль у створенні такої системи будуть відігравати протоколи з'єднання датчиків з мікроконтролером. В залежності від яких будуть змінюватися технічні параметри комп'ютерної системи моніторингу об'єкту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні, для підключення датчиків до мікроконтролерів, використовуються різні протоколи з'єднання. Огляд публікацій за останні п'ять років показав широке використання протоколу I2C підключення в різних галузях людської діяльності.

У статті [1] розглянуто питання розробки методу для роботи з датчиком використовуючи I2C з метою підключення додаткових датчиків для стабілізації польоту БПЛА.

В роботі [2] розглянуто використання протоколу зв'язку I2C. Досліджено роботу мікросхеми 24LC256 з послідовною пам'яттю EEPROM, яка з'єднана за допомогою даного протоколу з датчиком температури TC74.

У дослідженні [3] розглянуто проблеми пов'язані з доступністю шини I2C для Cube Satellites та робототехнічних додатків. Пропонується використовувати програмовану користувачем вентилярну матрицю в якості альтернативи системам мікроконтролерів, оскільки вони здатні відновлюватися після несправностей шини шляхом часткової реконфігурації без переривання місії, а також можливе резервування потрібного проводу, оскільки доступно більше контактів.

Патент [4] пропонує пристрій та спосіб розширення діапазону адрес I2C або I2C-сумісної шини. Мета дослідження полягає у використанні інтегральної схеми в якості «Slave» у шині I2C, що надасть більшої гнучкості для призначення адресів під'єднаним «Slave»-пристроєм.

У статті [5] розглянуто спрощений підхід до блокування тактової лінії I2C за допомогою логіч-

них елементів, щоб захистити інформацію, що проходить через лінії даних.

На основі аналізу останніх досліджень і публікацій, в даній роботі, основну увагу присвячено підключенню датчиків до мікроконтролерів за допомогою протоколу I2C.

Постановка завдання. Метою даної роботи є порівняльний аналіз використання протоколу I2C та традиційного підключення датчиків температури до мікроконтролера комп'ютерних систем дистанційного вимірювання температури та моніторингу технічного стану об'єкту.

Виклад основного матеріалу. Розробка та створення ефективної системи моніторингу температури об'єкта передбачає використання достатньо великої кількості датчиків під'єднаних до комп'ютерної системи, яка буде виконувати функції обробки, аналізу та передачі даних отриманих з датчиків.

В роботі розглянуто декілька моделей підключення датчиків до мікроконтролера. Аналіз моделей проведено за допомогою пакету програм для автоматизованого проектування електронних схем Proteus [6].

На рис. 1 наведено імітаційну модель комп'ютерної системи призначеної для визначення температури у приміщенні.

У даній моделі задіяні наступні елементи: плата Arduino Uno на базі мікроконтролера Atmega328p [7], датчики температури LM35 та Virtual Terminal для виводу обробленої інформації з датчиків на консоль персонального комп'ютера.

Датчик LM35 є інтегральною схемою призначеною для вимірювання температури [8]. LM35 є недорогою, надійною та досить точною мікросхемою (похибка вимірювання становить близько $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$).

Позитивні якості датчика LM35: лінійна залежність вихідного сигналу (температура/напруга), низький вихідний опір, вбудована схема калібрування. Датчик може працювати в діапазоні від -55°C до 150°C . Аналоговий сигнал на виході прямо пропорційний до зміни температури в градусах Цельсія, на кожен градус припадає 10мВ. Струм споживання датчика становить близько 60 мкА, саморозігрів LM35 становить $0,1^{\circ}\text{C}$.

Головний недолік даного підключення (рис. 1) – можливість під'єднання невеликої кількості аналогових пристроїв. Плата Arduino Uno має лише п'ять аналогових виходів. Дане технічне обмеження призводить до того, що комп'ютерна система моніторингу температури в приміщенні може працювати лише у певних

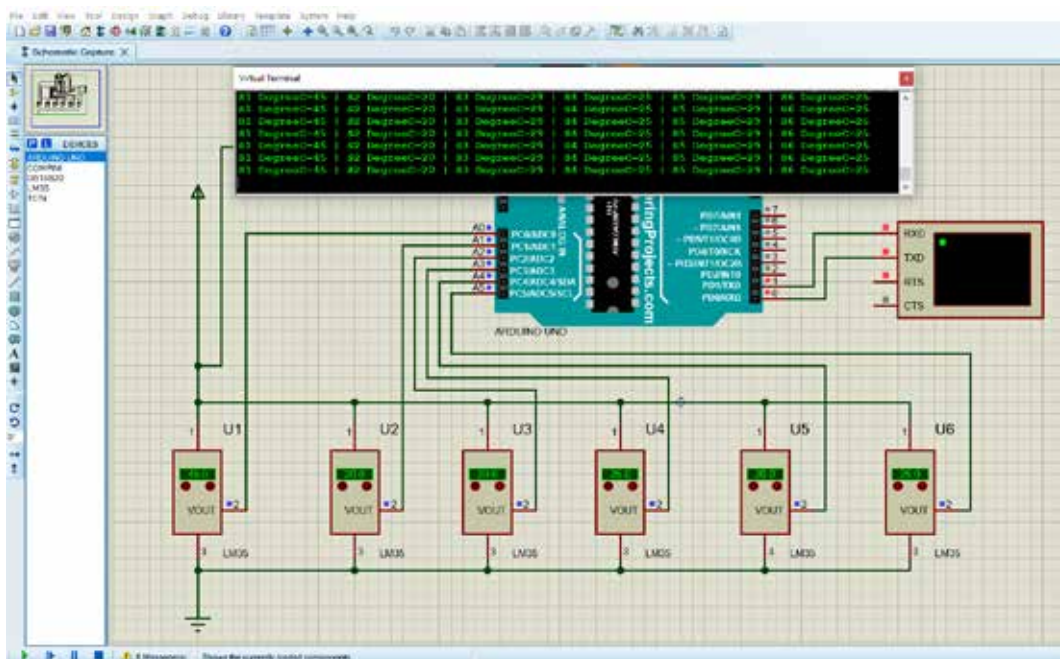


Рис. 1. Імітаційна модель комп'ютерної системи з прямим підключенням до плати

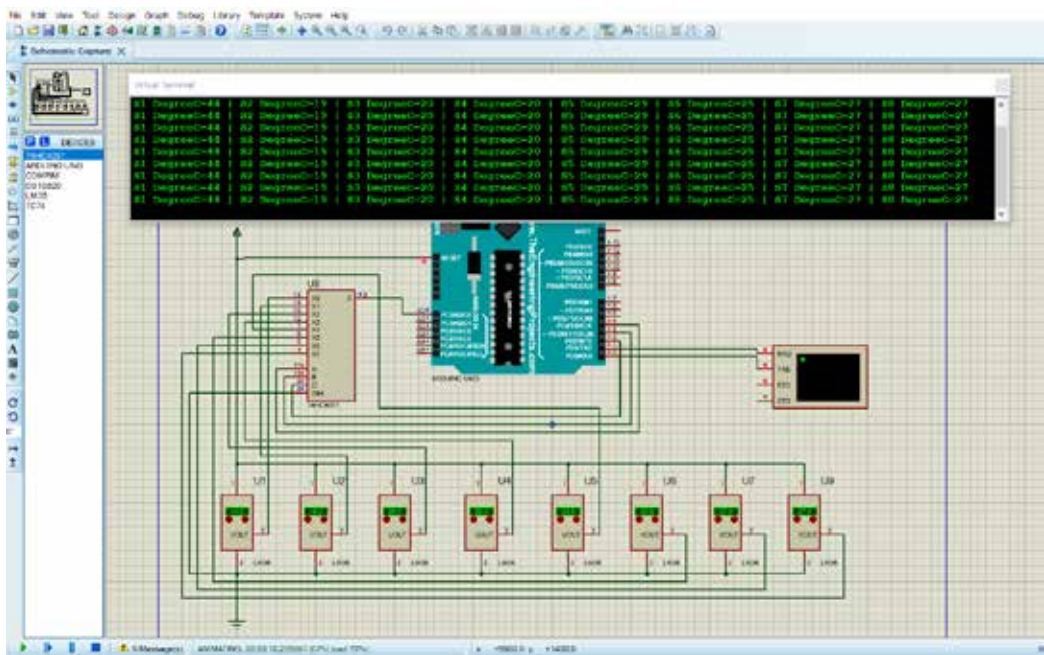


Рис. 2. Імітаційна модель комп'ютерної системи з підключенням через мультимплексор

межах, не передаючи повну інформацію про стан всього об'єкту.

Один з варіантів вирішення цієї проблеми, без заміни плати Arduino Uno, є використання мультимплексора. На рис. 2 представлено імітаційну модель у якій, за допомогою плати 74HC4051D, кількість під'єднаних датчиків збільшено.

Плата 74HC4051D – 8-канальний аналоговий мультимплексором. Це високошвидкісний КМОП пристрій Si-Gate. 74HC4051D має три цифрових

входів ($S_0 - S_2$), вхід активації низького рівня, вісім незалежних I/O ($Y_0 - Y_7$) та загальний I/O (Z). Якщо вхід активації низького рівня знаходиться в низькому рівні, то вибирається один із восьми перемикачів за допомогою $S_0 - S_2$. Коли вхід активації низького рівня знаходиться у високому рівні, всі перемикачі мають високий імпеданс у відключеному стані незалежно від $S_0 - S_2$. [9].

Імітаційна модель даного типу дозволяє підключити більше датчиків, але при цьому

зростає кількість з'єднань та додаткових елементів, необхідних для покращення ефективності роботи комп'ютерної системи моніторингу.

Один з варіантів вирішення цієї проблеми, є використання датчиків, які можна підключити за допомогою протоколу з'єднання I2C. Даний інтерфейс розроблений з метою простого зв'язку між компонентами на одній друкованій платі. Шина I2C використовує дві двонаправлені лінії для передачі та прийому інформації, підключені пристрої при обміні даними використовують загальну тактову лінію [10].

I2C широко застосовується для підключення низькошвидкісної периферії до мікропроцесорів та мікроконтролерів. Даний інтерфейс підтримує різні комбінації підключення ведучих та ведених пристроїв.

Інтерфейс I2C використовує лише послідовні лінії даних, тактової частоти та загальну землю для всіх пристроїв. Кожен I2C пристрій повинен мати два виводи:

1) SDA – для прийому та передачі даних від ведучого до веденого і навпаки.

2) SCL – передачі тактового сигналу, який генерується ведучим пристроєм.

Передача біт, у інтерфейсі I2C, синхронізується з прийомом за допомогою тактового сигналу, який спільно використовується ведучим і веденим. Максимальна кількість підключених I2C пристроїв може досягати 127 але 16 адрес, з них, зарезервовані. Максимальна довжина шини залежить від ємності кабелю та швидкості передачі. При швидкості 100 кбіт/с довжина шини I2C може становити до 1 м та 10 м при швидкості 10 кбіт/с.

Дані, які необхідно передати по шині I2C, розбиваються на кадри і передаються у форматі повідомлень, які містять: адресний кадр з двійковою адресою пристрою; біт читання/запису; біти підтвердження.

Для повідомлення пристрою про те, що дані надсилаються саме йому, використовується адресація. Адресний кадр завжди відправляється після процедури початку передачі. Ведучий надсилає адресу всім підключеним до нього пристроям, далі всі під'єднані пристрої порівнюють отриману адресу зі своєю і, якщо вони співпадають, відправляють ведучому пристрою біт підтвердження низького рівня. Якщо адреса не збігається, пристрій не виконує жодних дій і лінія SDA залишається у високому стані. В кінці адресного кадру відправляється біт, який визначає операцію читання/запису.

Після кожного кадру у повідомленні на шині очікується біт підтвердження. Якщо він був успішно

отриманий надсилається перший кадр даних. Після передачі всіх кадрів даних ведучий проводить процедуру закінчення передачі. Для цього ведучий переводить лінію SDA у високий стан, при цьому SCL залишається у високому стані.

Тактова частота завжди генерується ведучим та синхронізує обмін даними між ведучим та веденим. Будь-який I2C пристрій на шині може утримувати лінію SCL в низькому стані необмежений час. Дана процедура, затримка тактового сигналу, використовується у випадках, коли ведений пристрій не може відразу відправити дані у відповідь і знижує швидкість шини.

Технічний опис та регістри I2C у документації різних мікросхем можуть відрізнятися залежно від виробника. Назви регістрів та їх описи можуть бути іншими, однак їх призначення та використання є загальним для всіх пристроїв. Програмна реалізація I2C варіюється залежно від завдання.

На рис. 3 показана імітаційна модель побудована на основі цього методу. В даній схемі використано цифровий датчик температури TC74A0-5.0VAT [11].

Дані про температуру від вбудованого термочутливого елемента перетворюються на 8 бітне цифрове слово. Зв'язок з TC74 здійснюється через простий 2-провідний послідовний порт із сумісністю з I2C. Біт SHDN у регістрі CONFIG можна використовувати для активації режиму очікування з низьким споживанням енергії. Роздільна здатність температури 1 °C. Номінальне значення швидкості перетворення 8 вибірок/с. Енергоспоживання всього 200мкА. Мінімальна вимірювана температура, -40°C. Максимальна температура, що вимірюється, +125°C. Точність, 2 %. У таблиці 1 наведено статичні характеристики даного датчика.

Температурний діапазон датчика TC74 наближений до розглянутого, у імітаційній моделі на рис. 1 та рис. 2, датчика температури LM35.

З метою порівняння, для моделювання було обрано однакову кількість датчиків (рис. 2 та рис. 3), а також єдина модель плати Arduino UNO. Дана схема має ряд переваг перед вищезазначеними.

У імітаційній моделі, яка використовує інтерфейс I2C, використовується два аналогових виводи (SDA, SCL), у той час, як у схемі підключеної за допомогою стандартних з'єднань використовується один аналоговий (A0) та три цифрових виводи плати Arduino UNO. Також використовуються всі виводи мультиплектора 74HC4051D, що збільшує та ускладнює кількість зв'язків. Даний фактор негативно впливає, як на конструкцію комп'ютерної системи моніторингу, так і на код

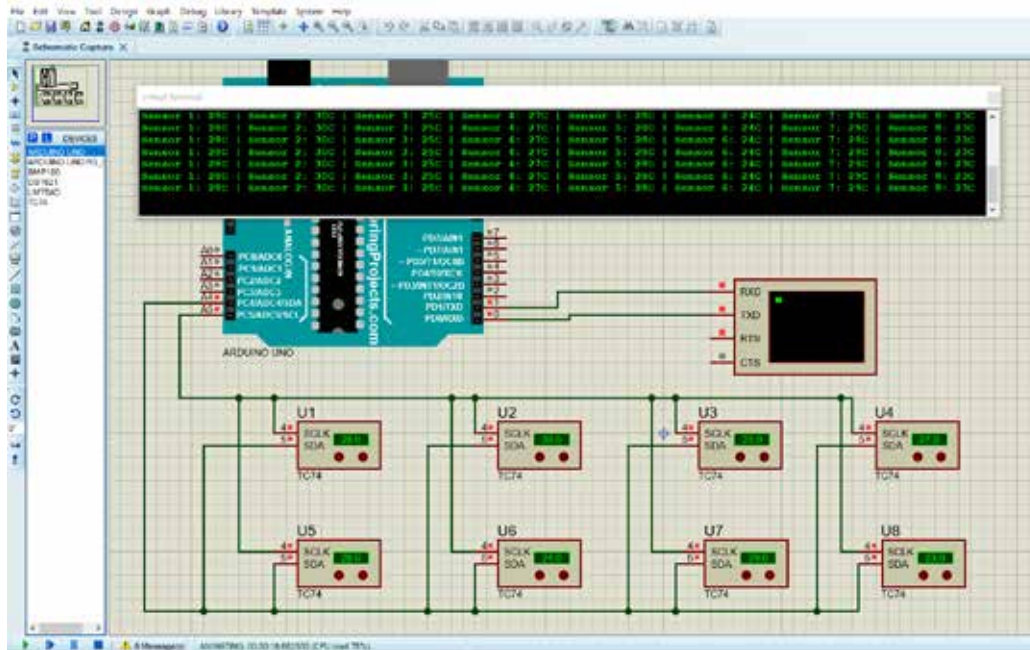


Рис. 3. Імітаційна модель комп'ютерної системи моніторингу з інтерфейсом I2C

Таблиця 1

Статичні характеристики TC74A0-5.0VAT

Позначення	Параметр	Одиниці вимірювання	Числове значення
f_{SMB}	Синхросигнал (тактовий сигнал)	кГц	100
t_{LOW}	Тривалість напівперіоду «низького» SCL	мкс	4,7
t_{HIGH}	Тривалість напівперіоду «високого» SCL	мкс	4
t_R	Фронт сигналів SCL та SDA	нс	1000
t_F	Спад сигналів SCL та SDA	нс	300
$t_{SU(START)}$	Час встановлення сигналів	мкс	4
$t_{H(START)}$	Час утримання сигналів на початку або повторі передачі	мкс	4
$t_{SU-DATA}$	Час встановлення даних	нс	1000
t_{H-DATA}	Час утримання даних	нс	1250
$t_{SU(STOP)}$	Час встановлення сигналів для закінчення передачі	мкс	4
t_{IDLE}	Час після закінчення, перед початком нової передачі	мкс	4,7

програми необхідний для реалізації послідовності команд пов'язаних з моніторингом. Для збільшення числа датчиків під'єднаних до плати Arduino UNO (рис. 2), необхідно використати додаткові мультиплектори. Якщо, для цього, використовувати плати 74HC4051D, то максимальна кількість підключених датчиків збільшиться до 32, в порівнянні з протоколом I2C, в якому можливе підключення 111 пристроїв одночасно використовуючи таку ж саму плату Arduino UNO.

Тактовий сигнал імітаційної моделі з протоколом I2C в стандартному режимі буде становити 100 кГц, або 10 мкс. Для імітаційної моделі зі стандартним з'єднанням максимальна частота зчитування приблизно дорівнює 10 кГц, або 100 мкс. Використання плати мультиплектора 74HC4051D,

для збільшення кількості під'єднаних датчиків, має незначний вплив на час зчитування сигналу з аналогового пристрою, відповідно до технічної специфікації [9] затримка сигналу та час включення становлять приблизно 400 нс.

Наступна величина, яку необхідно розглянути – вартість використаних елементів у обох імітаційних моделях дистанційного моніторингу приміщення. Розглянута вартість елементів: LM35 – 57,5 грн.; 74HC4051D – 10 грн.; TC74A0-5.0VAT – 114,5 грн.. Ціни вказані відповідно до магазинів України станом на вересень 2022 року. Відповідно до цього вартість обладнання необхідного для моніторингу та передачі даних у першому випадку (рис. 2) складає 470 грн. без врахування плати Arduino UNO. У другому

варіанті (рис. 3) вартість обладнання бути дорівнювати 916 грн. при таких самих умовах.

Висновки. Проведений аналіз комп'ютерних систем імітаційних моделей моніторингу температури приміщень на базі стандартного з'єднання та на базі протоколу I2C показав наступні результати. Використання протоколу I2C має наступні переваги: менша кількість зв'язків, проста для реалізації конструкція, компактність та простота програмного

коду, можливість під'єднати до однієї і тієї ж плати мікроконтролера більшу кількість датчиків, але не більше 111. Також, частота тактового сигналу в 10 разів більша в порівнянні зі стандартним з'єднанням. Недоліки такої комп'ютерної системи наступні: вартість приладів з інтерфейсом I2C на 51,3% більша ніж при стандартному підключенні, пошкодження навіть одного з'єднання I2C призведе до виходу з ладу всієї комп'ютерної системи моніторингу.

Список літератури:

1. Деркач М.В., Матюк Д.С. Альтернативний метод для роботи з датчиком MPU-6050 по шині даних I²C. Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. Харків: НТУ "ХПІ", 2020.
2. Ward H. Programming Arduino Projects with the PIC Microcontroller. *Using the I2C Protocol* / H. Ward, Apress Berkeley, CA, 2022, pp. 451-483.
3. Trujillo L., Saotome O., Öberg J. Proceedings of the 7th Brazilian Technology Symposium (BTSym'21). / Y. Iano, O. Saotome, G. L. K. Vásquez, C. C. Pezzuto, R. Arthur, G. G. de Oliveira. Springer Cham, 2022. pp. 383-395.
4. Apparatus and method for increased address range of an I2C or I2C compatible bus: Patent: US8543740B2 USA Appl. No 13/010481; filed 20.10.2011; date of patent 24.09.2013
5. Rekha S., Balu R., Dilipkumar N., Crocier A., Mohankumar N. International Conference on Communication, Computing and Electronics Systems. *Logically Locked I2C Protocol for Improved Security* / V. Bindhu, J. M. R. S. Tavares, A.A. Boulogeorgos, C. Vuppapapati. Springer Singapore, 2020. pp. 707-716.
6. PCB Design and Circuit Simulator Software – Proteus. URL: <https://www.labcenter.com/>
7. Arduino UNO R3. Product Reference Manual. URL: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>
8. LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
9. CMOS Digital Integrated Circuits 74HC4051D, 74HC4052D. URL: https://www.mouser.com/datasheet/2/408/74HC4051D_datasheet_en_20201203-959201.pdf
10. UM10204 I2C-bus specification and user manual. URL: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>
11. TC74 Tiny Serial Digital Thermal Sensor. URL: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21462D.pdf>

Statsenko D.V., Zlotenko B.M., Demishonkova S.A., Statsenko V.V.

USING I2C IN COMPUTER SYSTEMS OF INDOOR TEMPERATURE MONITORING

The article considers simulation models of computer systems for temperature monitoring in rooms. A comparative analysis of these computer systems was carried out. It is emphasized that the use of devices for measuring temperature is widespread among various fields of human activity. The need to install a large number of sensors leads to an increase in the complexity of the computer monitoring system. Protocols for connecting sensors to a microcontroller play an important role in system development.

In the analysis of the latest publications and studies, information is given about the wide application of the I2C protocol in various fields for solving practical tasks and the need for further improvement of systems using this protocol.

Two simulation models of indoor temperature monitoring computer systems based on classical connection and I2C are presented. The simulation model based on the standard protocol used: Arduino Uno board based on Atmega328p microcontroller, LM35 temperature sensors and 74HC4051D multiplexer. The simulation model based on the I2C protocol uses: Arduino Uno board and temperature sensors TC74A0-5.0VAT. Information is given on the operation of the I2C protocol, which is widely used to connect low-speed peripherals to microprocessors and microcontrollers. For the purpose of comparison, the same number of sensors was used in both computer systems to conduct an equivalent analysis of the simulation results. The parameters considered are the number of possible connections, the complexity of the design, the use of compact software code, the clock frequency, and the cost of indoor temperature monitoring computer systems.

The results of the analysis of the considered simulation models of the computer system for monitoring room temperature are presented in the conclusions. The advantages and disadvantages of systems with the I2C protocol are given.

Key words: simulation model, computer systems, I2C, temperature sensor, Arduino UNO, microcontroller.

Ткачук А.Г.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ГРАДУЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ОПТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ НА БАЗІ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ

Розроблено нову інформаційно-вимірвальну систему для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів, а також проведення наземної відеозйомки на базі роботизованої гусеничної платформи. Мобільний робот побудовано на базі малошумного гусеничного шасі, яке має підвищену прохідність. Платформу виконано із з високоміцного алюмінієвого сплаву, а гусениці зроблені з інженерного пластика, який забезпечує відмінну еластичність, чудовий демпфуючий ефект і високе зчеплення шасі з дорогою. Описано як на шасі платформи розміщено аналогову камеру з інфрачервоною підсвіткою, що дозволяє проводити відеозйомку як вдень, так і вночі, а також тепловізор. Всі оптичні сенсори розміщені на спеціалізованій рухомій башті, яка має кут повороту 360 градусів. Ідентифіковано, що на башті також розміщено систему стабілізації оптичних пристроїв із ємнісним чутливим елементом, який складається з двох пластин: стаціонарної та рухомої. Статичне калібрування проводиться при одному або декількох рівнях постійного прискорення. Динамічне калібрування, зазвичай, виконується за допомогою електродинамічного вібростенда. Розглянуто типи конструкцій ємнісного чутливого елемента. Описано методи калібрування чутливих елементів: статичні і динамічні. Приведено опис експериментальної установки для проведення градуювання чутливого елемента. Проведено метрологічну операцію градуювання чутливого елемента системи стабілізації оптичних пристроїв на базі роботизованої платформи. Встановлено, що кут повороту його вимірвальної осі відносно довідкової вертикалі впливає прямо пропорційно на його вихідні покази та величину його похибки.

Ключові слова: чутливий елемент, роботизована платформа, точність, інформаційно-вимірвальна система, ємність.

Постановка проблеми. Тренд на робототехніку тільки зароджується і все це стає більш зрозумілим та доступним для людини. Щодня з'являється дедалі більше компаній, які починають випускати роботів, і навіть вирішувати завдання вже існуючих роботів. Кожен робот – це унікальна робота інженерів та програмістів, тому виробництво та розробка нових – це тривалий процес, який займає час.

Мобільна робототехніка є сьогодні однією з пріоритетних галузей науки і техніки. Саме ця галузь пов'язана зі створенням мобільних роботів, які можуть переміщатися у фізичному середовищі. Мобільні роботи, як правило, контролюються програмним забезпеченням і використовують датчики та іншу передачу для визначення їх оточення. Мобільні роботи поєднують прогрес у штучному інтелекті з фізичною робототехнікою, що дозволяє їм орієнтуватися в оточенні.

Сьогодні приладові розвідувальні системи, в основному, встановлюються на безпілотних літальних апаратах та мають обмежений функціонал. Тому використання багатофункціональних приладових інформаційно-вимірвальних систем

на базі саме мобільних роботизованих наземних платформ є актуальним та доцільним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Багато наукових праць таких видатних вчених, як: М.А. Павловський, Б.Б. Самотокін, Д.А. Браславський, С.С. Рівкін, А.Ю. Ішлінський, С.Ф. Коновалов, О.М. Безвесільна, В.П. Квасніков та інші, присвячені дослідженням акселерометрів.

У роботі [1, с. 2] описано стан і перспективи розвитку роботизованих дистанційно-керованих автомобілів, які можуть використовуватись як у військових, так і цивільних цілях.

У роботах [2, с. 60; 3, с. 6] запропоновано в якості чутливого елемента системи стабілізації відеокамери використовувати коріолісовий вібраційний гіроскоп. Приведено будову і принцип роботи відомої системи ударо- і віброзахисту навігаційного комплексу. Однак, відсутні пропозиції по покращенню технічних характеристик системи.

У роботах [4, с. 149; 5, с. 3] відображено результати досліджень локалізації небезпечних газів на відкритому повітрі. Представлено систему, що здатна виконувати пошук газів по різних

сценаріях забруднення. Дану систему було вдосконалено враховуючи непередбачуваний характер розсіювання газу, що описано в [6, с. 36].

Провідними виробниками акселерометрів є фірми Analog Devices, Motorola, Sensor Nor, Nippodenco, SNL та інші.

Постановка завдання. Калібрування чутливих елементів дуже важливе і необхідне при вимірах прискорення, вібрації і ударів.

Методи калібрування існують як статичні, так і динамічні. Статичне калібрування проводиться при одному або декількох рівнях постійного прискорення. Наприклад, якщо обраний метод калібрування за допомогою похилого столу, то використовується вертикальна складова вільного падіння без вибору величини. З іншого боку, якщо обрана центрифуга, то вона виробляє постійне прискорення в залежності від швидкості обертання, а величини можуть бути обрані в широкому діапазоні від 0 g до 50000 g. Динамічне калібрування, зазвичай, виконується за допомогою електродинамічного вібростенда. Електродинамічний вібростенд призначений для коливання у синусоїдальному русі зі змінними частотами і амплітудами. Вони стабілізуються на обраних рівнях калібрування. Це абсолютний метод, який складається з вимірювання зміщення за допомогою лазерного інтерферометра і точного частотного вимірювача для точних частотних вимірювань. Вібростенд повинен приводитися в рух підсилювачем потужності, що дає синусоїдальний вихід з мінімальними спотвореннями. Високоточні акселерометри, в основному п'єзоелектричного типу, калібруються за абсолютним методом і потім використовуються в якості робочого стандарту. Кращим методом є зворотне калібрування, при якому зразок випробування монтується безпосередньо на робочий стандарт, який, в свою чергу, монтується на електродинамічний вібростенд [7, с. 36].

Мета – проведення метрологічної операції градування чутливого елемента системи стабілізації для оптичних пристроїв на базі роботизованої платформи.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Науковцями лабораторії робототехніки Державного університету «Житомирська політехніка» розроблено нову інформаційно-вимірювальну систему для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів, а також проведення наземної відеозйомки на базі роботизованої гусеничної платформи (рис. 1).

Мобільний робот побудовано на базі малошумного гусеничного шасі, яке має підвищену



Рис. 1. Інформаційно-вимірювальна система для моніторингу наявності шкідливих та вибухонебезпечних газів та проведення наземної відеозйомки на базі роботизованої гусеничної платформи

прохідність. Саму платформу виконано із з високоміцного алюмінієвого сплаву. Гусениці танка зроблені з інженерного пластика, який забезпечує відмінну еластичність, чудовий демпфуючий ефект і високе зчеплення шасі з дорогою. Робоплатформа має два потужні електродвигуни, оснащені редукторами з металевими шестернями.

На шасі розміщено аналогову камеру з ІЧ підсвіткою, що дозволяє проводити відеозйомку також і в нічний час. Поруч з відеокамерою встановлено тепловізор. Всі оптичні сенсори розміщені на спеціалізованій рухомій башті, яка має кут повороту 360 градусів. На башті також розміщено систему стабілізації оптичних пристроїв із ємнісним чутливим елементом, який складається з двох пластин: стаціонарної, часто з'єднаної з корпусом, і вільно переміщуваної усередині корпусу, до якого приєднана інерційна маса. Ці пластини формують конденсатор, величина ємності якого залежить від відстані між ними і від прискорення руху, випробуваного датчика. Максимальне переміщення, яке визначається ємнісним акселерометром, не перевищує 20 мкм. Отже, в таких датчиках завжди необхідно компенсувати дрейф різних параметрів, а також пригнічувати всі можливі перешкоди. Тож зазвичай акселерометри мають диференціальну структуру, для чого в їх склад вводиться додатковий конденсатор, ємність якого повинна бути близька до ємності основного конденсатора. При цьому напруги на

конденсатори подаються із зміщенням фаз 180° . Тоді величина прискорення датчика буде пропорційна різниці значень ємностей конденсаторів. Диференціальна структура дозволяє збільшити амплітуду і поліпшити лінійність сигналу, так як залежність ємності від переміщення є нелінійною [8, с. 57].

На рис. 2 показано поперечний переріз чутливого елементу, в якому інерційна маса (ІМ) розміщена між верхньою нерухомою обкладкою та нижньою. Інерційна маса прикріплена до рухомої обкладки. Верхня нерухома обкладка та нижня відділенні від ІМ шарами діелектрика, d_1 та d_2 – змінні відстані між обкладками. Всі елементи виготовленні методами мікротехнологій на одній кремнієвій підкладці.

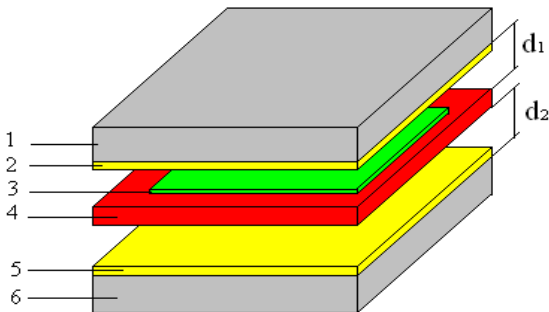


Рис. 2. Ємнісний акселерометр:
1,6 – нерухомі обкладки; 2,5 – діелектрики;
3 – інерційна маса; 4 – рухома обкладка

Існує багато методів закріплення ІМ на рухомій обкладці. Розглянемо два основні конструктивні види закріплення ІМ: консольна (рис. 3) конструкція та мостова (рис. 4).

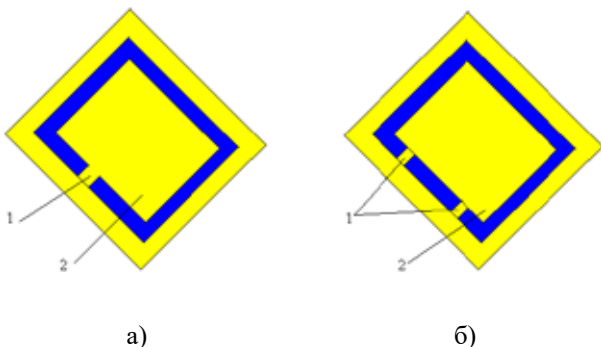


Рис. 3. Консольна конструкція: 1 – балка;
2 – ІМ: а) закріплення ІМ з однією балкою;
б) закріплення ІМ з двома балками

На рис. 3, а зображено консольну конструкцію закріплення ІМ за допомогою однієї балки. При такій конструкції переміщення маси по осі “у” ввєрх чи ввєниз, призведе до обертання її по осі “х”.

Це ускладнює вимірювання зміни ємності акселерометра. В подальшому балку було розділено на дві (рис. 3, б). Це призвело до того, що коли ІМ піднімається ввєрх чи опускається ввєниз по осі “у” практично немає обертання по осі “х”. На рис. 4, а зображено мостову конструкцію закріплення ІМ у стані, коли на ІМ не діє прискорення і вона знаходиться у статичному стані. На рис. 4, б зображено переміщення ІМ при дії прискорення. Як видно, при дії прискорення, балки які закріплюють ІМ з двох боків рівномірно опускають ІМ або піднімають.

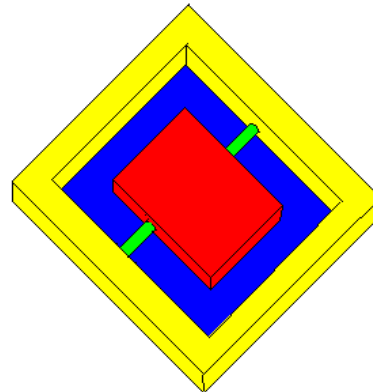


Рис. 4. Мостова конструкція

Градуювання – це метрологічна операція, за допомогою якої засіб вимірювань (міра або вимірювальний прилад) забезпечується шкалою або градуювальною таблицею (кривою) [9, с. 10]. Для цього використовуємо установку (рис. 5), яка складається із оптичної ділильної головки 1, чутливого елементу 2, встановленого на кронштейні 3, блоку підсилення 4, модуля введення-виведення 5 та ЕОМ 6.

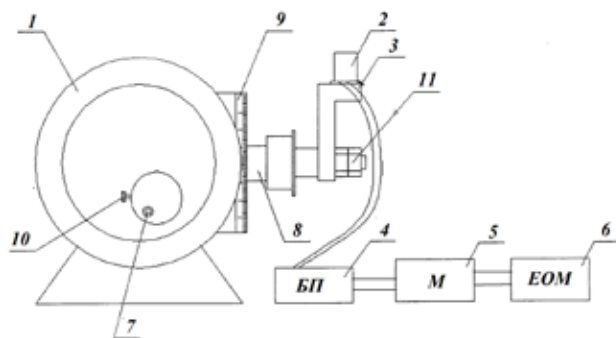


Рис. 5. Експериментальна установка для градуювання: 1 – оптична ділильна головка;
2 – чутливий елемент; 3 – кронштейн;
4 – блок підсилення; 5 – модуль введення-виведення; 6 – ЕОМ; 7,10 – поворотні ручки;
8 – вал; 9 – відлікова шкала; 11 – прижимні гайки

Градуювання відбувається при нахиленні вимірювальної осі OZ за допомогою оптичної ділильної головки на деякий кут α_z (рис. 6). Градуювання

реалізується за допомогою поворотної ручки 7 оптичної ділильної головки 1. При цьому повертається вал 8, кронштейн 3, а також закріплений на кронштейні чутливий елемент 2. Кут повороту α_z керується по відліковій шкалі 9. Вихідний сигнал чутливого елемента 2 відображається на ЕОМ 6.

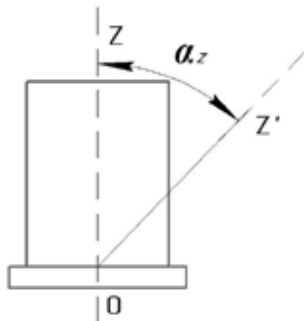


Рис. 6. Кут нахилу чутливого елемента

Отримані результати $g_{zЕКСП}$ градуювання чутливого елемента експериментальним шляхом відобразимо у табл. 1 та порівняємо їх із аналітичними розрахунками ($g_{zТЕОР} = g \cdot \cos\alpha_z$). Побудуємо графіки залежностей g_z від кута повороту α_z (рис. 7). Оскільки обрано метод статичного градуювання, то і як прискорення використано прискорення сили тяжіння, а одиниці вимірювання – мГл.

Як бачимо із табл. 1, різниця між відхиленнями вимірювальної осі чутливого елемента на кут α_z обчисленими аналітично та отримані експериментально не перевищує 1 мГл. Кут повороту його вимірювальної осі відносно довідкової верти-

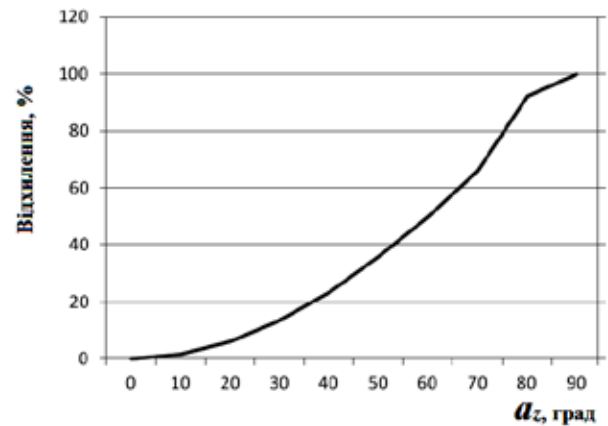


Рис. 7. Графік залежності відхилення вимірювальної осі чутливого елемента a

калі впливає прямо пропорційно на його вихідні покази та величину його похибки.

Висновки. Розглянуто нову інформаційно-вимірювальну систему для проведення відеозйомки на базі роботизованої гусеничної платформи. Встановлено, що дана система є необхідною для попередження про можливі загрози вибухів чи отруєння газами, проведення рятувальних робіт тощо. Описано розроблену конструкцію роботизованої платформи та башту, на якій встановлено оптичні пристрої, які необхідно стабілізувати у положення вертикалі. Приведено схему чутливого елемента системи стабілізації оптичних пристроїв. Проведено градуювання розробленого чутливого елемента.

Таблиця 1

Градувальна таблиця чутливого елемента системи стабілізації башти для оптичних пристроїв

№	a	$g_{zЕКСП}$, мГл	$g_{zТЕОР}$, мГл	Відхилення експерт. від теорет. по модулю, мГл	Відхилення від поточного значення, %
1	0	981100,375	981100,376	0,001	0
2	10	966195,234	966195,257	0,023	1,52
3	20	921932,665	921932,784	0,119	6,03
4	30	849658,072	849657,849	0,223	13,39
5	40	751566,893	751566,491	0,402	23,40
6	50	630639,662	630639,161	0,501	35,72
7	60	490549,470	490550,188	0,718	50,01
8	70	335556,981	335556,091	0,890	65,79
9	80	17365,725	17364,818	0,907	98,23
10	90	0	0	0	100

Список літератури:

1. Калінін О.М., Костюк В.В., Русіло П.О., Варванець Ю.В. Стан і перспективи розвитку самохідних дистанційно-керованих машини для потреб Збройних Сил України. *Вісник НТУ "ХПІ"*. 2016. № 39.
2. Chikovani V.V. Influence of shock on the vibration amplitude stabilization system of Coriolis vibratory gyroscope resonator / V.V. Chikovani // *Електроніка та системи управління*. – №4(34). – 2012р. – С. 56-63.
3. Remillieux, G.; Delhayе, F. Sagem Coriolis Vibrating Gyros: A vision realized/ Remillieux G.; Delhayе F.// *Inertial Sensors and Systems Symposium (ISS)*, 2014. – С. 1-13.

4. Bartholmai M, Neumann P. Micro-drone for gas measurement in hazardous scenarios via remote sensing. 2010, 149:152.
5. Neumann P, Bartholmai M, Schiller JH, et al. Micro-drone for the characterization and self-optimizing search of hazardous gaseous substance sources: A new approach to determine wind speed and direction. In: Robotic and Sensors Environments (ROSE), 2010 IEEE International Workshop on; IEEE; 2010. p. 1-6. DOI: 10.1109/rose.2010.5675265.
6. Neumann P, Asadi S, Schiller JH, et al. An artificial potential field based sampling strategy for a gas-sensitive micro-drone. In: IROS Workshop on Robotics for Environmental Monitoring (WREM); 2011. p. 34-38.
7. Webster J. G. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook. Spatial, Mechanical, Thermal, and Radiation Measurement / J. G. Webster, H. Eren. Boca Raton : CRC Press, 2014. 2nd ed. 1603 p.
8. Безвесільна О. М. Перетворювальні пристрої приладів / О. М. Безвесільна, П.М. Таланчук. К. : ІСДО, 1994. 448 с.
9. Безвесільна О.М. Система стабілізації вимірювальної осі п'єзогравіметра авіаційної гравіметричної системи у положення вертикалі / О. М. Безвесільна, А.Г. Ткачук. Вісник інженерної академії України. 2013. № 1. С. 10–12.

Tkachuk A.H. GRADUATING CHARACTERISTICS OF THE SENSITIVE ELEMENT OF THE OPTICAL DEVICES STABILIZATION SYSTEM BASED ON A ROBOTIC PLATFORM

A new information and measurement system have been developed to monitor the presence of harmful and explosive gases, as well as ground video recording based on a robotic crawler platform. The mobile robot is built on the basis of a low-noise tracked chassis, which has increased cross-country ability. The platform is made of high-strength aluminum alloy, and the tracks are made of engineering plastic, which provides excellent elasticity, excellent damping effect and high traction of the chassis with the road. It is described how an analog camera with infrared illumination is placed on the chassis of the platform, which allows video recording both during the day and at night, as well as a thermal imager. All optical sensors are placed on a specialized mobile tower that has a rotation angle of 360 degrees. It has been identified that the tower also houses a stabilization system for optical devices with a capacitive sensitive element, which consists of two plates: a stationary one and a movable one. Static calibration is performed at one or more levels of constant acceleration. Dynamic calibration is usually performed using an electrodynamic vibration stand. The types of constructions of the capacitive sensitive element are considered. Methods of calibration of sensitive elements are described: static and dynamic. A description of the experimental setup for calibration of the sensitive element is given. A metrological calibration operation of the sensitive element of the optical device stabilization system based on the robotic platform was carried out. It is established that the angle of rotation of its measuring axis relative to the reference vertical affects directly proportionally its output readings and the magnitude of its error.

Key words: sensitive element, robotic platform, accuracy, information and measurement system, capacity.

Хлопенко М.Я.

Херсонська державна морська академія

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР ПУСКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ЕЛЕКТРОПРИВОДІ СУДНОВОЇ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ ПРИ ЧАСТОТНОМУ КЕРУВАННІ З РОБАСТНИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Метою роботи являється моделювання та оптимальний вибір пускових характеристик в електроприводі суднової компресорної установки при частотному керуванні з робастним регулятором. Для проведення досліджень розроблено методологію наукового дослідження комп'ютерного моделювання таких характеристик. Удосконалено структурну схему системи частотного керування електроприводу за рахунок включення в основний контур робастного регулятора, коригувальної аперіодичної ланки на вході системи за задатчиком та блоків навантаження на двигун. Побудовано в пакеті Simulink схему моделювання пускових характеристик в асинхронному електроприводі суднового V-подібного двоступінчастого поршневого повітряного компресора з прямим кутом розвалу. Вона містить в основному контурі робастний регулятор швидкості та навантаження на жорсткий вал, що складається з ротора електродвигуна, колінчастого валу компресорної установки та маховика. Навантаження включає два блоки для знаходження дії на вал приведених до кривошипу моментів сил тяжіння і тиску повітря на поршні, а також розрахований момент тертя за індикаторною потужністю і механічним ККД компресора, причому моменти тиску повітря на поршні розкладені по гармоніках в ряди Фур'є. Приведений до кривошипу змінний момент інерції рухомих мас КШМ має постійний доданок. Цій доданок містить момент інерції жорсткого валу з зосередженими масами частин шатунів на осі шатунної шийки колінчастого валу. На конкретному прикладі розраховані криві перехідних процесів вимушених параметричних коливань кутової швидкості жорсткого валу, крутного моменту і навантаження на двигун при пуску компресора. Вони розраховувалися при різних значеннях постійної часу коригувальної ланки і постійного доданку змінного осьового моменту інерції жорсткого валу при дії на вал сил тертя, тиску повітря на поршні і сил тяжіння поршнів з приєднаними частинами мас шатунів. Побудовані таблиці впливу цих параметрів на крутний момент електродвигуна і таким шляхом отримані їх оптимальні значення, що відповідають критичному моменту у допустимих межах. Ці оптимальні значення параметрів враховувалися при розрахунку та побудові кривих перехідних процесів кутової швидкості жорсткого валу, крутного моменту і навантаження на жорсткий вал при пуску компресора. Їх розкид знаходиться в межах допусків. Удосконалено методологію розрахунку, моделювання та оптимального вибору пускових характеристик в електроприводі суднової V-подібної двоступінчастої компресорної установки стиснутого повітря при частотному керуванні з робастним регулятором. Використання розробленої методології дозволяє розрахунковим шляхом визначити допустимі значення пускових характеристик асинхронного електродвигуна при настройці системи керування компресорної установки на оптимальний режим роботи. Бібл. 10, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: моделювання пускових характеристик, асинхронний електродвигун, двоступінчастий поршковий компресор, частотне керування, робастний регулятор.

Постановка проблеми. Вивчення пускових характеристик перехідних процесів у асинхронних електроприводах судових поршневих компресорних установок при автоматичному регулюванні представляється доцільним. Це продиктовано необхідністю зниження витрат електроенергії на вимушені параметричні коливання кутової швидкості жорсткого валу, які пропорційні моменту інерції цього валу та степені нерівномірності швидкості на усталеному режимі. Ці коливання кутової швидкості при роботі компресора

збуджуються спільною дією на жорсткий вал крутного моменту двигуна, сил тертя, газових сил і сил тяжіння, що періодично повторюються з частотою обертання валу. Їх степінь нерівномірності швидкості знижується до допустимих значень потужним маховиком. Однак через велику інертність маховика витрати електроенергії та крутний момент електродвигуна при пуску компресора помітно зростають, причому цій момент може перевищувати критичне значення. Вони також можуть зрости на сталому режимі і при зміні

робочих параметрів двигуна в процесі нагріву його обмоток. Застосування системи автоматичного керування, у тому числі з робастним регулятором, для керування пусковими та усталеними режимами роботи електродвигуна дозволяє знизити гостроту цієї проблеми. Це підтверджується проведеними теоретичними дослідженнями, наведеними у працях [1-3]. Однак в роботі [3] залишилося ще ряд не вирішених питань теоретичного та практичного характеру, потребуючих вирішення в процесі комп'ютерного моделювання. Важливим серед них є актуальне питання забезпечення стабілізації кутової швидкості жорсткого валу при високій точності її регулювання та допустимому значенні критичного моменту електродвигуна при найменшому значенні моменту інерції маховика на пускових та усталених режимах роботи компресорної установки.

Аналіз останніх досягнень та публікацій.

Відомо декілька методів, що дозволяють стабілізувати кутову швидкість жорсткого валу компресорної установки. До них відносяться класичні методи теорії керування електроприводів [4], методи робастного, нейро-нечіткого та адаптивного керування [5] та метод ідентифікації [6]. Також можуть бути використані інші методи, огляд яких наводиться в роботі [7]. З них найбільше застосування знаходить метод синтезу стабілізуючого H_∞ -субоптимального робастного регулятора [5] та його додатки [8]. У роботі [9] на базі цього методу розроблено методологію наукового дослідження, запропоновано математичну модель та методіку для розрахунку та проектування принципової електричної схеми H_∞ -регулятора для системи частотного керування швидкістю асинхронного електроприводу.

У даній роботі вказана методологія застосовується для моделювання та оптимального вибору пускових характеристик перехідних процесів

в електроприводі суднового двоступінчастого поршневого компресора V-подібного типу з прямим кутом розвалу, що знаходиться в експлуатації, за моделлю, запропонованою в роботі [1], але із заміною в ній ПІ-регулятора швидкості на H_∞ -субоптимальний робастний регулятор [9], а також заміною формули для визначення моменту тертя на вираз [3, 10]. Така заміна для даної компресорної установки є доцільною.

Постановка завдання. Метою роботи є моделювання та оптимальний вибір пускових характеристик перехідних процесів в асинхронному електроприводі суднової V-подібної компресорної установки стиснутого повітря з прямим кутом розвалу при частотному керуванні з робастним регулятором. Для досягнення цієї мети необхідно виконати розрахунок передавальної функції робастного регулятора за методикою [3]. Провести моделювання і оптимальний вибір пускових характеристик перехідних процесів вимушених параметричних коливань кутової швидкості жорсткого валу, крутного моменту і моменту навантаження на двигун, викликаного дією сил тертя, тиску повітря на поршні компресора і сил тяжіння поступово рухомих мас поршнів з приєднаною до кожного з них частиною маси шатуна, посадженого верхньою головкою на пальці поршнів. Виконати аналіз одержаних результатів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

На рис. 1 представлена структурна схема системи частотного керування асинхронного електроприводу з робастним регулятором компресорної установки. Вона замкнена по кутовій швидкості електродвигуна неоднорічним зворотним зв'язком з коефіцієнтом підсилення $K_\omega = U/\omega$ (U – напруга задатчика; ω – кутова швидкість ротора машини).

Схема побудована із залученням робіт [1-3]. Вона містить коригуючу аперіодичну ланку з постійною часу T_{pr} , передавальну функцію робастного

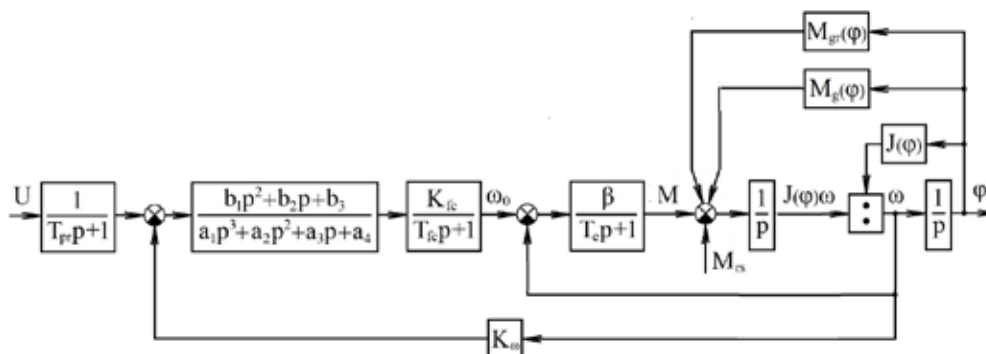


Рис. 1. Структурна схема частотного керування асинхронного електропривода

регулятора швидкості третього порядку з коефіцієнтами b_1, b_2, b_3 полінома чисельника та коефіцієнтами a_1, \dots, a_4 полінома знаменника, перетворювача частоти та асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором. Перетворювач частоти представлений на схемі аперіодичною ланкою з коефіцієнтом передачі K_{fc} та постійною часу T_{fc} . Електродвигун зображений двома ланками та дільником, охопленими одиничним зворотним зв'язком. Його перша ланка описує електромагнітну частину, а друга – механічну частину. Електромагнітна частина двигуна представлена аперіодичною ланкою, а механічна – інтегруючою ланкою та дільником. Аперіодична ланка містить у чисельнику модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики β , а у знаменнику – електромагнітну постійну часу T_c кіл статора та ротора асинхронного електродвигуна. Після дільника розташована інтегруюча ланка, призначена для визначення кута повороту кривошипу φ . Вираз $J(\varphi)$ позначає приведений до кривошипу момент інерції кожного поршня з приєднаною 1/3 частиною маси шатуна та жорсткого валу з приєднаною 2/3 частиною маси шатунів до загальної шийки коліна [1]. Величина M на схемі вказує на крутний момент асинхронного двигуна. Навантаження на двигун $M_r(\varphi) = M_{rs} - M_g(\varphi) - M_{gr}(\varphi)$ зображено двома блоками $M_g(\varphi)$ і $M_{gr}(\varphi)$ та моментом тертя M_{rs} . Блок $M_{gr}(\varphi)$ призначений для обчислення приведенного до кривошипу сумарного моменту діючих на поршні компресора тисків повітря при розкладанні кожного з доданків сумарного моменту по гармоніках в ряд Фур'є [2], а блок $M_g(\varphi)$ – для обчислення рівнодіючого моменту сил тяжіння поршнів з приєднаною до кожного з них 1/3 маси шатуна [1]. Складання діючих на вал сигналів крутного моменту $M = M(\varphi)$ і навантаження $M_r(\varphi)$, взятого з протилежним знаком, здійснюється суматором. Структурна схема містить також зворотні зв'язки моменту інерції $J(\varphi)$ і навантажень блоків $M_g(\varphi)$ і $M_{gr}(\varphi)$ по куту повороту кривошипа φ , ланку затримки сигналу часу, необхідного для продувки компресора, та пропорційну ланку тиску повітря в ємності для його збереження. Ланки затримки сигналу та тиску повітря в ємності на рис.1 не показані.

Передавальна функція робастного регулятора розраховувалася за методикою [9]. Залежності моменту інерції $J(\varphi)$ і навантаження $M_r(\varphi)$ від кута повороту φ жорсткого валу визначалися за формулами [1], інші параметри структурної схеми – за методикою, запропонованою у роботі [4].

Розрахунок перехідних процесів в асинхронному електроприводі при частотному керуванні

з робастним регулятором швидкості здійснювався для двоступінчастого компресора [1]. Колінчастий вал цього компресора має одне коліно. На шийку коліна посаджені по вільній посадці нижні головки шатунів першої та другої ступенів компресора. Різниця кутів повороту кривошипа ступенів становить $3\pi/2$ рад при відліку кожного кута кривошипа від своєї лінії, що з'єднує у верхній мертвій точці центр пальця поршня з центром нерухомої осі обертання кривошипа [1].

В якості асинхронного двигуна використовувався електродвигун HOYER HMA2 132S-4 з наступними даними: потужність 5,3 кВт; номінальна частота обертання 1460 об/хв; напруга 400 В; номінальний момент 34,67 Н·м; пусковий момент 83,2 Н·м; критичний момент $M_{cr} = 117,86$ Н·м; номінальний струм 10,63 А; критичне ковзання 0,21024; момент інерції ротора 0,033 кг·м²; частота мережі $f = 50$ Гц.

Вихідними даними до розрахунку служили такі величини: $U = 10$ В; $b_1 = 1,879 \cdot 10^6$; $b_2 = 8,772 \cdot 10^7$; $b_3 = 1,285 \cdot 10^{10}$; $a_1 = 1$; $a_2 = 4,629 \cdot 10^4$; $a_3 = 4,281 \cdot 10^7$; $a_4 = 8,282 \cdot 10^7$; $K_{fc} = 15,708$ рад/(В·с); $T_{fc} = 0,001$ с; $T_c = 0,0151$ с; $\beta = 7,138$ Н·м/(рад·с); $K_{\omega} = 0,0654$ В·с/рад; $M_{rs} = 4,31$ Н·м. Постійна часу T_{pr} змінювалася в діапазоні від 0 до 1 с, а постійний доданок J_0 приведенного до кривошипу змінного моменту інерції $J(\varphi)$ – від 0,1 до 0,25 кг·м², причому найменше значення цього доданку набагато більше осевого моменту інерції колінчастого валу з приєднаною 2/3 частиною маси шатунів до шийки коліна. Тиск повітря в ємності на початку та в кінці процесу заповнення її об'єму змінювався від 25 до 28 МПа, як і в роботі [1]. Опорами, що перешкоджають переміщенню повітря у всмоктувальних, нагнітальних та незворотному клапанах нехтували, що суттєво спрощувало розрахунки.

У табл. 1 наведено результати розрахунку безрозмірних значень пускового крутного моменту M/M_{cr} (M_{cr} – критичний момент двигуна) та його розмаху на усталеному режимі за графіками перехідних процесів при різних значеннях постійної часу T_{pr} коригувальної ланки і постійному значенні величини $J_0 = 0,1$ кг·м².

Таблиця 1
Вплив постійної часу T_{pr} на M/M_{cr} при пуску компресора

№ з/п	T_{pr} , с	Пусковий крутний момент M/M_{cr}	Розмах M/M_{cr} на усталеному режимі
1	0	22,5	0,4
2	0,25	2,1	0,4
3	0,5	1,7	0,4
4	0,75	1,7	0,4
5	1,0	1,7	0,4

З цієї таблиці видно, що з ростом постійної часу T_{pr} пусковий крутний момент знижується приблизно на порядок. На розмах крутного моменту ця постійна часу не впливає, оскільки навантаження на жорсткий вал при розрахунках не змінювалося.

У табл.2 представлені результати розрахунків безрозмірних значень пускового крутного моменту M/M_{cr} і його розмахів на усталеному режимі при різних значеннях моменту інерції J_0 . Вони отримані, як і в табл.1, за кривими перехідних процесів при постійному значенні $T_{pr}=0,55$ с.

Таблиця 2

Вплив моменту інерції J_0 на M/M_{cr} при пуску компресора

№ з/п	J_0 , кг·м ²	Пусковий крутний момент M/M_{cr}	Розмах коливань M/M_{cr} на усталеному режимі
1	0,1	1,2	0,8
2	0,15	1,3	0,6
3	0,2	1,4	0,4
4	0,25	1,5	0,3

Як і слід було очікувати, пусковий момент M/M_{cr} з ростом моменту інерції J_0 також зростає, так як при цьому зростає динамічне навантаження на жорсткий вал, а розмахи коливань моменту на режимах, що встановилися, падають внаслідок гальмівного ефекту динамічного моменту при розгоні та прискореному при спаданні кутової швидкості жорсткого валу.

Вибір оптимальних значень параметрів T_{pr} і J_0 , необхідних для розрахунку і побудови графіків перехідних процесів при пуску компресорної установки, проводився по табл.1, 2 при мінімальному значенні безрозмірного крутного моменту. Вони виявилися рівними $T_{pr}=0,55$ с та $J_0=0,1$ кг·м². При цих значеннях T_{pr} і J_0 безрозмірне значення крутного моменту всього лише на 20 % перевищує критичне значення. Тому слід очікувати, що стрибок цього моменту за дуже малий проміжок часу не викликає перегріву та пошкодження ізоляції обмоток двигуна.

На рис. 2 наведені графіки зміни безрозмірної кутової швидкості жорсткого валу (індекс n позначає номінальне значення) в залежності від часу t при пуску (а) і на усталеному режимі (б) роботи компресорної установки. Вони побудовані за обраними з табл. 1, 2 значеннями постійної часу $T_{pr}=0,55$ с і моменту інерції $J_0=0,1$ кг·м².

З цих графіків видно плавне зростання безрозмірної кутової швидкості жорсткого валу з подальшою її стабілізацією при пуску комп-

ресора, а також негармонічний характер її параметричних коливань, що протікають з розмахом близько 4% щодо середнього значення.

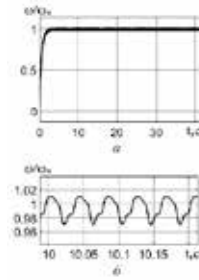


Рис. 2. Перехідні процеси безрозмірної кутової швидкості жорсткого валу при пуску (а) та на усталеному режимі (б)

На рис. 3 представлена залежність коливань безрозмірного крутного моменту двигуна M/M_{cr} від часу t при пуску (а) і на усталеному режимі (б) його роботи. Вони отримані при тих же значеннях величин T_{pr} і J_0 , що і в попередньому випадку.

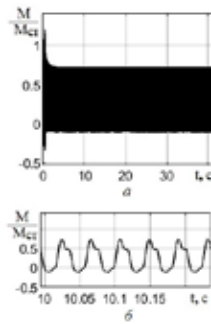


Рис. 3. Перехідні процеси безрозмірного крутного моменту при пуску (а) та на усталеному режимі (б)

За рис. 3 чітко видно, що коливання крутного моменту є негармонійними при параметричних коливаннях жорсткого валу. Їхній розмах знаходиться в області допустимих режимів роботи асинхронного двигуна.

Зміна безрозмірного навантаження M_t/M_{cr} на жорсткій вал з часом t показана на рис. 4.

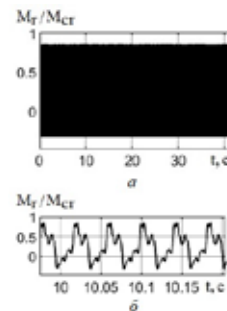


Рис. 4. Графіки зміни безрозмірного навантаження з плином часу t при пуску (а) і на усталеному режимі (б)

Як і слід було очікувати, періодичні коливання навантаження є негармонічними і відбуваються з великим розмахом у допустимій робочій області роботи електричного двигуна.

Висновки. Удосконалено методологію розрахунку, моделювання та оптимального вибору пускових характеристик в електроприводі суднової V-подібної двоступінчастої компресорної установки стиснутого повітря при частотному керуванні з робастним регулятором. Запропоновано структурну схему системи частотного керування асинхронного електроприводу компресорної установки, що містить робастний регулятор.

Розроблено в пакеті Simulink схему моделювання перехідних процесів в електроприводі суднового V-подібного двоступінчастого поршневого повітряного компресора з прямим кутом розвалу. Результати аналізу проведених розрахунків показали, що при оптимальному виборі пускових характеристик компресорної установки система частотного керування з робастним регулятором забезпечує високу точність стабілізації параметричних коливань жорсткого валу компресорної установки (ступінь нерівномірності обертання не перевищує 4%) при допустимому значенні пускового критичного моменту.

Список літератури:

1. Хлопенко М.Я., Хлопенко І.М. Моделювання перехідних процесів у частотно-регульованому асинхронному електроприводі суднового V-подібного двоступінчастого поршневого компресора. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* 2022. Т. 33(72). № 3. С. 73-80. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.3/12>.
2. Хлопенко І.М. Розрахунок перехідних процесів у асинхронному електроприводі суднового двоступінчастого поршневого компресора при векторному керуванні з робастним регулятором. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки.* 2022. Т. 33(72). № 3. С. 129-135. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/20>.
3. Хлопенко М.Я. Робастне частотне керування суднової компресорної установки: матеріали 13-ї Міжнародної науково-практичної конференції (07-09 вересня 2022, Херсон). Херсон: ХДМУ, 2022. С. 52-53.
4. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 304 с.
5. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / К.А. Пупков, М.Д. Егупов, А.И. Гаврилов и др.; под ред. Н.Д. Егупова. Изд. 2-е. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
6. Krakowski P. Analysis of selected simulated failure of a reciprocating compressor using computer diagnostic system. *Journal of KONES Powertrain and Transport.* 2018. Vol. 25. № 2. P. 191–198. DOI: 10.5604/01.3001.0012.2800.
7. Хлопенко Н.Я., Рожков С.А., Хлопенко И.Н. Фильтрация помех робастным регулятором в системе управления потокосцеплением ротора. *Научовий вісник Херсонської державної морської академії.* 2019. № 1(20). С. 122-131. DOI: 10.33815/2313-4763.2019.1.20.122-131.
8. MATLAB: Robust Control Toolbox™ 3. User's Guide. / Y. Balas, R. Chiang, A. Packard, M. Safonov, 2009. 230 p. Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.219.2489&rep=rep1&type=pdf>.
9. Хлопенко Н.Я. Расчет и проектирование робастного регулятора скорости системы частотного управления асинхронного электропривода. *Електротехніка і електромеханіка.* 2020. № 3. С. 31-36. doi: 10.20998/2074-272X.2020.3.05.
10. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Теория и расчет. Изд. 3-е, доп. М.: КолосС, 2006. Т. 1. 456 с.

Khlopenko M.Ya. MODELING AND OPTIMAL CHOICE OF STARTING CHARACTERISTICS IN THE ELECTRIC DRIVE OF A SHIP COMPRESSED AIR COMPRESSOR UNIT UNDER FREQUENCY CONTROL WITH A ROBUST CONTROLLER

Purpose. The aim of the work is modeling and optimal choice of starting characteristics in the electric drive of a ship compressor unit under the frequency control with a robust controller. *Methodology.* To conduct research, a methodology for the scientific study of starting characteristics in an asynchronous electric drive of a compressor plant has been developed. The block diagram of the frequency control system of the electric drive has been improved by including a robust controller in the main circuit, a corrective aperiodic link at the system input behind the setter and the engine load. A scheme for modeling of starting characteristics in an asynchronous electric drive of a marine V-shaped two-stage reciprocating air compressor was built in the Simulink package. It contains in the main circuit a robust speed controller and a load on a rigid shaft, consisting of an electric motor rotor, a crankshaft of a compressor unit and a flywheel. The load includes two

blocks for finding the action on the shaft of the moments of gravity and air pressures on the pistons reduced to the crank, as well as the friction moment calculated from the indicator diagram and the mechanical efficiency, and the moments of air pressure on the pistons were expanded in harmonics to Fourier series. The variable moment of inertia of the moving masses of the crankshaft, reduced to the crank, contains a constant term. This term contains the moment of inertia of the rigid shaft with concentrated parts masses of the connecting rods on the axis of the connecting rod journal of the crankshaft. Results. On a specific example, the curves of transient processes of forced parametric oscillations of a rigid shaft angular velocity, torque and load on the motor during compressor start-up were calculated. They were calculated for different values of the time constant of the correcting filter and the constant term of the rigid shaft axial moment of inertia under the action of friction forces on the shaft, air pressure on the pistons, and gravity forces of pistons with reduced masses of connecting rods. Tables of the influence of these parameters on the torque of the electric motor are built and thus their optimal values are determined, corresponding to the critical moment within acceptable boundaries. These optimal values of the parameters were taken into account when curves of transient processes of a rigid shaft angular velocity, torque and load on the rigid shaft during compressor start-up were calculated and constructed. Their spread is within tolerances. Originality. The methodology for calculating, modeling and optimal selection of starting characteristics in the electric drive of a ship V-shaped two-stage compressed air compressor unit under the frequency control with a robust controller has been improved. Practical value. The use of the developed methodology makes it possible to provide, by calculation, the permissible values of the starting characteristics of an asynchronous electric motor when setting the control system of the compressor unit for the optimal operating mode. References 10, tables 2, figures 4.

Key words: modeling of starting characteristics, asynchronous electric motor, two-stage reciprocating compressor, frequency control, robust controller.

Хорошевська І.О.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Віннікова Є. О.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

СПЕЦИФІКА ВИБОРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МУЛЬТИПЛІКАЦІЙНОГО ВИДАННЯ

У статті запропоновано етапи методики для вибору програмного забезпечення, що доцільно застосовувати для створення мультиплікаційного видання навчального спрямування. Створення такого видання демонструється на прикладі певної предметної області – географії. Для прикладного створення такого мультиплікаційного видання потрібно певне за функціоналом програмне забезпечення, яке треба обґрунтовано обрати, щоб видання відповідало своїй меті та надавало весь потрібний для навчання дитини функціонал, підвищувало ступінь її зацікавленості процесом навчання та спонукало до подальшої роботи з даним виданням. Процес вибору програмного забезпечення – це не просте завдання. Для його вирішення в рамках статті пропонується ряд етапів, націлених на: формування критеріальної бази для вибору програмного забезпечення; здійснення розрахунку ступеня реалізації критеріїв в рамках кожної з альтернатив; обґрунтування вибору найбільш доцільного (з позиції реалізації потрібного у виданні функціоналу) програмного забезпечення для створення мультиплікаційного видання. Реалізація наведених етапів базується на методі аналізу ієрархії (для визначення числових значень ступеня важливості попарно порівнювальних критеріїв), методі прийняття рішень при нечіткій вихідній інформації (на основі використання лінгвістичного підходу на базі теорії нечітких множин та лінгвістичних змінних - для визначення ступеня реалізації кожного критерію) та побудові функції корисності (для обґрунтування вибору найбільш доцільного програмного забезпечення).

У подальшому даний підхід до обґрунтування процесу вибору програмного забезпечення через призму аналізу його якісної складової функціоналу можна використовувати, як теоретико-методологічний інструментарій при розробці подібних мультимедійних навчальних ресурсів різної предметної спрямованості. Для підвищення наочності реалізації наведених етапів, вони подані на прикладі розрахунків для вибору програмного забезпечення для створення мультиплікаційного видання з географії (для навчання дітей основам географії). Таке видання підвищує рівень зацікавленості дитини процесом навчання та сприяє її саморозвитку.

Ключові слова: мультиплікаційне видання, програмне забезпечення, етапи, критерії, альтернативи.

Постановка проблеми. Мультиплікацію варто розглядати як ще один потужний спосіб для активізації та підтримки процесу навчання користувачів, особливо це актуально для дітей дошкільного та молодшого шкільного віку. Так, за рахунок показу реальних явищ та подій в простій наочній формі, можливості співвіднесення дитини з персонажем мультфільму, реалізації множини типів медіаконтенту в одному продукті та ін. є можливість для досягнення мети навчання. Вона досягається за рахунок застосування ігрової форми подання матеріалу, стимулювання пізнавальної цікавості до розвитку певного явища, діям персонажів тощо, викладу матеріалу у логічно-зрозумілій й інформаційно насиченій подіями послідовності, використання емоційного та педагогічного впливів та ін. на дитину, що навчається.

Однак, однією з гострих проблем в сучасній мультиплікації є те, що розробники не можуть пра-

вильно оцінити, яким програмним забезпеченням їм користуватися для створення певного продукту. Багато розробників-фрілансерів або фахівців від певних фірм, компаній, зацікавлених в створенні мультфільмів, купують дороге програмне забезпечення (ПЗ) (враховуючи бренд фірми-розробника, розповсюдженість та популярність ПЗ на ринку та ін. фактори). З першого погляду, таке ПЗ «ніби» підходить, і в цьому міститься головна помилка, яка може привести до необхідності придбання іншого ПЗ, а це двічі вкладені гроші. На даний момент багато фахівців підходять до вибору програмного забезпечення для створення мультиплікаційних видань занадто просто, купуючи те, що можуть встановити на свій комп'ютер, забуваючи про те, які дійсно функції ПЗ їм необхідні, такі, наприклад, як, можливість маріонеткової деформації для полегшення анімації персонажів, робота

з певним видом анімації, збереження в конкретному форматі (так як не у всіх програмах є необхідні формати) тощо. Всі ці аспекти є занадто важливими при виборі програмного забезпечення, щоб їх ігнорувати.

Мультиплікація є одним з елементів системи соціалізації дитини поряд з такими складниками, як особистий приклад батьків, ігри з однолітками, творчість, казкотерапія тощо [1]. Всі ці елементи, в тому числі і мультиплікація, забезпечують формування соціокультурного розвитку дитини, розвитку її ціннісної орієнтації, однак проблема полягає в тому, що неправильний підхід до вибору ПЗ може бути перешкодою для відтворення в створюваному мультиплікаційному виданні розробленого сценарію для його опанування дітьми з різним рівнем знань та вмінь, реалізації педагогічного підходу до створення множини траєкторій роботи з виданням, відтворення необхідного інтерактивного функціоналу мультиплікаційного видання.

Отже, важливо розробити чітку послідовність кроків у вигляді певної методики, користуючись якою, розробник буде мати можливість обґрунтовано приймати рішення щодо вибору найбільш доцільного ПЗ з саме тими функціональними можливостями, що потрібні для реалізації даного видання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених темі вибору ПЗ для створення мультиплікації [2–7], показав, що на даний момент немає чіткої послідовності етапів у вигляді конкретної методики, яка б враховувала множину факторів, що впливають на вибір ПЗ. Варто зазначити, що в існуючих працях, в цілому, говориться про дану проблему, однак, акценти більше робляться на важливості впливу мультиплікації на формування світогляду дитини [2], описі процесу створення мультиплікаційних видань на основі реалізації таких етапів, як препродакшн, продакшн, постпродакшн [3, 4] та їх змістовного навантаження (формуванні ідеї, розробки сценарію, здійснення розкадровки тощо), описі програм та етапів створення мультфільму в певній програмі [5 – 7]. Таким чином, питання як саме обирати ПЗ для створення мультиплікаційного видання, що треба аналізувати, враховувати, закладати в цей процес залишається відкритим та потребує подальшого пророблення.

Постановка завдання. Прийняття рішення щодо вибору ПЗ для розроблення мультиплікаційного видання повинно базуватись на детальному аналізі потрібного для розроблення функціоналу та аналізі наявної реалізованості даного функціоналу (адже наявність певної функції не говорить

про її повну відповідність вимогам, що потрібні для розроблення видання).

Таким чином, необхідно розробити методику для вибору ПЗ, як послідовність взаємопов'язаних етапів, реалізація яких підвищить ступінь обґрунтованості рішення про вибір певного засобу розроблення видання.

Метою статті є розроблення методики з вибору програмного забезпечення для створення мультиплікаційного видання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Запропонована авторами статті методика ґрунтується на дослідженні [8] та складається з таких етапів:

етап 1 – формування критеріальної бази для вибору ПЗ;

етап 2 – розрахунок ступеня реалізації критеріїв за альтернативами;

етап 3 – обґрунтування вибору найдоцільнішого для розроблення ПЗ.

Розглянемо змістовне наповнення наведених етапів.

Етап 1. Як необхідний для створення мультиплікаційного видання функціонал ПЗ, було виділено відповідні критерії K_i , при $i = 1, n$ (табл. 1).

Далі ведеться побудова матриці парних порівнянь $K = \|k_{ib}\|$ (при $i, b = \overline{1, n}$) критеріїв K_i на основі застосування методу аналізу ієрархій для визначення числових значень ступеню важливості попарно порівнювальних критеріїв. При порівнянні ставиться таке питання “На скільки один з критеріїв важливіший за іншого в процесі створення видання?”. Розрахунок базується на порівнянні кожного критерія з іншим критерієм за допомогою 9-бальної шкали відносин (шкали ступеня значимості дій) для з'ясування, який з них є найважливішим [9]. Фрагмент розрахунку наведений в табл. 2.

Обчислення вагових коефіцієнтів $\mu(K_i)$ здійснюється шляхом розрахунку суми елементів кожного рядка, яка нормалізується діленням кожної суми на суму всіх елементів. Результатом такого обчислення є вектор, що складається з вагових коефіцієнтів K_i : $\mu_1(K_1 = 0,115), \mu_2(K_2 = 0,089), \mu_3(K_3 = 0,123), \dots, \mu_6(K_6 = 0,194), \dots, \mu_{10}(K_{10} = 0,015)$.

Так, наприклад, було виявлено, що найважливішим критерієм для практичної реалізації технології є маріонеткова деформація ($\mu_6(K_6)$). Ефект «маріонетка» працює шляхом деформації частини зображення за допомогою шпильок, які встановлюються на частини зображення. Ці шпильки визначають, які частини зображення переміщуються, а які

Критерії для вибору програмного забезпечення

Позначення	Назва	Опис
K ₁	Наявність інструментарію для створення сюжетної лінії	Під даним критерієм передбачається повноцінне створення сюжетної лінії (з численними сценами, не обмежуючись анімацією тільки персонажа з одним фоном)
K ₂	Наявність інструментарію для анімації персонажів	Необхідний повний набір для анімації персонажів, можливість роботи з анімацією емоцій і анімацією всіх рухів героїв
K ₃	Можливість працювати з 2D-анімацією	Необхідний повний набір інструментів для роботи з даним видом анімації
K ₄	Мінімальні вимоги до ресурсів ПК	Необхідно враховувати можливості комп'ютера, так як не все ПЗ можна встановити на будь-який ПК
K ₅	Мінімальна вартість ПЗ	Деякі компанії дають певну кількість часу на пробну версію програм і можна, навіть, встигнути вивчити інструментарій й, можливо, щось створити. Однак, це сумнівний шанс, так як зазвичай дається не так багато часу і все одно доводиться купувати ПЗ, обираючи за вартістю
K ₆	Наявність інструментарію для маріонеткової деформації	Щоб персонаж був більш реалістичний в програмах використовується маріонеткова деформація. Це полегшує процес створення анімації персонажа
K ₇	Можливість попереднього перегляду	Щоб не витратити час на перезбереження продукту, після кожного усунення недоліків, щоб подивитися результат
K ₈	Інструментарій для роботи з шаровою обробкою	Набагато зручніше працювати в програмі, якщо є можливість розподілити всі свої об'єкти за шарами, але в деяких програмах дана функція відсутня або на неї вноситься обмеження у вигляді використання до 50 шарів або менш. Тому необхідно вирішити скільки буде об'єктів, якщо планується створення повноцінної анімації
K ₉	Можливість імпорту та експорту об'єктів	Для повноцінної роботи з мультиплікаційним виданням потрібна можливість додавання елементної бази (файлів, об'єктів) до видання
K ₁₀	Наявність роботи з ефектами	Полегшує роботу з текстом у анімації або ж з переходом від однієї анімації до іншої

Таблиця 2

Фрагмент попарного порівняння критеріїв

Критерії	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀
K ₁	1	3/1	2/1	1/1	1/1	1/3	3/1	1/2	4/1	5/1
K ₂	1/3	1	1/1	1/2	1/3	1/6	5/1	1/2	1/3	7/1
K ₃	1/2	1/1	1	1/1	2/1	1/1	4/1	1/1	2/1	9/1
...
K ₁₀	1/5	1/7	1/9	1/6	1/3	1/5	1/3	1/7	1/5	1

залишаться незмінними. Критерій є важливим, так як за його допомогою можна полегшити створення детальної анімації персонажів. Маріонеткова деформація відображає візуальну сітку, за допомогою якої можна істотно деформувати певні фрагменти зображення, не зачіпаючи інших областей.

Етап 2. Враховуючи те, що множина критеріїв K_i є якісною сукупністю, для здійснення процесу експертного оцінювання доцільно скористатися теорією нечітких множин та лінгвістичної змінної. Це дасть можливість дослідити ступінь реалі-

зованості певного критерія, а не просто його наявність в ПЗ. Таким чином кожен з K_i пропонується подати у такому вигляді:

$$K_i = \langle N_i, [TM_i^x(VM_i^x), \mu_i] \rangle, \quad (1)$$

де N_i – назва критерію;

TM_i^x – терм-множина, при x ∈ $\overline{1,3}$;

VM_i^x – базова множина визначення змінних.

Таким чином, наприклад, критерій «K₆» буде мати такий вигляд:

K₆ = < маріонеткова деформація [інструментарій відсутній (1 бал), в інструментарії наявні

обмеження для роботи з маріонеткової деформацією (2 бали), є весь необхідний інструментарій для роботи з маріонеткової деформацією (3 бали)], $\mu_6 = 0,194 >$.

Як альтернативи (A_j , при $j = \overline{1, m}$) розглядається наступне ПЗ: A_1 – Toon Boom Harmony, A_2 – Adobe After Effects, A_3 – Anime Studio Pro, A_4 – iClone, A_5 – Adobe Animate, A_6 – DP Animation Maker, A_7 – Express Animate Software, A_8 – Crazy Talk, A_9 – Modo.

У табл. 3 наведено фрагмент результату дослідження стану A_j за ступенем реалізації кожного K_i . На перетині рядка та стовпця знаходиться конкретне значення (бал) з множини BM_i^x , який відображує реальний стан K_i .

Таблиця 3

Результати оцінювання K_i за BM_i^x в рамках A_j

$K_i \backslash A_j$	A_1	A_2	A_3	A_4	...	A_9
K_1	3	3	3	1	...	3
K_2	3	3	3	2	...	3
K_3	3	3	2	1	...	1
...
K_{10}	1	1	1	3		2

Далі пропонується здійснити розрахунок виваженого балу ($VVal_i$) за кожним з K_i , перемножуючи його вагу на конкретне значення (певний бал) з базової множини BM_i^x :

$$VVal_i(K_i) = \mu_i(K_i) * BM_i^{x=1,3}. \quad (2)$$

Розрахунок $VVal_i$ дає можливість оцінити кожен K_i в рамках A_j (з врахування і його важливості і ступеня реалізованості в ПЗ). Фрагмент результатів розрахунків наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Результат визначення $VVal_i$

$K_i \backslash A_j$	A_1	A_2	A_3	A_4	...	A_9
K_1	0,345	0,345	0,345	0,23	...	0,345
K_2	0,267	0,267	0,267	0,178	...	0,267
K_3	0,372	0,372	0,248	0,124	...	0,124
...
K_{10}	0,015	0,015	0,015	0,045	...	0,03

Етап 3. Для обґрунтування вибору найдоцільнішого ПЗ для розроблення мультиплікаційного видання, тобто, вибору найоптимальнішої для цього альтернативи A_j , пропонується задати функцію корисності:

$$f(A_j)_{j=1,m} = \sum_{i=1}^n VVal_i(K_i) \rightarrow \max. \quad (3)$$

Процес прийняття рішення про вибір A_j ґрунтується на аналізі отриманих значень $VVal_i(K_i)$. Значення $f(A_j)$ характеризує результат вибору певної A_j при конкретному стані за K_i . Отримані результати показують, що кращою альтернативою для розроблення даного мультиплікаційного видання стала A_2 (Adobe After Effects, *при* $f(A_2) = 2,37$).

Практична реалізації мультиплікаційного видання для навчання дітей географії із застосуванням потрібних функціональних можливостей обраного Adobe After Effects надала змогу зробити повноцінне видання з декількома персонажами (учнів, планети-вчителя), сценами і розвитком чіткої сюжетної лінії. Фрагмент практичної реалізації видання наведено на рис. 1.

Вигляд одного з персонажів – це школяр Дмитро, наведено на рис. 2.

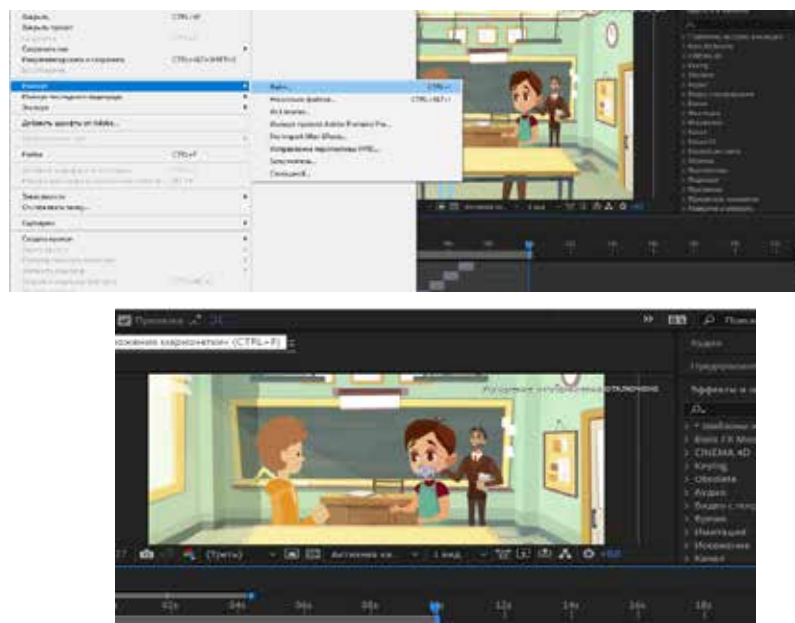


Рис. 1. Практична реалізації мультиплікаційного видання



Рис. 2. Персонаж Дмитро



Рис. 3. Маріонеткова деформація

На рис. 3 подано приклад реалізації маріонеткової деформації.

У виданні реалізовано сім сцен. Приклад другої сцени подано на рис. 4.

Таким чином, засобами Adobe After Effects було розроблено повноцінне мультиплікаційне видання для вивчення основ географії в ігровій формі.

Висновки. В статті запропонована послідовність етапів методики, яка надає можливість обирати найбільш доцільне ПЗ для створення мультиплікаційного видання. Для цього здійснюється формування критеріальної бази для вибору ПЗ, визначається ступінь реалізації кожного з критеріїв за альтернативами та ведеться обґрунтування вибору найдоцільнішого ПЗ для розроблення мультиплікаційного видання.

Надалі планується оцінити якість використання етапів даної методики.



Рис. 4. Друга сцена (планета Венера пропонує свою допомогу у вивченні географії)

Список літератури:

1. Жмурина К. В. Влияние мультфильмов на формирование у детей семейных ценностей. *Молодой ученый*. 2017. №3(137). С. 545–547.
2. Сітцева М. В. Роль мультиплікації у розвитку дитини в умовах інформаційного суспільства. URL: <http://www.inforum.in.ua/conferences/12/2/12> (дата звернення 12.09.2022 р.).
3. Создание мультфильмов, как шаг за шагом создается анимированный мультфильм. URL : <http://fantasticimago.com/blog/sozдание-multfilmov-kak-shag-za-shagom-sozdaetsya-animirovannyj-multfilm.html> (дата звернення 12.09.2022 р.).

4. Анімація: як створюються сучасні мультфільми – на прикладі «Зоотрополісу». URL : <https://platfor.ma/topics/knowledge/animagiya-yak-stvoryuyutsya-suchasni-mult filmy-na-pryklyadi-zootropolisu> (дата звернення 15.09.2022 р.).
5. Кращі програми для створення мультфільмів. URL : <https://uk.soringpcrepair.com/programs-for-make-cartoons> (дата звернення 15.09.2022 р.).
6. Урок 1. Моя первая анимация (мультфильм) // Лаборатория информационных технологий. URL : <http://scratch.aelit.net/urok-1-moya-pervaya-animaciya> (дата звернення 15.09.2022 р.).
7. Як створювати мультики на комп'ютері. Як створювати мультики на "Андроїд". URL : <https://ukr.kagutech.com/4274248-how-to-create-cartoons-on-the-computer-how-to-create-cartoons-on-android> (дата звернення 21.09.2022 р.).
8. Методика вибору програмного забезпечення для створення мультиплікаційних видань. URL : https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/31972/1/Vinnikova_13-16.pdf (дата звернення 23.09.2022 р.).
9. Метод аналізу ієрархій. URL : <https://dss.tg.ck.ua/ahp-help> (дата звернення 23.09.2022 р.).

Khoroshevska I.O., Vinnikova Ye.O. SPECIFICS OF SOFTWARE CHOICE FOR CREATING AN ANIMATED PUBLICATION

Article proposes stages of methodology for choosing software that should be used to create an animated publication of educational direction. Creation of such a publication is demonstrated by the example of a certain subject area - geography. Applied creation of such an animated publication requires some functional software, which must be reasonably chosen so that the publication meets its purpose and provides all the necessary functionality for a child's learning, increases his interest in the learning process and encourages further work with this publication. The process of choosing software is not an easy task. To solve it, article proposes a number of stages aimed at: forming a criteria base for software selection; degree calculation of implementation of criteria within each of alternatives; justification for choosing the most appropriate (from the standpoint of implementation of required functionality in the publication) software to create an animated publication. Implementation of these stages is based on the method of hierarchy analysis (to determine numerical values of importance of pairwise comparative criteria), the method of decision-making with fuzzy source information (using a linguistic approach based on fuzzy set theory and linguistic variables – to determine degree of implementation of each criterion) and construction of the utility function (to justify the choice of the most appropriate software).

In the future, this approach to substantiate process of choosing software through the prism of analysis of its qualitative component of functionality can be used as a theoretical and methodological tool in the development of such multimedia educational resources of different subject areas. To increase the clarity of the implementation of these stages, they are presented on example of calculations for selection of software to create an animated publication on geography (to teach children basics of geography). Publication increases the level of interest of child in the learning process and promotes his self-development.

Key words: cartoon edition, software, stages, criteria, alternatives.

Ярошенко М.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗБІЛЬШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ОДНОЧАСНО ЗАДІЯНИХ ПРОМЕНІВ ЗОНДУВАННЯ У РЕЙТРЕЙСИНГОВІЙ АБЕРОМЕТРІЇ ОКА ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Для визначення аберації (відхилень оптичної системи) людського ока застосовуються аберометри, які здебільшого базуються на методах проектування регулярної світлової структури на сітківку та подальшого аналізу відбитків. Втім, за значних аберацій, постає проблема ідентифікації точок структури, що проєктуються, за відбитками на сітківці. Цей недолік долається рейтресинговим методом аберометрії, що застосовує один лазерний промінь для сканування оптичної системи ока. Однак, використання лише одного променя для зондування ока висуває вимоги до апаратного забезпечення – воно має бути швидкодіючим – та зменшує час експозиції на фоточутливому елементі аберометру, зменшуючи точність реєстрації відбитку від сітківки. З метою подолання вищезазначених обмежень пропонується збільшити кількість одночасно задіяних променів зондування рейтресинговим аберометром. Для вже існуючої конструкції пристрою з декількома лазерними випромінювачами розроблено класифікуючу нейронну мережу, яка здійснює співставлення променів сканування та відбитків на сітківці. Для навчання нейронної мережі використано набір офтальмологічних даних, який штучно згенеровано в спеціалізованому програмному забезпеченні для оптичних симуляцій на базі реальних вимірювань людського ока. Базовим шаром нейронної мережі є шар із довгою короткочасною пам'яттю (Long Short-Term Memory), який аналізує вхідний набір координат відбитків як послідовність даних. Задля запобігання ситуації, коли одному променю зондування співставлено два або більше відбитки, результат класифікації нейронною мережею додатково обробляється Угорським алгоритмом. Перевірка на тестовій вибірці підтверджує ефективність запропонованого рішення. В статті також наведено залежність якості класифікації від розміру згенерованої навчаючої вибірки. В якості найбільш пріоритетних напрямків подальших досліджень обрано розробку алгоритму корекції результатів класифікації, збільшення аберації, за яких нейронна мережа здатна надавати точний результат та уточнення навчаючої вибірки згідно із реальними клінічними даними.

Ключові слова: аберометрія, метод рейтресингу, коефіцієнти Церніке, штучна нейронна мережа, Угорський алгоритм.

Постановка проблеми. Найбільш ефективним методом коригування рефракційних похибок ока є лазерна хірургія, для коректного проведення якої необхідним є визначення аберацій – похибок оптичної системи людського ока. Їхнє вимірювання здійснюється різними методами, в основі багатьох з яких лежить визначення відхилень променів світла від ідеальної траєкторії. Серед цих методів вирізняється рейтресинговий метод аберометрії [1], заснований на швидкому скануванні людського ока одним лазерним променем, що проходить через різні точки на зіниці. По відбитках лазерного променя від сітківки визначають похибки оптичної системи ока. Застосування саме одного лазерного променя надає методу робастність до сильних аберацій вищих порядків – для інших методів, за якими одночасно зондують око у декількох місцях, як-от аберометрія із застосуванням сенсору

Гартманна-Шека [2], суттєве та різнонаправлене відхилення лазерних променів при одночасному засвічуванні декількох точок на зіниці може привести до некоректного співставлення вхідних променів та їхніх відбитків [3]. Але застосування лише одного зондуючого променя накладає обмеження на кількість точок на зіниці, просканованих під час однієї процедури вимірювання, і, як наслідок, меншої точності при визначенні хвильового фронту. Таким чином, актуальним є збільшення кількості просканованих позицій під час однієї процедури вимірювання рейтресинговим аберометром.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як вже зазначалося раніше, запропонований в [1] метод рейтресингової аберометрії (рис. 1) базується на покроковому скануванні ока лазерним променем та вимірюванням його відхилення від ідеального проходження. Лазерний промінь

сканування відхиляється керованим комп'ютером акустооптичним дефлектором, а вирівнюється паралельно оптичній осі ока коліматором. Зміщені координати $(\delta x, \delta y)$ відбитку променю на сітківці – точки A – є поперечними аберациями променю. Потім відбиток потрапляє на світлочутливу поверхню фотоприймача. Для наочності, на рис. 2 показано хід відбитого від сітківки променя через вузлову точку N' , при виході з ока такий промінь не змінює напрямку розповсюдження. Даний метод втілено у серії рейтрейсингових абераметрів іTrace [5] фірми Tracey Technologies.



Рис. 1. Спрощена функціональна схема абераметра рейтрейсингового типу [4, с. 181]

З метою уникнення втрат потужності лазерного променя (які можуть сягати близько 50% на одному елементі оптичної системи), в [6] запропоновано конструкцію абераметра (рис. 2), в якій відсутній світлоподілювач, а функцію дефлектора замінює пучок лазерних діодів, заздалегідь напрямлених на різні точки зіниці. Відсутність світлоподілювачів забезпечує більшу потужність променів, які потрапляють до фотоприймача, що покращує точність визначення відхилень.

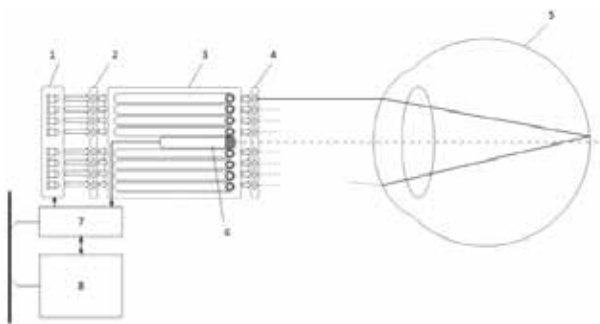


Рис. 2. Структурна схема пристрою для рейтрейсингової абераметрії ока. Позначення: 1 – блок світлових випромінювачів; 2 – вхідна оптика; 3 – багатоканальна оптоволоконна лінія; 4 – вихідна оптика; 5 – оптична система ока; 6 – фотоприймач; 7 – блок управління; 8 – пристрій обробки даних [6, с. 106]

Описані в [1] та [6] пристрої для рейтрейсингової абераметрії застосовуються для сканування

ока одним лазерним променем. Втім, абераметр, запропонований в [6], потенційно здатний зондувати зіницю в кількох місцях одночасно. Виходячи з цього, проблема збільшення кількості просканованих позицій під час однієї процедури вимірювання, вже попередньо вирішена на рівні конструкції рейтрейсингового абераметра. Однак, у випадку застосування декількох зондуючих променів, все ще залишається проблема співставлення вхідних променів та їхніх відбитків.

Постановка завдання. Виходячи з усього вищезазначеного, актуальною є розробка рішення для встановлення відповідності між зондуючими променями та їхніми відбитками на сітківці. Варто зазначити, що задача співставлення близька до задачі класифікації, яка в наш час успішно розв'язується штучними нейронними мережами. Втім, для результативного навчання нейронної мережі необхідна певна кількість реальних вимірювань: розмір навчаючої вибірки іноді має сягати тисяч наборів вхідних даних. Вибір офтальмологічних вимірювань, які містять інформацію про відхилення хвильового фронту, у відкритому доступі не знайдено. Однак, ці дані можуть бути змодельовані у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Таким чином, завданням даної роботи є вирішення проблеми співставлення вхідних променів та їхніх відбитків для процесу рейтрейсингової абераметрії шляхом застосування нейронної мережі, навченої на штучно згенерованих офтальмологічних даних.

Викладення основної частини

1. Загальний опис запропонованого методу

З метою збільшення кількості точок для одночасного сканування та більшої точності реєстрації відбитків на сітківці, пропонується взяти за основу конструкцію рейтрейсингового абераметра, запропоновану в [6]. Після фотофіксації координат відбитків, та розрахунку їхнього положення на сітківці, пропонується встановити відповідність між променями та їхніми відбитками шляхом застосування розробленої нейронної мережі. Після розрахунку вірогідності належності кожного відбитку до променя, для визначення однозначної відповідності, використовується Угорський алгоритм [7] із максимізацією сум вірогідностей, які вказують на належність відбитка зондуючому променю. Для навчання нейронної мережі та перевірки роботи алгоритму згенеровано набори коефіцієнтів Церніке та координат відбитків на сітківці у спеціалізованому програмному забезпеченні для рейтрейсингової симуляції оптичних систем.

2. Генерування даних

В якості шаблону для засвічування на зіниці обрано набір концентричних кіл (рис. 3). Перевагою саме цього набору є можливість утворення більших за кількістю точок шаблонів шляхом повороту та накладання, оптимальний розрахунок яких наведений в [8]. Сканувати око пропонується лазерними променями із довжиною хвилі 0.67 мкм, як це конструктивно зроблено в [6].

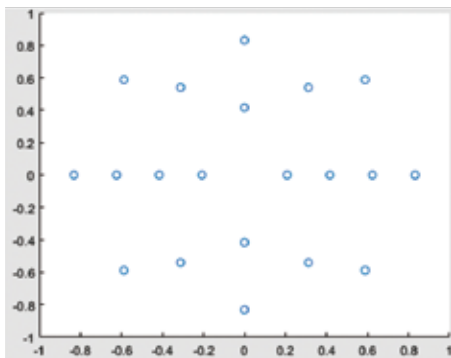


Рис. 3. Шаблон сканування ока шляхом засвічування точок на зіниці. Усі одиниці в 1/радіус зіниці

Відбитки від сітківки формують зображення на фотоприйнятному обладнанні, які, очевидно, доречно обробляти згортковою нейронною мережею. Однак, наявність великих за розміром «пустих місць» на знімку – областей зі значенням, близьким до 0 – негативно впливатиме на результат класифікації згортковими шарами, оскільки вони навчаються реагувати на певні шаблони на зображенні, а світлові плями на однорідному темному фоні не здатні зформувати якийсь безперервний шаблон. Тому інформація про відбитки надходитиме до нейронної мережі у вигляді координат на сітківці.

Через те, що для нейронних мереж порядок запису вхідних даних має значення, його уніфіковано шляхом сортування відбитків по осі Oy . Тому, в даній роботі інформація про відбитки променів подається в формі матриці:

$$X = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 \\ x_1 & y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_N & y_N \end{bmatrix},$$

де N – кількість точок в шаблоні, (x_0, y_0) – координати відбитку на сітківці із найменшим значенням по осі Oy , (x_N, y_N) – координати відбитку на сітківці із найбільшим значенням по осі Oy . Значення x та y зберігаються у мікрометрах.

Навчаючу та валідаційну вибірки підготовлено у спеціалізованому програмному забезпеченні для оптичних рейтресингових симуляцій Zemax [9] із використанням спрощеної моделі релаксованого ока (фокальна відстань оптичної системи ока майже збігається з сітківкою) за авторством Н.-Л. Liou та N.A. Brennan [10, 11] (рис. 4), до якої включено віртуальний шар для додавання аберацій.

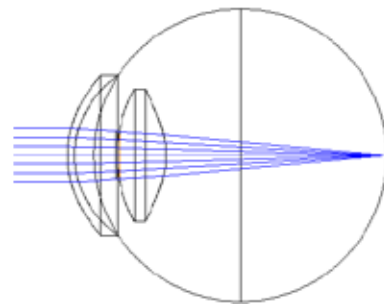


Рис. 4. Використана модель ока в програмі Zemax

Для генерування вхідних даних (координати точок сканування, набори коефіцієнтів Церніке, і т.д.) розроблено програму на мові Matlab. Коефіцієнти поліномів Церніке (рис. 5) згенеровано як набори випадкових чисел за нормальним розподілом із середнім значенням 0, зі стандартними відхиленнями та максимальними і мінімальними значеннями, які є збільшеними відносно клінічних даних, наведених у [12, с. 6]. Розрахунок координат відбитків променів на сітківці здійснюється у середовищі Zemax за програмою на мові Zemax Programming Language. Файл із вхідними даними зберігається у .dat форматі, вихідний файл зберігається в форматі .csv для подальшого навчання нейронної мережі.

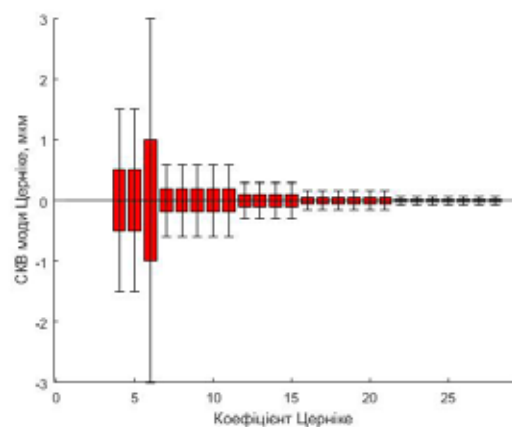


Рис. 5. Налаштування генерування наборів коефіцієнтів Церніке. Червоним кольором позначено межі 1 СКВ, чорним – межі мінімального та максимального значень коефіцієнтів. Нумерація коефіцієнтів за Ноллом [13]

Синтетична генерація навчаючої вибірки має певну перевагу над застосуванням вимірювань в якості навчаючої вибірки, а саме – гнучкість і контрольованість її налаштувань: кількість вхідних наборів, межі значень параметрів, та ін. Втім, очевидно, така вибірка не є точним відображенням реального розподілу аберацій людського ока серед населення. З іншого боку, для навчання нейронної мережі може знадобитися більше вхідних наборів, ніж доступно реальних вимірювань. Тож, штучне урізноманітнення та генерування даних (data augmentation) доволі часто є необхідністю. Таким чином, генерування цілком синтетичної навчаючої вибірки в даній роботі хоч і не є точним відображенням реальності, втім, може бути прийнятним до отримання навчаючої вибірки зібраної виключно з клінічних вимірювань.

3. Структура нейронної мережі

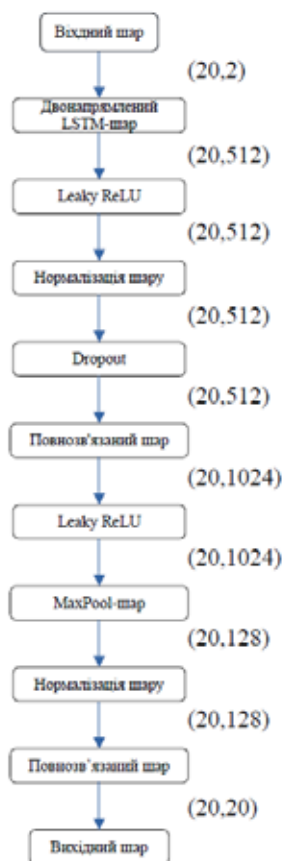


Рис. 6. Структура нейронної мережі для визначення відповідностей променів та відбитків. Окрім видів шарів наведено також розміри матриць даних

Для визначення ймовірності належності відбитку зондуєчому променю, розроблено нейронну мережу, структуру якої наведено на

рис. 6. Імплементацію мережі виконано на мові програмування Python із використанням спеціалізованої бібліотеки TensorFlow [14]. Програмним середовищем для навчання та аналізу виступає Google Colaboratory [15] – спеціальний ресурс, який надає віддалений доступ до високопродуктивних графічних прискорювачів.

Проблему, яка має вирішуватись нейронною мережею в даній роботі, можна сформулювати як класифікацію кожного елементу певного вхідного набору даних із урахуванням інформації про інші елементи у тому ж наборі. У розв’язанні цієї задачі доцільним є використання LSTM-шарів [16], характерною особливістю яких є збереження довгострокових залежностей між елементами послідовності. З метою охоплення всього вхідного набору при класифікації кожного відбитку, застосовано двонаправлений LSTM-шар [17]. Потім, дані оброблюються повнозв’язним шаром, за яким йде MaxPool-шар задля зменшення кількості параметрів для навчання без втрати інформації. Наступним повнозв’язним шаром розраховуються остаточні вірогідності. В ході випробувань виявилось, що використання функції активації Leaky ReLU [18] та шарів нормалізації [19] покращує точність розпізнавання, тому їх додано після двонаправленого LSTM-шару та одного з повнозв’язаних шарів. Шар dropout, який з налаштованою частотою множить на 0 виходи попереднього шару, додано з метою запобігання перенавчанню (overfitting) – ситуації, за якої нейронна мережа значно краще класифікує навчаючу вибірку, ніж валідаційну.

4. Навчання нейронної мережі

Для навчання нейронної мережі використовується бінарна кросентропійна функція (Binary Crossentropy) втрат:

$$L = -\sum_i^M y_i \log(p_i),$$

де L – значення функції втрат, M – кількість класів, y_i – очікувана вірогідність належності вхідного набору до i -го класу, p_i – передбачувана нейронною мережею вірогідність вхідного набору до i -го класу.

Оптимізатором обрано Adam [20] – широко вживаний алгоритм для оптимізації нейронних мереж. Він поєднує два методи градієнтного спуску: градієнтний спуск з моментом (Gradient Descent with Momentum) та середньоквадратичне розповсюдження (Root Mean Square Propagation – RMSProp). Для даної роботи коригуючі параметри β_1 та β_2 дорівнюють значенням, запропонованим в [20, с. 2] –

0.9 та 0.999 відповідно. Коефіцієнт навчання експоненційно зменшується за формулою:

$$\alpha_t = \alpha_0 \cdot \text{decay_rate}^{\frac{t}{t_{decay}}}$$

де α_0 – початкове значення коефіцієнту навчання (в даній роботі обраний 0.001), decay_rate – параметр, який вказує, у скільки разів зменшиться α після t_{decay} ітерацій роботи оптимізатора. Для даної нейронної мережі дослідним шляхом обрано $\text{decay_rate} = 0.95$, t_{decay} дорівнює кількості міні-вибірок (mini-batch) в одній епосі навчання, оскільки на одній ітерації роботи оптимізатора ваги мережі оновлюються по усередненій функції втрат по всій міні-вибірці, розмір якої обрано 128.

5. Результати навчання нейронної мережі

Експериментально встановлено, що 10 епох достатньо для навчання нейронної мережі. Оскільки, в даному випадку, навчаюча вибірка отримана не шляхом реальних вимірювань, а є штучно згенерованою і може налаштовуватись, то адекватним є пошук достатньої кількості наборів вхідних даних у вибірці. Залежність між розміром навчаючої вибірки та якістю класифікації наведено в табл. 1.

Як можна побачити, найвища точність класифікації досягається за 144000 вхідних наборів координат на сітківці.

Загальна точність класифікації є високою, що вказує на ефективність запропонованого рішення. Втім, існує ймовірність того, що протягом застосування запропонованого методу з'являться окремі випадки з певною кількістю некоректно класифікованих відбитків. Це можна подолати кількома шляхами, серед яких:

- вдосконалення архітектури нейронної мережі;
- збільшення розміру навчаючої вибірки;
- корекція результату класифікації іншими методами після застосування нейронної мережі.

Висновки

У даній роботі запропоновано нейронну мережу для встановлення відповідності «зондуєчий промінь-відбиток на сітківці» для збільшення кількості одночасно сканованих позицій під час вимірювань рейтрейсинговим аберометром, що має на меті збільшення роздільної здатності визначеного хвильового фронту похибок. Для генерації наборів вхідних даних для навчання та перевірки нейронної мережі залучено спеціалізоване програмне забезпечення для рейтрейсингових оптичних симуляцій із моделлю людського ока. Для уникнення визначення кількох відбитків у вхідному наборі одним класом (в даному випадку – номером променя), до результатів класифікації – таблиці вірогідностей відповідності між променями та відбитками – застосовується Угорський алгоритм.

За результатами навчання нейронної мережі встановлено, що запропоноване рішення є доволі ефективним – середня точність класифікації дорівнює 100 %. Цього вдалося досягти використанням штучної генерації навчаючої вибірки у спеціалізованому програмному забезпеченні, що, у випадку обмеженості реальних вимірювань у відкритому доступі, є прийнятним. Однак, точні показники якості запропонованого рішення можна отримати лише шляхом реальних дослідів.

Наступним кроком є дослідження запропонованої нейронної мережі за більш жорстких умов вимірювань (більших абераций) та уточнення навчаючої вибірки згідно з клінічними даними. Також, через те, що медична сфера застосування потребує якомога вищої точності вимірювань, в якості майбутніх етапів збільшення роздільної здатності рейтрейсингового методу аберометрії, пропонується розробити новий або застосувати існуючий алгоритм корекції відповідності між двома наборами даних: номерів зондуєчих променів та відбитків на сітківці.

Таблиця 1

Залежність якості класифікації від розміру навчаючої вибірки

Кількість вх. наборів в навчаючій/тестовій вибірці, шт.	Середня точність співставлення нейр. мережею, %	Середня точність співставлення після застосування Угорського алгоритму, %	Найбільша кількість некоректно класифікованих точок в одній вибірці, шт.
14400/3600	83.33	84.91	20
28800/7200	85.54	86.92	19
57600/14400	87.46	88.56	20
115200/28800	96.15	96.48	20
144000/36000	100	100	0

Список літератури:

1. Молебний В.В., Чиж І.Г., Сокурєнко В.М. Однопроменевий метод вимірювання локального розподілу аберацій ока. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. Хмельницький, 1998. № 4. С. 130 – 135.
2. Liang J., Grimm B., Goelz S., Bille J. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wavefront sensor. *Journal of the Optical Society of America A*. 1994. V. 11. P. 1949 – 1957.
3. The iTrace vs. The Pentacam® AXL Wave. *Tracey Technologies*. URL: <https://www.traceytechnologies.com/itrace-vs-pentacam/> (дата звернення 21.09.2022)
4. Аберометрія оптичної системи ока людини: моногр. / І.Г. Чиж, Г.С. Тимчик, Т.О. Шиша та ін. К.: НТУУ «КПІ». 2013. 292 с.
5. V. Molebny, I. Pallikaris, S. Panapogoulou, I. Chyzh, V. Sokurenko. Eye refraction distribution: studies with Tracey-1. *Physiological Optics. Topical Meetings Digest Series*. 1999. Vol. 23. P. 51-52.
6. Ковальський В.І., Яганов П.О. Пристрій для рейтрейсингової аберометрії ока. *Вісник Київського політехнічного інституту. Серія : Приладобудування*. 2018. Вип. 56(2). С. 103–111.
7. Harold W. K. The Hungarian Method for the assignment problem. *Naval Research Logistics Quarterly*. 1955. V. 2. P. 83–97.
8. Ковальський В. І. Метод розміщення променів зондування при рейтрейсинговій аберометрії. *Перспективи телекомунікацій: збірник матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції, м.Київ, 16-20 квітня 2018 р.* Київ, 2018. URL: <http://conferenc.its.kpi.ua/proc/article/view/131975>
9. Zemax. *An Ansys Company*. URL: <https://www.zemax.com/> (дата звернення 22.09.2022)
10. Liou H.-L., Brennan N.A. Anatomically accurate, finite model eye for optical modeling. *Journal of the Optical Society of America A*. 1997. V. 14. P. 1684-1695.
11. OpticStudio models of the human eye. *An Ansys Company*. URL: <https://support.zemax.com/hc/en-us/articles/1500005575082-OpticStudio-models-of-the-human-eye> (дата звернення 22.09.2022)
12. Du R. et al. Wave front aberrations induced from biomechanical effects after customized myopic laser refractive surgery in finite element model. *International Ophthalmology*. 2022. V. 42(1). P. 81-94. DOI: 10.1007/s10792-021-02003-9
13. Noll R.J. Zernike polynomials and atmospheric turbulence. *Journal of the Optical Society of America*. 1976. V. 66. P. 207-211.
14. TensorFlow. *Google Brain Team*. URL: <https://www.tensorflow.org/> (дата звернення 22.09.2022)
15. Google Colaboratory. *Google Research*. URL: <https://colab.research.google.com/> (дата звернення 22.09.2022)
16. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long Short-term Memory. *Neural computation*. 1997. V. 9. P. 1735-1780.
17. Graves, A., Schmidhuber J. Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM networks. *Proceedings of the 2005 IEEE International Joint Conference on Neural Networks*. 2005. V. 4. P. 2047–2052.
18. Maas, A.L., Hannun, A.Y., Ng, A.Y. Rectifier Nonlinearities Improve Neural Network Acoustic Models. *Proceedings of the 30th International Conference on Machine Learning*. 2013. V. 28(3). URL: https://ai.stanford.edu/~amaas/papers/relu_hybrid_icml2013_final.pdf (дата звернення 22.09.2022)
19. Ba J. L., Kiros J. R., Hinton G. E. Layer Normalization. *arXiv*. 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1607.06450> (дата звернення 22.09.2022)
20. Kingma D. P., Ba J. L. Adam: A method for stochastic optimization. *arXiv*. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1412.6980> (дата звернення 22.09.2022)

Yaroshenko M.O. INCREASE OF THE AMOUNT OF SIMULTANEOUSLY USED PROBING BEAMS FOR EYE'S RAYTRACING ABERROMETRY WITH NEURAL NETWORK

To determine aberrations (deviations of the optical system) of the human eye, aberrometers are used, which are mostly based on the methods of projecting a regular light structure onto the retina and subsequent analysis of prints. However, in case of significant aberrations, the problem of identifying the points of the projected structure based on the imprints on the retina arises. This drawback is overcome by the raytracing method of aberrometry, which uses a single laser beam to scan the optical system of the eye. However, the usage of only one beam for the eye probing imposes requirements on the hardware – it must be fast – and reduces the exposure time on the photosensitive element of the aberrometer, reducing the accuracy of registration of the light spots on the retina. In order to overcome the above-mentioned limitations, it is proposed to increase the number of simultaneously used probing beams with a raytracing aberrometer. For the already existing design of the aberrometer with several laser emitters, a classification neural network was developed, which matches the scanning beams with light spots on the retina. To train the neural network, a set of ophthalmological data

was artificially generated in specialized software for optical simulations based on real measurements of the human eye. The basic layer of the neural network is a layer with long short-term memory, which analyzes the input set of fingerprint coordinates as a sequence of data. In order to prevent situations where two or more light spots are matched to one probing beam, the neural network classification result is additionally processed by the Hungarian algorithm. Verification on a test sample confirms the effectiveness of the proposed solution. Dependence of the classification quality on the size of the generated training sample is also displayed on the article. The development of an algorithm for the correction of classification results, the increase of aberrations under which the neural network is able to provide an accurate result, and the refinement of the training sample according to real clinical data were selected as the most priority areas of further research.

Key words: *aberrometry, raytracing method, Zernike coefficients, artificial neural network, Hungarian algorithm.*

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 536.24:533.6.011

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/27>

Баранюк О.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Воробйов М.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Рябцун Р.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ КОТЛА ДКВР-10-13 ПРИ ДОДАВАННІ ВОДНЮ ДО ПРИРОДНОГО ГАЗУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Відомо, що традиційна енергетика є галуззю, що в першу чергу відповідає за генерацію парникових газів. За 150 років її існування значно підсилюється парниковий ефект, що призвело до кліматичної кризи. На сьогоднішній день проблема зменшення використання викопних вуглеводнів, зокрема природного газу визнана в більшості країн світу як проблема національної безпеки. Для її вирішення втілюють різноманітні заходи, які пов'язані з ефективним використанням альтернативних видів палив та підвищенням енергоефективності об'єктів теплової енергетики.

Для вирішення згаданої проблеми все більше використовуються водневі технології. Відомо, що водень вже достатньо широко використовують як автомобільне паливо [1]. Роботи авторів [2] свідчать, що використання водню у двигунах з іскровим запалюванням дає можливість покращити якість згоряння палива та покращити їх екологічні показники. Це в свою чергу спонукало до використання водню в енергетиці і комунально-побутовому секторі при заміщенні природного газу шляхом домішування водню в газові мережі [3, 4].

Мета роботи є прогнозування утворення окислів азоту (NO_x) при спалюванні природного газу з добавкою водню в штатних осьових пальниках які використовуються в водогрійних котлах типу ДКВР-10-13 за допомогою методів комп'ютерного моделювання. Для моделювання використовувалась академічна ліцензія програмного комплексу ANSYS Student яка з 2015 року є безкоштовною і призначена для вирішення ознайомлювальних і освітніх задач в академічному середовищі.

В ході моделювання визначено, що процентний вміст водню в паливній суміші з метаном [H_2] = 30 % (до об'єму паливо-повітряної суміші) дозволяє знизити генерацію NO_x в 3,7 рази порівняно з випадком спалювання метану. Подальше збільшення [H_2] до 40 та 50 % не призводить до зменшення утворення NO_x .

Попередньо проведена верифікація розрахункових даних викидів окислів азоту з даними режимної карти котла типу ДКВЕР-10-13 для випадку спалювання метану. Результат порівняння свідчить, що модель розроблена в середовищі ANSYS-Fluent децю завищує значення NO_x на виході з котла. Це може бути пов'язано з недосконалістю комп'ютерної моделі порівняно з реальним об'єктом. Проте тенденція залежності значення викидів окислів азоту на виході з котла від процентного вмісту водню повністю відповідає аналогічній залежності для побутового двоконтурного котла «MICRA DUO CS 24» фірми «RÖDA» [5], що свідчить про доцільність використання водню в якості часткової заміни традиційного природного газу паливоспалюючим устаткуванням.

Ключові слова: воднева енергетика, емісія, метано-воднева суміш, моделювання, завихреність, окисли азоту.

Постановка проблеми. Вже багато років викопне паливо забезпечує електроенергією та теплом промисловість, транспорт і побутовий сектор. Проте використання викопних видів палива продукує в атмосферу 73% від усіх викидів парникових газів у світі. За 150 років це значно посилило парниковий ефект і призвело до кліматичної кризи. Для пом'якшення наслідків та адаптації до зміни клімату держави створюють власні стратегії «нульових» викидів, що спираються на використання новітніх енергоефективних технологій, застосуванню практик відновлення екосистем та розвитку відновлюваних джерел енергії. За таку амбітну ціль взялися країни від Південної Африки та Великобританії до Німеччини та Японії, а віднедавна – і Україна, яка заявила про свою довгострокову мету досягти нульових викидів до 2060-го року [6].

Використання водню в якості часткової заміни традиційного природного газу паливоспалюючим устаткуванням може бути першим кроком на шляху забезпечення діючих та майбутніх екологічних норм. Тому, представлена робота присвячена аналізу можливості застосування водню в технологіях спалювання у якості домішки до основного палива з метою часткового заміщення традиційного природного газу об'єктами побутового та промислового призначення [5, 7]. Дослідження проводилось за допомогою CFD-моделі водогрійного котла типу ДКВР-10-13, оснащеного штатними осьовими пальниками шляхом прогнозування утворення окислів азоту (NO_x) при спалюванні природного газу з добавкою водню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує гостра необхідність економії дефіцитних енергоресурсів і в першу чергу, це твердження стосується випадку спалювання природного газу. Тому до пальників висуваються підвищені вимоги стосовно розширення меж потужності за рахунок зниження пускових тисків палива, збільшення одиничної потужності при нормативних показниках по емісійним характеристикам, а також ефективності вигорання палива. Таким чином, розуміння механізмів утворення шкідливих речовин і можливість прогнозування їх емісії на кількісному рівні при зміні співвідношення палива і окислювача в суміші є одними з основних питань забезпечення норм охорони навколишнього середовища.

Одним із способів досягнення низьких рівнів шкідливих речовин є додавання до паливо-повітряної суміші газоподібного водню. В європейських країнах, передбачається використання

водню як компонента, що додається до органічного палива, насамперед – природного газу, з метою забезпечення декарбонізації атмосфери та зменшення впливу на глобальні кліматичні зміни шляхом скорочення викидів CO_2 з продуктами згоряння. З огляду на це H_2 розглядається саме як «зелений водень», який одержують з використанням «екологічно чистої» (green, renewable) енергії (сонячної, вітряної). Проте, виробництво «зеленого» водню шляхом електролізу є дуже витратним. Передбачається, що вартість 1 кВт·год у місці виробництва H_2 у 2030 р. становитиме 0,1 євро [5].

З іншого боку, останнім часом значний інтерес виявлено до створення нового палива – «hythane». Це метано-воднева суміш (МВС) із вмістом [H_2] від 20 до 44–48%. Використовуються два принципово різні типи технологій одержання цього палива:

- шляхом змішування природного газу з воднем, що виробляється електролізом води;
- з застосуванням технології адіабатичної конверсії метану (АКМ), що реалізується без сторонніх енергоносіїв; сировина при цьому – природний газ, енергоносіє – продукти згоряння природного газу.

Передбачається використання МВС в ГТУ, енергетиці, транспорті та в промислових технологіях.

Автори роботи [5] виконали експериментальні дослідження направлені на визначення енергетичної ефективності та викидів шкідливих речовин під час спалювання метано-водневої суміші в побутовому двоконтурному котлі «MICRA DUO CS 24» фірми «RÖDA». Визначено вплив складу палива на утворення шкідливих викидів, що наглядно представлено на рис. 1. Співвідношення [H_2]/[CH_4] в паливній суміші вказано на графіку.

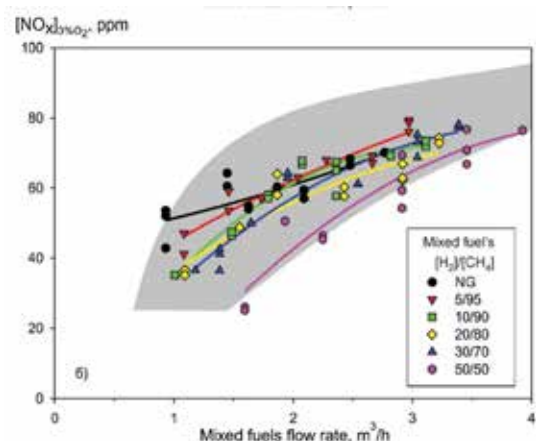


Рис. 1. Залежність викидів NO_x , ppm для котла від витрат палива, $\text{m}^3/\text{год}$ [5]

Автори роблять висновок, що викиди NO_x збільшуються із зростанням витрат палива. Водночас

зберігається тенденція суттєвого зменшення викидів в усьому діапазоні варіювання теплової потужності (паливоспоживання) із збільшенням вмісту H_2 , в тому числі – для випадку максимально випробуваного вмісту $[H_2]$ в паливі ($[H_2] = 50\%$). Для такого палива концентрація $[NO_x] 3\%O_2$ зростає від 20 (1л/хв) до $[NO_x] 3\%O_2 \approx 80$ ppm (при 6 л/хв).

Слід зазначити, що визначальним фактором щодо емісії шкідливих речовин є технологія спалювання. В роботі [7] розглянуто головні етапи побудови CFD-моделі процесу згоряння суміші палив метан-водень в струменево-нішевій системі (СНС) стабілізації та спалювання палива. Автори зазначають, що як для чистого метану, так і для суміші метан-водень, при збільшенні коефіцієнту надлишку повітря відбувається підвищення локальних температур горіння в об'ємі ніші, а отже й зменшення довжини факелу реагуючої суміші. Домішки водню збільшують швидкість витікання струменів палива та їх далекобійність в середньому на 18%, при забезпеченні робочого режиму пальника. Так, при спалюванні суміші дещо збільшується гідродинамічний показник, тому стабілізація та горіння факелу відбувається не тільки безпосередньо над нішею (як для випадку з чистим метаном), а й частково зміщується далі у потоці реагуючої суміші. З розрахунків встановлено, що додавання водню в об'ємі від $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ збільшує емісію NO_x на 27%.

Аналіз робіт, направлених на обґрунтування ефективності використання водневмісного газу у двигунах внутрішнього згоряння свідчить, що додавання 10% водню до дизельного палива дозволяє на 30% скоротити його витрату, що у свою чергу зменшує токсичні викиди [2]. В підтвердження цього твердження автори [8], свідчать, що додавання водню суттєво впливає на поліпшення екологічних показників відпрацьованих газів. В ході проведених експериментальних досліджень авторами було виявлено, що кількість викидів вуглеводнів (C_mH_n) знизилася на 40–50%, монооксиду вуглецю (CO) – на 15...25%. Поряд з цим зазначається, що викиди оксидів азоту NO_x збільшилися на 3...7%.

Підсумовуючи проведений аналіз, можна констатувати, що застосування водню у якості домішки до основного палива з ціллю часткового заміщення традиційного природного газу об'єктами побутового призначення є одним з перспективних напрямів є використання його в технологіях спалювання [1].

Мета дослідження. Основною метою даного дослідження є визначення впливу процентного

вмісту водню в паливній суміші з метаном на утворення оксидів азоту (NO_x), при використанні в штатних осьових пальниках водогрійного котла типу ДКВР-10-13. Також в роботі ставилась задача визначити середні характеристики теплообміну в топковій камері згаданого котельного агрегату за допомогою відомого пакету програм CFD-моделювання ANSYS-Fluent, що дозволяє після попередньої верифікації з експериментальними даними взятими з робіт інших авторів, розширити діапазони режимних параметрів, що можуть впливати на роботу котельного агрегату в цілому.

Методи, об'єкт та предмет дослідження. Метод дослідження – чисельний, за допомогою академічної ліцензії програмного комплексу ANSYS Student. Дана ліцензія є абсолютно безкоштовною (з 2015 року) і призначена для вирішення ознайомлювальних і освітніх задач в академічному середовищі.

Об'єкт дослідження – процеси, що протікають під час спалювання паливної суміші метану і водню в комп'ютерній моделі водогрійного котла типу ДКВР-10-13 оснащеного штатними осьовими пальниками.

Предмет дослідження – водогрійного котла типу ДКВР-10-13, оснащеного штатними осьовими пальниками ГМГ-4 без урахування топкових екранів. Габаритні розміри моделі становили $4,9 \times 2,6 \times 3,8$ м. Для побудови моделі використані дані з відкритих джерел [9]. Для прогнозування теплового NO_x використовується модель часткової рівноваги. В роботі прийнято, що процентне співвідношення вмісту водню до об'єму паливоповітряної суміші становить 10, 20, 30, 40 та 50%. При формуванні граничних умов врахована незмінність кількості теплоти, що вноситься в топку сумішшю.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження виконувалось шляхом моделювання багатокомпонентних сумішей у середовищі програмного комплексу ANSYS-Fluent. Першим кроком створення CFD-моделі є розробка геометричної моделі. Геометрична модель водогрійного котла типу ДКВР-10-13, побудована згідно креслеників, опублікованих на сайті [5] без урахування топкових екранів представлена на рис. 2.

Модель містить чотири штатних осьових пальника, для побудови геометричної моделі яких використані дані з відкритих джерел [8]. Згідно прийнятої геометричної моделі, подача первинного повітря в пальник здійснюється крізь бічний патрубок ДУ 159 мм (рис. 3а), яке в пальнику реагує з паливною сумішшю, яка також подається в пальник

через бічний патрубок того ж діаметру. Газорозподіл паливної суміші організовано круглими струменями, що подаються у потік окислювача перпендикулярною системою струменів (рис. 3б).

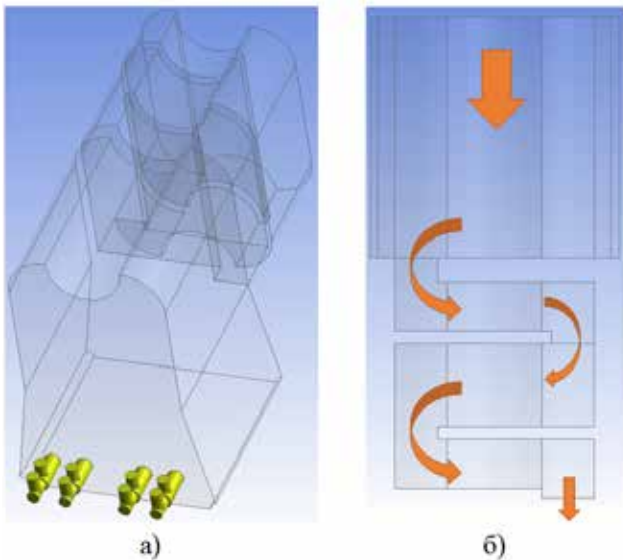


Рис. 2. Вид розрахункової області в ізометрії (а) та вид в плані (б) де показано напрям руху димових газів

Модель містить чотири штатних осьових пальника, для побудови геометричної моделі яких використані дані з відкритих джерел [8]. Згідно прийнятої геометричної моделі, подача первинного повітря в палиник здійснюється крізь бічний патрубок ДУ 159 мм (рис. 3а), яке в палинику реагує з паливною сумішшю, яка також подається в палиник через бічний патрубок того ж діаметру. Газорозподіл паливної суміші організовано круглими струменями, що подаються у потік окислювача перпендикулярною системою струменів (рис. 3б).

Для моделювання виконана дискретизація досліджуваної геометрії за допомогою розрахункових сіток, що побудована з використанням процедури CutCell meshing (рис. 4). Сітка CutCell – це загальна техніка шестигранної сітки. Алгоритм сітки CutCell підходить для широкого загалу розрахункових задач і завдяки великій частці шестигранних чарунок у сітці часто дає кращі результати, ніж звичайні тетраедричні сітки. Цей метод можна використовувати замість тетраедричної або шестигранної сітки, не вимагаючи дуже високої-якісної поверхневої сітки як відправної точки. Крім того, цей метод використовує прямий поверхневий

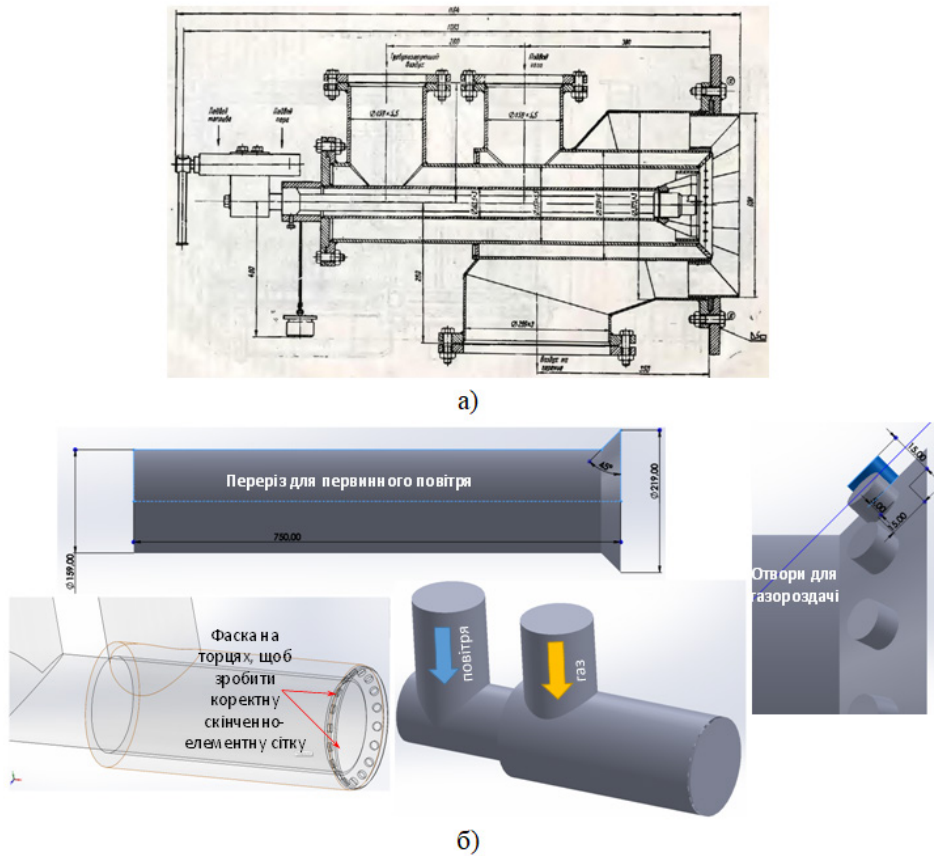


Рис. 3. Кресленник (а) і геометрична модель пальника (б) ГМГ-4

і об'ємний підхід без необхідності очищення чи декомпозиції, таким чином скорочуючи час, необхідний для створення сітки.

CFD-модель базується на чисельному рішенні усереднених по Рейнольдсу рівнянь Нав'є-Стокса, замкнутих за допомогою моделі турбулентності на основі концепції вихорової в'язкості типу $k-\varepsilon$ realizable [10]. це найкраща модель, з RANS-моделей, яка може розрахувати взаємодію між потоками. Ця модель отримана з рівняння переносу середньої завихорюваності, що в забезпечує більш обґрунтоване з гідродинамічної точки зору формування рівняння переносу швидкості дисипації, чим пояснюється використання в роботі цієї моделі. Крім того до переваг використання цієї моделі слід віднести той факт, що при використанні цієї моделі неможливо отримати негативні значення u_i^2 при значних деформаціях поля середньої швидкості. Автори [10] рекомендують використання даної моделі для течій з великою кривизною ліній току і закручуванням течії. Закручування потоку в даній задачі може відбуватись внаслідок гідродинамічної взаємодії між «факелом» полум'я з пальника і висхідним нагрітим потоком, що рухається в об'ємі топки котла.

Керуючі рівняння математичної моделі турбулентної течії, що має місце в цій задачі, і рівняння стандартної моделі турбулентності приведені в [11] і в інших підручниках з чисельних методів в гідродинаміці.

В налаштуванні гідродинамічної частини задачі окрім зазначеного, використано Enhance Wall Treatment для того, щоб врахувати пристінні функції і відповідно опції Viscous Heating, Correction і Full Buoyancy Effect (так звані ефекти плавучості).

Для моделювання багатокомпонентних сумішей використано модель Species Transport. Завдання різного процентного вмісту водню в паливній суміші з метаном $[H_2] = 0...50\%$ (до об'єму паливо-повітряної суміші) здійснено за допомогою відповідних налаштувань Mixture Species (рис. 5), де використовувались стехіометричні коефіцієнти з рівнянь взаємодії окислювач-паливо.

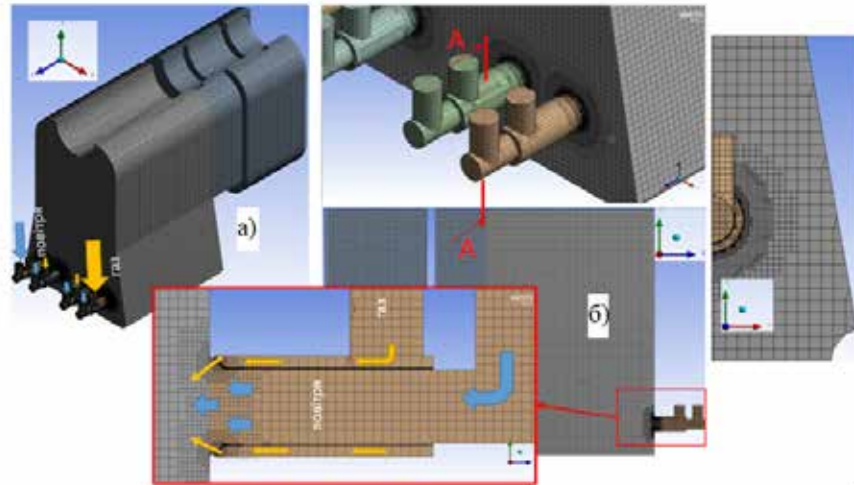


Рис. 4. Вид загальний скінченно-елементної сітки (а) та деталізація зображення «згущення» скінчених елементів поблизу моделі пальника (б)

Reactions $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Mixture: methane-air Total Number of Reactions: 1

Reaction Name: reaction-1 ID: 1 Reaction Type: Volumetric Wall Surface Particle Surface Electrochemical

Number of Reactants: 2 Number of Products: 2

Species	Stoich. Coefficient	Rate Exponent	Species	Stoich. Coefficient	Rate Exponent
ch4	1	1	co2	1	0
o2	2	1	h2o	2	0

а)

Reactions $0.9CH_4 + 0.1H_2 + 1.85O_2 \rightarrow 0.9CO_2 + 1.9H_2O$

Mixture: mixture-template Total Number of Reactions: 1

Reaction Name: reaction-1 ID: 1 Reaction Type: Volumetric Wall Surface Particle Surface Electrochemical

Number of Reactants: 3 Number of Products: 2

Species	Stoich. Coefficient	Rate Exponent	Species	Stoich. Coefficient	Rate Exponent
ch4	0.9	1	co2	0.9	0
h2	0.1	1	h2o	1.9	0
o2	1.85	1			

б)

Рис. 5. Стехіометричні коефіцієнти у випадку спалювання метану (а) і спалювання метану з 10%-ю добавкою водню (б)

Теплофізичні властивості матеріалів в меню Create/Edit Material вибирались з врахуванням Kinetic Theory, тобто відповідно до молекулярно-кінетичної теорії.

В якості граничних умов на вході в пальник задавалися у вигляді масової витрати і температури (Mass flow inlet). причому у вкладці Species записувались фракції, що відповідають стехіометричним коефіцієнтам реакції. При формуванні граничних умов врахована незмінність кількості теплоти, що вноситься в топку сумішшю.

Що ж до граничної умови на виході з котла (outlet) згідно методики розрахунку багато-

компонентних сумішей засобами ANSYS-Fluent слід використовувати лише умову outflow. Ця умова показує яка частка витрат виходить через дану межу. Інші види доступних в ANSYS-Fluent граничних умов, наприклад, Pressure outlet, мають графу Species у якій потрібно записати масові або мольні долі реагуючих компонентів. А саме їх потрібно визначити за допомогою моделі, тому доступний один вибір – гранична умова outflow.

В якості гідродинамічних граничних умов на зовнішніх поверхнях котельного агрегату задавалося умова «прилипання» молекули газу до непроникної стінки (тобто рівності нулю всіх компонентів вектору швидкості). А в якості теплових – граничні умови третього роду, коли зовнішня поверхня котельного агрегату взаємодіє з навколишнім середовищем.

Оскільки моделюється задача взаємодії багатокомпонентних сумішей то в налаштуваннях метода рішення ANSYS-Fluent так зване поєднання тиску зі швидкістю визначено за допомогою процедури Couple. При цьому з врахуванням досить великої кількості завихрень необхідно використовувати умову Pseudo Transient, що забезпечить сталу збіжність нев'язок.

При моделюванні використовувалась стандартна методика прогнозування утворення NO_x засобами цього програмного комплексу. Засобами ANSYS-Fluent, розраховане утворення як теплових, так і швидких NO_x . Модель враховує турбулентно-хімічну взаємодію дозволяє обчислювати освіту NO_x з урахуванням впливу турбулентних пульсацій на осереднені за часом швидкості реакції. Для прогнозування концен-

трації радикала O, необхідної для прогнозування теплового NO_x використовується модель часткової рівноваги.

Обговорення отриманих результатів.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що розподіл температур димових газів в середині котельного агрегату і траєкторії руху потоку в області розташування пальника для всіх досліджених випадків процентного співвідношення вмісту водню до об'єму паливо-повітряної суміші є схожим. Приклад отриманих при розрахунках полів температур та швидкостей в топковій камері котла для випадку заміщення $[\text{H}_2] = 10\%$ (до об'єму паливо-повітряної суміші) представлено на рис. 6.

Аналіз розподілів температур, що приведені на рис. 5 свідчить, що максимальні значення температури які сягають $1500\text{ }^\circ\text{C}$ спостерігається саме в місці взаємодії струменів газороздачі і основного повітряного потоку. Це твердження справедливе також для всіх випадків вибраного для розрахунків процентного співвідношення вмісту водню до об'єму паливо-повітряної суміші. Проте слід зазначити, що при заміщенні метану воднем спостерігається зменшення температури в області, що межує з пальниками (рис. 7). Наприклад, на рис. 7 приведено залежність середньоінтегральної температури в топці водогрійного котла від вмісту H_2 в паливно-повітряній суміші. Ця залежність свідчить, що значення середньоінтегральної температури димових газів в об'ємі топки котла поступово знижуються від $1500\text{ }^\circ\text{C}$ у випадку використання метану, до $1000\text{ }^\circ\text{C}$ у випадку заміщення $[\text{H}_2] = 50\%$.

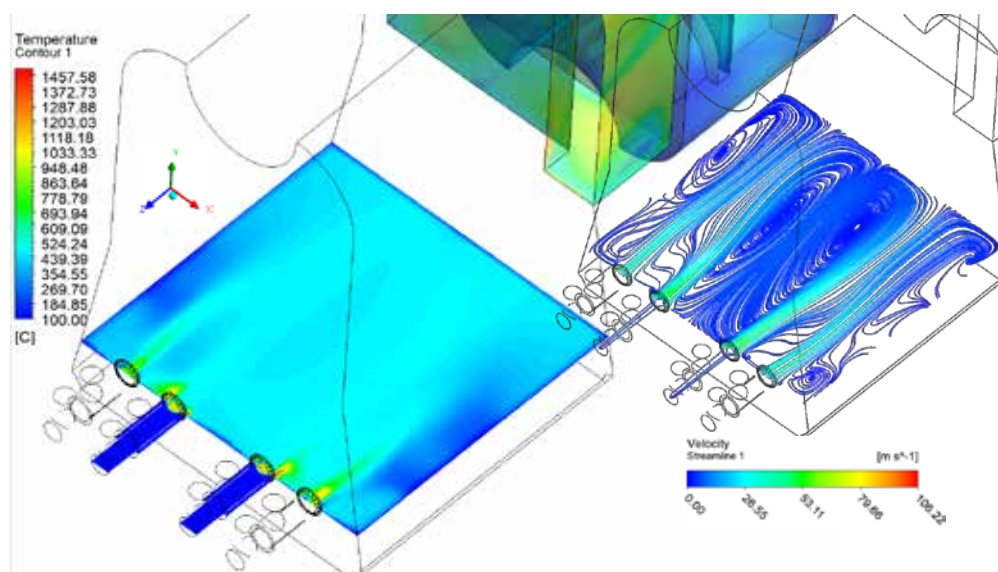


Рис. 6. Розподіл температур і швидкостей потоків продуктів згоряння в топковій камері котла ДКВР-10-13 у випадку спалювання метану

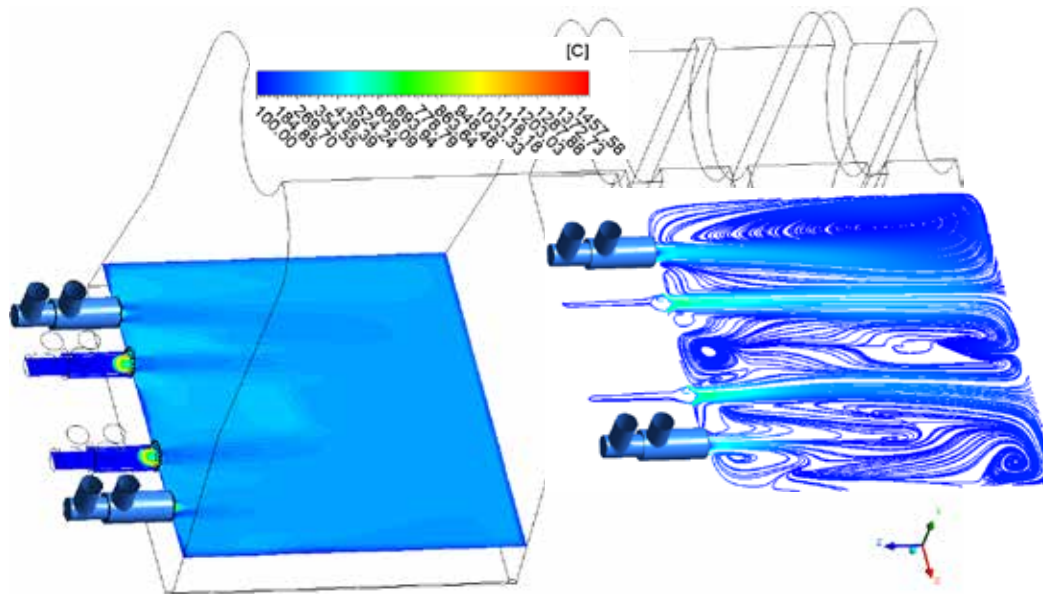


Рис. 7. Розподіл температур і швидкостей потоків продуктів згоряння в топковій камері котла ДКВР-10-13 у випадку спалювання метану з 50%-ю добавкою водню

На думку авторів, це пов'язано з відомим твердженням, що для водню, як палива, характерна більш низька теплотворна здатність ($Q_n^p = 10,79$ МДж/м³) та густина ($\rho = 0,09$ кг/м³) порівняно з природним газом ($Q_n^p = 35,9$ МДж/м³, $\rho = 0,72$ кг/м³), то при заміщенні останнього воднем знижується теплота згоряння сумішевого палива (віднесена до м³ суміші при нормальних умовах) порівняно з природним газом. Таким чином, для умови підтримки введеної в топку котла кількості теплоти збільшується витрата палива і змінюються режими роботи пальників.

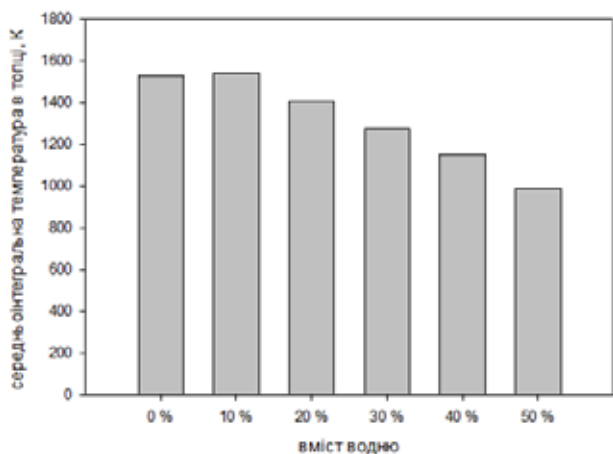


Рис. 8. Залежність середньої інтегральної температури в топці водогрійного котла від вмісту Н₂ в паливно-повітряній суміші

CFD-модель також дозволяє визначити розмір та конфігурацію «факелу», що виникає внаслідок

спалювання паливо-повітряної суміші. Так, наприклад, на рис. 8 приведено візуалізацію форми факелу і графіки розподілу температур в струмені потоку димових газів з пальників для випадку спалювання метану без домішок Н₂. Аналіз даних рис. 8 свідчить, що найбільш протяжними і теплонавантаженими є факели які розташовуються поблизу вісі симетрії котла. Значення температур струменя починає різко зменшуватися тільки на відстані 4 м від торця пальника. При цьому для пальників розташованих поблизу бічних стінок котельного агрегату різке зменшення значень температур струменя спостерігається вже на відстані 1,5 м від торця пальника. На думку авторів, на таку конфігурацію факелу полум'я може впливати той факт, що пальники № 1 і № 4 (для зручності на рис. 9 пальники пронумеровано) знаходяться поблизу стінки котельного агрегату, завдяки чому може спостерігатися перерозподіл теплового потоку для обігріву топочних екранів, а не нагрів середовища всередині об'єму топкової камери.

Приклад результатів моделювання утворення NO_x в топці котельного агрегату представлено в вигляді кількості частин на мільйон (промиле) – NO_x [ppm] для випадку заміщення [Н₂] = 10 % (до об'єму паливо-повітряної суміші) представлено на рис. 10.

Аналіз даних рис. 10 свідчить про те, що окисли азоту, які утворені в об'ємі топкової камери котельного агрегату під дією струменя нагрітих газів рухаються крізь конвективні поверхні нагрівання котла типу ДКВР і нікуди не зникають.

Якісно, картина утворення оксидів азоту для всіх досліджених за допомогою CFD-моделювання випадків заміщення метану воднем не змінна, але у кількісному значенні, збільшення значення заміщення $[H_2]$ до об'єму паливо-повітряної суміші призводить до зменшення емісії оксидів азоту.

Так, на рис. 10 приведені дані осереднення по поверхні перерізу виходу димових газів з котельного агрегату результатів CFD-моделювання генерації NO_x при різному процентному вмісту водню в паливній суміші з метаном $[H_2] = 0...50\%$ (до об'єму паливо-повітряної суміші). Аналіз приведених даних свідчить, що заміщення $[H_2] = 10\%$ в 2,9 рази зменшує значення NO_x . Подальше

збільшення частки $[H_2]$ до об'єму паливо-повітряної суміші призводить до поступового зменшення генерації NO_x , і вже при досягненні $[H_2] = 40\%$ значення осереднених NO_x по поверхні перерізу виходу димових газів з котельного агрегату не змінюються (рис. 11). На думку авторів це пояснюється тим, що водень «відбирає» ту частину кисню, що в іншому випадку може спровокувати генерацію оксидів азоту як у випадку спалювання «чистого» метану.

З метою порівняння результатів моделювання з відомими даними викидів оксидів азоту була проведена відповідна валідація CFD-моделі з даними режимної карти котла типу ДКВЕР-10-13. За даними режимної карти котла ДКВР 10-13 при

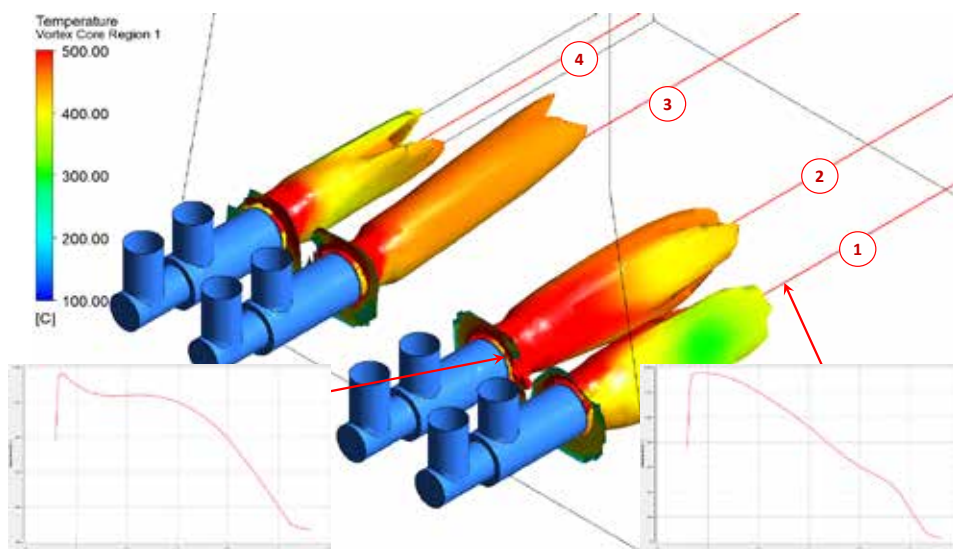


Рис. 9. візуалізацію форми факелу і графіки розподілу температур в струмені потоку димових газів з паливників для випадку спалювання метану в топковій камері котла ДКВР-10-13

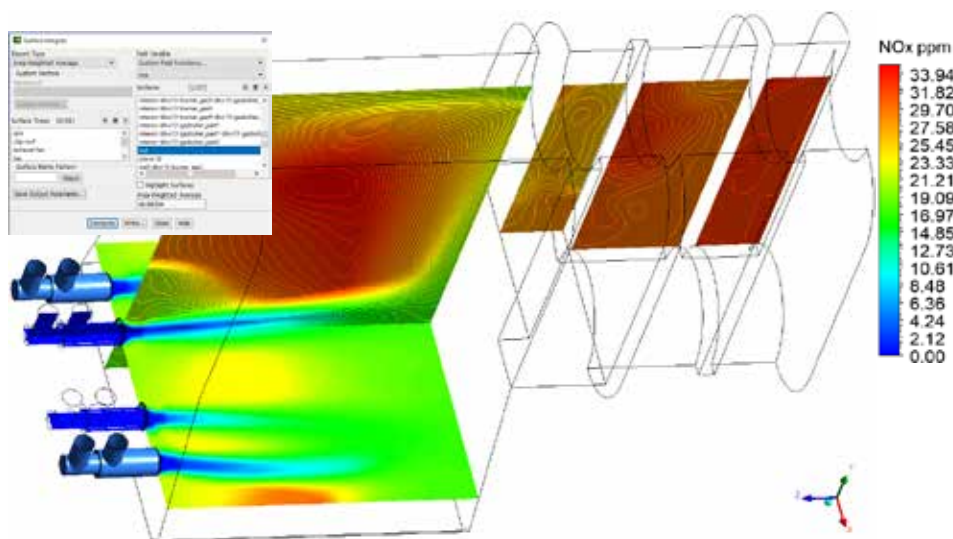


Рис. 10. Розподіл утворення оксидів азоту в топковій камері котла ДКВР-10-13 у випадку спалювання метану з 10% добавкою H_2

роботі на номінальній потужності рівень утворення NO_x складає $\sim 190\text{...}200$ мг/м³ (дані надано співробітником Інституту газу НАН України Горбуновим О.В.), що відповідає $\sim 95\text{...}100$ ppm. Даний рівень оксидів азоту добре співвідноситься з результатами CFD-моделювання, який для чистого метану склав 105 ppm.

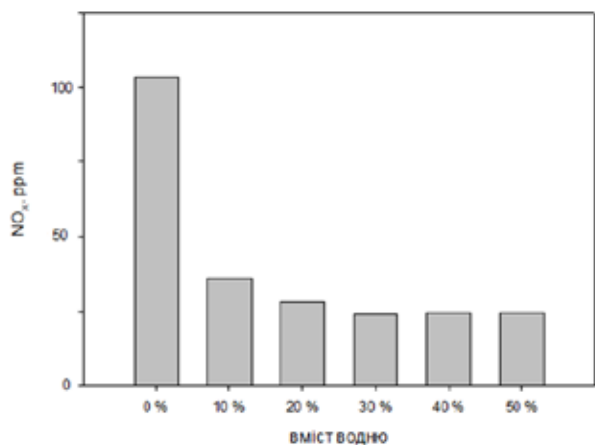


Рис. 11. Емісія оксидів азоту (NO_x , ppm) на виході з топкової камери водогрійного котла типу ДКВЕР-10-13 в залежності від процентного вмісту водню в паливній суміші з метаном

Аналіз отриманих за допомогою CFD-моделювання даних свідчить, що зі збільшенням процентного співвідношення вмісту водню в паливо-повітряній суміші емісія викиду оксидів азоту зменшується. Отриманий характер зменшення емісії оксидів азоту при заміщенні воднем метану у паливі відповідає характеру результатів експериментальних досліджень [7].

Висновки. На основі аналізу результатів CFD-моделювання процесів спалювання газоподібного палива в топці парового водотрубного котла ДКВЕР 10-13 за допомогою математичної моделі з використанням пакета прикладних програм ANSYS-Fluent визначено, що:

- використання відповідних розрахункових процедур є набагато простішим та дешевішим заходом порівняно з прямими фізичними експериментами та вимірюваннями;
- результат моделювання гідродинамічних характеристик струменів теплоносіїв котельного агрегату не залежить від хімічного складу суміші;
- значення середньоінтегральної температури димових газів в об'ємі топки котла поступово знижуються від 1500 °C, у випадку використання метану, до 1000 °C, у випадку заміщення $[\text{H}_2] = 50\%$.
- заміщення $[\text{H}_2] = 0\text{...}50\%$ (до об'єму паливо-повітряної суміші) дозволяє майже в 4 рази зменшити генерацію оксидів азоту в димових газах на виході з котельного агрегату.

• за даними режимної карти котла ДКВЕР 10-13 при роботі на номінальній потужності рівень утворення NO_x складає $\sim 190\text{...}200$ мг/м³, що відповідає $\sim 95\text{...}100$ ppm. Даний рівень оксидів азоту добре співвідноситься з результатами CFD-моделювання, який для чистого метану склав 105 ppm.

Таким чином комп'ютерне моделювання дозволяє проводити попередню, досить точну оцінку емісійних характеристик спалювання газоподібних палив різного складу. Отримані дані численних розрахунків можуть бути використані при проектуванні енергетичного обладнання.

Список літератури:

1. Yang H, Han YJ, Yu J, Kim S, Lee S, Kim G, Lee C. Exploring Future Promising Technologies in Hydrogen Fuel Cell Transportation. Sustainability. 2022; 14(2):917. <https://doi.org/10.3390/su14020917>.
2. Шльончак І. А., Павлов О. М.; Компанієць І. В. Аналіз ефективності використання водневмісного газу у двигунах внутрішнього згорання / А.І. Міщенко, А.В. Білогуб, В.Д. Савицький. та ін. *Матеріали VI-ї міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 року: збірник наукових праць* / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ. 2018. 225 с.
3. von der Grün, G.T.M., Hotopp, S., Müller-Kirchenbauer, J. (2013). Transport and Usage of Hydrogen via Natural Gas Pipeline Systems. In: Hou, M., Xie, H., Were, P. (eds) Clean Energy Systems in the Subsurface: Production, Storage and Conversion. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Berlin, Heidelberg. p.p 421–436 https://doi.org/10.1007/978-3-642-37849-2_33.
4. Mahajan, D.; Tan, K.; Venkatesh, T.; Kileti, P.; Clayton, C.R. Hydrogen Blending in Gas Pipeline Networks—A Review. Energies 2022, 15, 3582. <https://doi.org/10.3390/en15103582>.
5. Soroka B., Pyanykh K., & Zgurskyi V. (2022). Mixed Fuel for Household Gas-Powered Appliances as an Option to Replace Natural Gas with Hydrogen. Science and Innovation, 18(3), 10–22. <https://doi.org/10.15407/scine18.03.010>.
6. Заходи зі зниження негативного екологічного впливу при проектуванні та експлуатації транспортного комплексу. URL: https://pidru4niki.com/92979/ekologiya/sposobi_pidvischennya_ekologichnoyi_bezpeki_transporti. 05.09.2022 р.

7. Сірий О., Кобилянська О. CFD-модельовання процесу спалювання суміші метан-водень в струменево-нішевому стабілізаторі полум'я // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. № 4. Том 33 (72). С.172–180 DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/26>.

8. Тимошевський, М.Р. Ткач, Д.О. Шалапко Вплив на робочі характеристики ДВЗ домішок водню на основі рідкого палива / Тези доповідей: Міжнародна науково-технічна конференція. Суднова енергетика: стан та проблеми. 2011. С. 75 – 79.

9. ENERGETIK. Паровые котлы: котлы серии ДКВр давлением до 1,3 МПа (газ, мазут, уголь) ДКВр-4-1, ДКВр-6,5-13, ДКВр-10-13, ДКВр-20-13 URL: https://energetik.ua/catalog/parovi_kotly/dkvr-1-3/. – 29.09.2022 р.

10. Shih T.-H., Liou W. W., Shabbir A., Yang Z., Zhu J. A New $k-\epsilon$ EddyViscosity Model for High Reynolds Number Turbulent Flows – Model Development and Validation. Computers and Fluids. 1995. Vol. 24, No 3. P. 227–238.

11. Ferziger, J.H., Peric, M. Computational methods fluid dynamics. Berlin: Springer, 2001. 423 p.

Baranyuk A.V., Vorobiov M.V., Ryabtsun R.S. DETERMINATION OF ENERGY AND ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE DKVR-10-13 BOILER OPERATION IN ADDING HYDROGEN TO NATURAL GAS BY MATHEMATICAL MODELING

It's known that the traditional energy sector is primarily responsible for the generation of greenhouse gases. During the 150 years of its existence, the greenhouse effect has significantly increased, which has led to a climate crisis. Today, the problem of reducing the use of fossil hydrocarbons, in particular natural gas, is recognized in most countries of the world as a problem of national security. Various measures related to the effective use of alternative fuels and increasing the energy efficiency of thermal power facilities are being implemented to solve it.

Hydrogen technologies are increasingly being used to solve the mentioned problem. It is known that hydrogen is already widely used as automobile fuel [1]. The authors' works [2] show that the use of hydrogen in spark-ignition engines makes it possible to improve the quality of fuel combustion and improve their environmental performance. This, in turn, led to the use of hydrogen in the energy and utility sectors in the replacement of natural gas by admixing hydrogen into gas networks [3, 4].

The purpose of the work is to predict the formation of nitrogen oxides (NOx) during the combustion of natural gas with added hydrogen in regular axial burners used in DKVR-10-13 type water heating boilers using computer modeling methods. An academic license of the ANSYS Student software complex was used for modeling, which since 2015 is free and is intended for solving introductory and educational tasks in an academic environment.

During the simulation, it was determined that the percentage of hydrogen in the fuel mixture with methane $[H_2] = 30\%$ (to the volume of the fuel-air mixture) allows to reduce the generation of NOx by 3.7 times compared to the case of burning methane. A further increase in $[H_2]$ to 40 and 50% does not lead to a decrease in NOx formation.

Preliminary verification of the calculated data of nitrogen oxide emissions with the data of the mode map of the DKVER-10-13 type boiler for the case of methane combustion was carried out. The result of the comparison shows that the model developed in the ANSYS-Fluent environment slightly overestimates the value of NOx at the boiler outlet. This may be due to the imperfection of the computer model compared to the real object. However, the tendency of the dependence of the value of nitrogen oxide emissions at the exit from the boiler on the percentage of hydrogen fully corresponds to the similar dependence for the household two-circuit boiler «MICRA DUO CS 24» of the company «RÖDA» [5], which indicates the feasibility of using hydrogen as a partial replacement of traditional natural gas fuel burning equipment.

Key words: hydrogen energy, emission, methane-hydrogen mixture, modeling, vorticity, nitrogen oxides.

УДК 621.165.62-192
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/28>

Беднарська І.С.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Риндюк Д.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТОПОРНО-РЕГУЛЮЮЧОГО КЛАПАНА АЕС З УРАХУВАННЯМ ГАЗОДИНАМІКИ РОБОЧОГО ТІЛА

Стаття присвячена розробці методики визначення теплового та напружено-деформованого стану стопорно-регулюючого клапана атомної електростанції, що базується на заміні трудомісткого процесу розрахунку граничних умов теплообміну моделюванням газодинаміки течії вологої пари. В даній роботі розглянуто газодинамічні процеси та напружено-деформований стан стопорно-регулюючого клапана системи паророзподілу Хмельницької атомної електростанції (ХАЕС) енергоблоку № 2 від парогенератора № 2. В результаті виконаного моделювання процесу течії вологої пари в стопорно-регулюючому клапані на енергоблоці № 2 Хмельницької АЕС отримані дані щодо розподілу тисків, температур і швидкостей робочого тіла. Розглянуто особливості протікання пари в стопорно-регулюючому клапані та особливості утворення вихорів в проточному тракті клапана, їх вплив на внутрішні стінки клапана. Проведено аналіз впливу температури та тиску пари на внутрішні стінки регулюючого клапана. Представлений спосіб числових досліджень дає можливість провести більш повний аналіз досліджуваного об'єкта, а саме провести комплекс числових експериментів по визначенню газодинаміки клапана з можливістю визначення наявних напружень та завчасного прогнозування пошкоджень в конструкції клапана. Проведено комплекс числових експериментів по дослідженню напружено-деформованого стану корпусу клапана. Визначено наявні напруження в корпусі стопорно-регулюючого клапана енергоблоку № 2 ХАЕС від ПГ № 2. Відзначено, що за рахунок виникнення вихорів у вихідній проточній частині клапана відбуваються циклічні флуктуації тиску у пристінковій зоні, що в свою чергу викликає прискорення циклічної пошкоджуваності металу корпусу у відповідних місцях. У подальшому отримані дані можуть будуть використані для визначення залишкового ресурсу головних паропроводів АЕС.

Ключові слова: атомна енергетика, клапан, газодинаміка, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Для України атомна енергетика є стратегічно важливою частиною енергопостачання: її поточний і прогнозований внесок становить близько 50% виробництва електроенергії в країні. Вона займає одну з провідних позицій в українській економіці та забезпечує важливу сферу національної безпеки – атомну енергетику. Тобто успішне функціонування атомної енергетики є однією з необхідних умов національної безпеки [1].

Атомна енергетика є основним заміником викопного палива (вугілля, нафта, природний газ) у сфері виробництва електроенергії, а також є основним способом скорочення викидів вуглекислого газу і тим самим зменшення парникового ефекту [1]. Згідно з прогнозом МАГАТЕ, встановлена потужність світового парку атомних електростанцій у 2030 році досягне 500 ГВт

за мінімальним сценарієм розвитку та 746 ГВт за максимального. Згідно з останнім прогнозом Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), частка ядерної енергетики в задоволенні попиту на первинну енергію значно зросте.

Нині розвинені країни Азії, Європи та Америки вкладають значні кошти в розвиток атомної енергетики, щоб щороку вводити в експлуатацію десятки ядерних реакторів. З 14 148 МВт встановлених АЕС Україна посідає сьоме місце у світі. На Запорізькій, Рівненській, Південноукраїнській та Хмельницькій АЕС працюють 16 енергоблоків, 14 типу ВВЕР-1000 і 2 типу ВВЕР-440. Атомна енергетика стала основним стабілізуючим фактором національної енергосистеми.

Усі ці факти разом із аналізом енергетичних потреб країни та можливостей їх задоволення вказують на доцільність та необхідність розвитку

атомної енергетики в Україні. Обираючи такий шлях, слідуватимемо світовим трендам.

Стратегією планується збереження протягом 2006 – 2035 рр. частки виробництва електроенергії АЕС на рівні, досягнутому у 2005 році (тобто, близько половини від сумарного річного виробництва електроенергії в Україні). Таке рішення обґрунтовується наявністю власних сировинних ресурсів урану, а також – стабільною роботою АЕС, потенційними можливостями країни щодо створення енергетичних потужностей на АЕС, наявними технічними, фінансовими та екологічними проблемами теплової енергетики [1].

Але з поміж тим, блоки АЕС близькі, а деякі вже й перевищили свій проектний строк. Крім того, в зв'язку зі збільшенням частки вироблення електроенергії на АЕС, великі енергоблоки потужністю 1000 МВт змушені працювати не в розрахунковому базовому, а на змінних режимах. Це веде за собою збільшення кількості пусків і зупинок, що є додатковим навантаженням на обладнання і кількість яких за весь термін служби обмежена нормативними документами. Робота на змінних режимах може привести до необхідності розгляду питання про передчасне виведення деяких атомних енергетичних блоків з експлуатації. Така ситуація вимагає термінового проведення комплексу робіт по аналізу стану обладнання станції, а також розробки рішень щодо продовження його строку експлуатації.

Одним з важливих елементів атомної електростанції, якому варто приділити багато уваги, є стопорно-регулюючий клапан (СРК), який є частиною паророзподільчої системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує ряд робіт присвячених зазначеній проблематиці, на які варто звернути увагу, але вони в основному зосереджені на розгляді і вирішенні зазначених проблем для таких елементів електростанцій, як турбіни, парогенератори і тд. Але, одним з елементів обладнання електростанції, що теж потребує докладної уваги, є система паророзподілення парової турбіни, яка регулює і запобігає подачу пари в проточну область. Конструктивно вона складається з ряду клапанів, з'єднаних паропроводами: стопорний клапан (СК), виконує повне перекриття подачі пари в турбіну, та регулюючі клапани (РК).

Існує багато проблем, які стосуються паропроводів та клапанів, а саме: ці деталі знаходяться під дією корозії, ерозії та великих термічних напружень при перемінних режимах роботи, особливо при пусках та зупинках, а також вібрації, що

зумовлена відсутністю надійної фіксації клапанів в заданому положенні [2].

В нормативних документах [2-4], які офіційно визнані в галузі, описані граничні умови теплообміну в елементах турбоустановок та методи їх розрахунку. Цими методами та вказівками керувались автори робіт [5, 6] при оцінці залишкового ресурсу та подовження експлуатації корпусів та роторів парових турбін, клапанів та інших деталей енергоблоків.

Робота [5] присвячена проблемі продовження терміну експлуатації енергетичного обладнання. Предметом дослідження роботи були пошкоджувальність і залишковий ресурс автоматичних захисних клапанів циліндра середнього тиску парової турбіни К-200-130. Отримано дані по тепловому і напружено-деформованому стану корпусів клапанів для різних режимів пуску. Визначено сумарну пошкоджувальність і індивідуальний залишковий ресурс. Розрахунки виконувались згідно з [2, с. 44, 3, с. 12].

В роботі [6] була запропонована оцінка ресурсу деталей турбоустановок, описана методика розрахунку теплового стану цих деталей при характерних режимах роботи. Розраховувались граничні умови теплообміну в контрольних точках відповідно до [3, 4], що показані на розрахункових геометричних моделях, в яких визначались розмахи інтенсивності напружень за всі періоди пусків з різних теплових станів. Проте, такий підхід до визначення ресурсу деталей турбоустановок включає в себе людський фактор і, таким чином, потребує великих затрат часу на розрахунки граничних умов I-IV роду. Зауважимо, що з достатньою точністю неможливо визначити граничні умови I-IV роду для об'єктів, які мають складну геометричну форму. Також варто звернути увагу на конструктивні зміни в деталях турбоустановок, які виникли під час всього терміну експлуатації, які неможливо з достатньою точністю врахувати за допомогою методики, яка наведена в [5-6].

Постановка завдання. Детально проаналізувавши останні дослідження та публікації, було зроблено висновок, що вищевказані методи та підходи до визначення ресурсу клапанів є трудомісткими при розрахунках граничних умов та недостатньо точні для об'єктів складної геометричної форми.

Метою даної роботи є розробка альтернативного підходу до визначення теплового та напружено-деформованого стану стопорно-регулюючого клапана атомної електростанції, що базується на заміні трудомісткого процесу розрахунку

граничних умов теплообміну моделюванням газодинаміки течії вологої пари.

В даній роботі буде розглянуто газодинамічні процеси та напружено-деформований стан стопорно-регулюючого клапана системи паророзподілу Хмельницької атомної електростанції (ХАЕС) енергоблоку № 2 від парогенератора (ПГ) № 2.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стопорно-регулюючий клапан призначений для дроселювання пари, що подається в турбіну, і для швидкого перекриття надходження пари у разі спрацьовування захисту або впливу оператора. Закриття СК перекриває також надходження гострої пари на обігрів 2-го ступеня сепарації та перегріву пари[8]. На рис. 1 представлена геометрична модель стопорно – регулюючого клапана енергоблоку №2 від ПГ №2 Хмельницької АЕС, створена в системі 3D- моделювання SolidWorks.

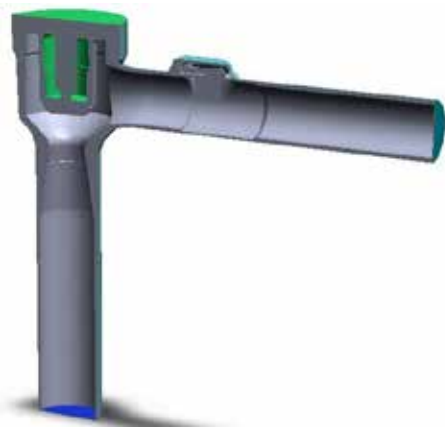


Рис. 1. Геометрична модель СК енергоблоку № 2 ХАЕС

Для дослідження газодинаміки було в стопорно-регулюючому клапані створено математичну модель. У математичну модель дослідження газодинаміки входять закони збереження енергії, маси, імпульсу, рівняння стану рідини або газу, різноманітні замикаючі співвідношення, граничні і початкові умови [12, 13]. Вирішення вищезазначених рівнянь засноване на методі кінцевих об'ємів, який передбачає їх інтегрування за об'ємами комірок розрахункової сітки.

По теоремі Гауса для довільної векторної або тензорної величини:

$$\int_{\Omega} (\nabla \cdot F) d\Omega = \sum_{i=faces} (F_i \cdot n_i) \cdot \Delta S_i \quad (1)$$

Ω – об'єм комірки

ΔS_i – площа і-ї грані комірки

Таким чином, при інтегруванні розв'язуваних рівнянь в комірках проводиться підсумовування

потоків маси, імпульсу, енергії і турбулентних величин, обчислених на гранях комірок. В якості числової моделі для реалізації наведеної вище аналітичної моделі було обрано програмний комплекс FlowVision 3.12.01.

В таблиці 1 наведені параметри, які приймалися в якості вихідних і граничних умов, отримані з Хмельницької атомної електричної станції енергоблоку № 2 [10].

Таблиця 1

Вихідні та граничні умови для дослідження газодинамічних процесів в СК [10]

Назва параметру	Значення
Тиск пари перед СК ЦВТ (абс.), МПа	5,88
Температура пари перед СК ЦВТ, °С (К)	274 (547)
Ступінь сухості пари, %	0,995
Шорсткість, м	10 ⁻⁴
Витрата пари на вході в клапан, т / год	1340

Поставлене завдання вирішувалося в 3-х мірній, стаціонарній постановці, з застосуванням моделі повністю стисливої рідини. Робоче середовище (волога пара) представлено в моделі у вигляді двофазної суміші пари та крапель вологи з урахуванням ступеня сухості пари та реологічних властивостей окремих фаз. В ході пробних розрахунків були уточнені параметри розрахункової моделі (часовий крок, умови адаптації розрахункової сітки), які дозволили оптимізувати розрахунок і отримати хороший збіг з експериментальними даними, отриманими безпосередньо на станції. В результаті проведеного комплексу чисельних експериментів були отримані дані 3-D газодинамічної структури потоку, розподіл швидкостей в потоці, температурних полях, розподіли тисків. Аналіз результатів чисельного моделювання дав можливість досить докладно вивчити газодинамічні характеристики течії вологої пари по паропроводах. Чисельне моделювання дозволило оцінити вплив геометрії клапана на газодинаміку потоку. Отримані дані по розподілу тиску, температури та швидкостей в повздовжньому та поперечному перерізах клапана при стаціонарному режимі зображено на рис. 2 – рис. 4. На рис. 2 можна побачити зосередження максимальних тисків на вході у вхідний патрубок та в області запірної часті штока клапана, де відбувається розбиття потоку пари.

Для наочного уявлення про формування вхідного потоку у передуючому елементі проточного тракту на рис. 4 (б) зображено результати розподілу швидкості в клапані. Результати

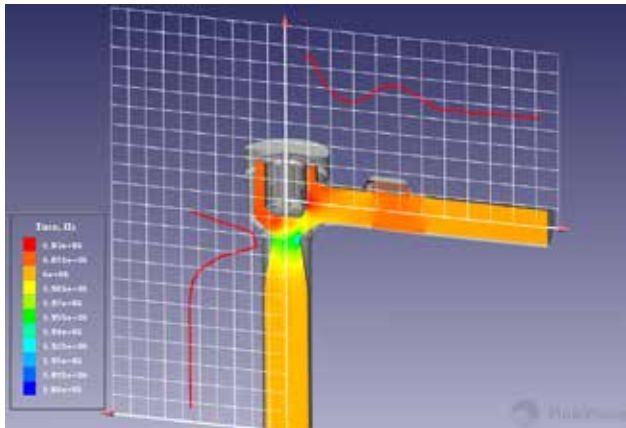


Рис. 2. Розподіл тиску при стаціонарному режимі в проточному тракті клапана

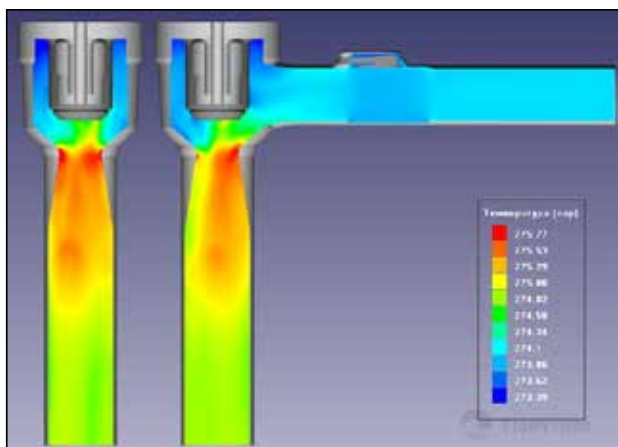


Рис. 3. Розподіл температури при стаціонарному режимі в проточному тракті СКР

візуалізації структури течії у відсіку регулюючого клапана представлено на рис. 4 (а). Зони прискорення потоку пара зосереджені в області між запірною чашею та сідлом клапана. Структура потоку в тракті паровпуску для стаціонарного режиму роботи має вихровий характер. Наявність конструкції СКР з одностороннім бічним підведенням пари в клапанну коробку призводить до формування нерівномірності парового потоку перед входом в клапанний канал. При такому підводі порушується осьова симетрія течії в проточній частині дифузійної частини сідла, що викликає відрив потоку та утворення циркуляційної течії, яка отримує подальший розвиток нижній частині клапана (рис. 4.б). Утворений нерівномірний потік сприймається металом корпусу клапана і призводить до виникнення можливих негативних наслідків, таких як виникнення зон вихроутворення. Маючи наглядне зображення структури потоку в проточному тракті клапана, з виникненням вихорів в пристінних зонах клапана, можна відмітити, що завихрення потоку впливають на напружено-деформований стан металу корпусу клапана.

Як видно по рис. 4,б при повному відкритті СКР в зазорі між запірною чашею та сідлом відбувається значне прискорення потоку. При такому режимі течії й різкому збільшенні прохідної площі в клапанному каналі неминуче відбувається відрив потоку, як від профільної поверхні запірної

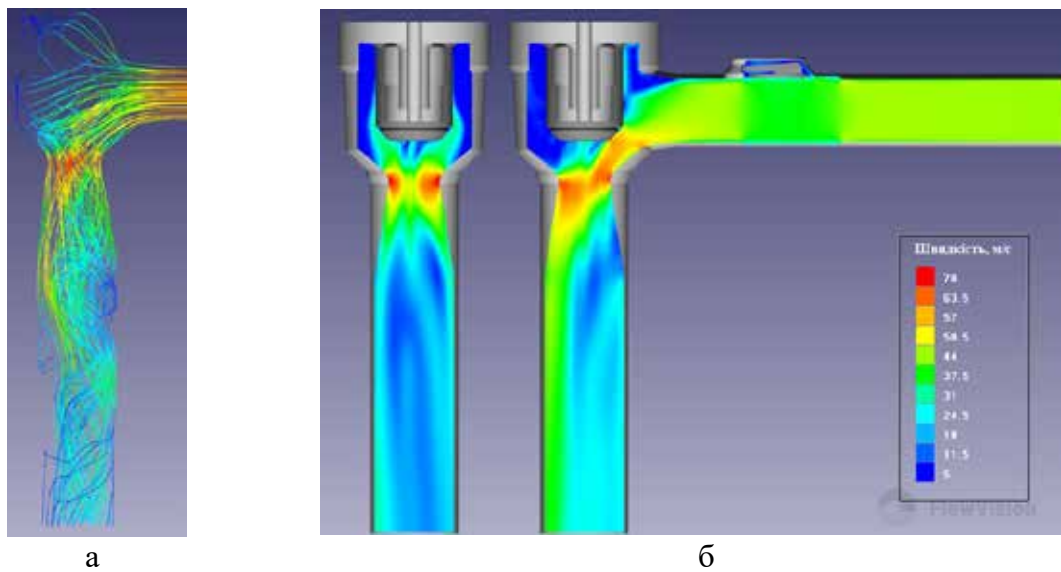


Рис. 4. Візуалізація ліній потоку в тракті РК (а); розподіл швидкостей при стаціонарному режимі в проточному тракті клапана

чаші, так і від поверхні сідла. Велика частина області циркуляційної течії утворюється в дифузійній частині сідла з боку підвідного патрубка клапана, де потік має найбільшу локальну швидкість. Сформований таким чином потік потрапляє у нижню проточну частину клапана, де отримує додаткову турбулізацію через подальше різке збільшення прохідного перерізу в циліндричній частині клапана.

На рис. 5 зображений тепловий стан металу стопорно-регулюючого клапана.

На наступному етапі розраховано НДС СРК на базі отриманих раніше даних по розподілу температурного поля по об'єму корпусу клапана та газодинаміки робочого середовища. Напружено-деформований стан стопорно-регулюючого клапана енергоблоку № 2 ХАЕС енергоблоку № 2 турбіни К-1000-60/3000 представлено на рис. 6.

Напружено-деформований стан корпусу клапана формує сумісна дія температурних напружень і напружень від тиску.

З результатів розрахунку напружено-деформованого стану видно, що максимальні напруження (98 МПа) виникають в місцях кріплення вхідного патрубка та сідла клапана. Зважаючи на те, що межа міцності матеріалу клапана 720 МПа, максимальні розрахункові напруження не є критичними. Отже, статична складова пошкоджуваності металу не значно впливає на довготривалу міцність.

За рахунок виникнення вихорів у вихідній проточній частині клапана відбуваються циклічні флуктуації тиску у пристінковій зоні, що в свою чергу викликає прискорення циклічної пошкоджуваності металу корпусу у відповідних місцях. Отже, можна прогнозувати, що зони деградації та розтріскування металу можуть бути зосереджені в місцях, де присутні завихрення потоку (рис. 4).

Висновки. В результаті виконаного моделювання процесу течії вологої пари в стопорно-регулюючому клапані на енергоблоці № 2 Хмельницької АЕС отримані дані щодо розподілу тисків, температур і швидкостей робочого тіла.

Розглянуто особливості протікання пари в стопорно-регулюючому клапані та особливості утворення вихорів в проточному тракті клапана, їх вплив на внутрішні стінки клапана. Проведено аналіз впливу температури та тиску пари на внутрішні стінки регулюючого клапана.

Представлений спосіб числових досліджень дає можливість провести більш повний аналіз досліджуваного об'єкта, а саме провести комплекс

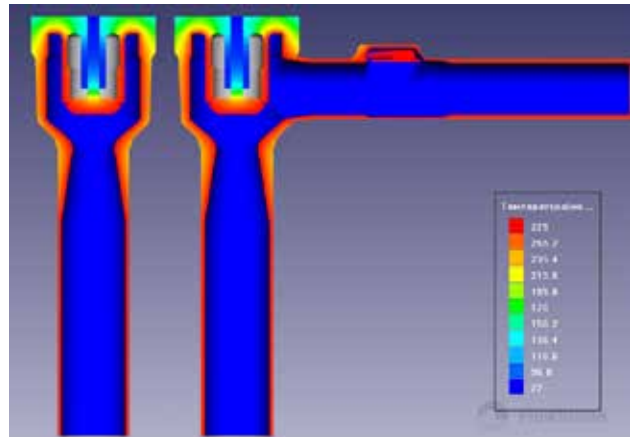


Рис. 5. Тепловий стан металу СРК при розрахунку газодинаміки за допомогою ПК Flow Vision 3.0

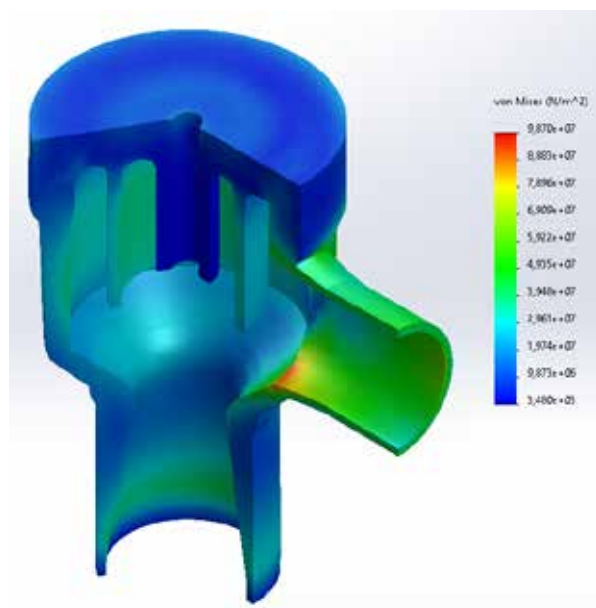


Рис. 6. НДС СРК енергоблоку № 2 ХАЕС

числових експериментів по визначенню газодинаміки клапана з можливістю визначення наявних напружень та завчасного прогнозування пошкоджень в конструкції клапана.

Проведено комплекс числових експериментів по дослідженню напружено-деформованого стану корпусу клапана. Визначено наявні напруження в корпусі стопорно-регулюючого клапана енергоблоку №2 ХАЕС від ПГ №2. Відзначено, що за рахунок виникнення вихорів у вихідній проточній частині клапана відбуваються циклічні флуктуації тиску у пристінковій зоні, що в свою чергу викликає прискорення циклічної пошкоджуваності металу корпусу у відповідних місцях.

У подальшому отримані дані можуть будуть використані для визначення залишкового ресурсу головних паропроводів АЕС.

Список літератури:

1. Энергетика: история, настоящее и будущее. ТЗ. Развитие тепловой и атомной энергетики. Базеев Е.Т., Билека Б.Д., Васильев Е.П. и др. К., ООО „Редакция издания”. *Энергетика: история, настоящее и будущее*. 2008. 528с.
2. НД МПЕ України. Контроль металу і продовження терміну експлуатації основних елементів котлів, турбін і трубопроводів теплових електростанцій. СОУ-Н МПЕ 40.17.401:2004. Офіц. вид. К.: ГРІФРЕ: *М-во палива та енергетики України*, 2005. 76 с.
3. РТМ 24.020.16-73. Турбины паровые стационарные. Расчёт температурных полей роторов и цилиндров паровых турбин методом электро моделирования. М., 1973. № ВК-002/3209. 104 с.
4. РД 34.17.440-96. Методические указания о порядке проведения работ при оценке индивидуального ресурса паровых турбин и продлении срока их эксплуатации сверх паркового ресурса. М., 1996. 98 с.
5. Оценка индивидуального ресурса литых корпусов автоматических защитных клапанов энергоблоков мощностью 200 МВт. О.Ю. Черноусенко, Д.В. Риндюк, В.А. Пешко, В.Ю. Горяженко. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: *Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*, № 13(1289) 2018. С. 26-32.
6. Комплексна схема оцінювання залишкового ресурсу роторів парових турбін великої потужності. О.Ю. Черноусенко, Т.В. Нікуленкова. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: *Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Х.: НТУ «ХПІ», 2013. № 14(988). С. 54-61.
7. Аналіз підходів до оцінки теплового та напружено-деформованого стану елементів паропроводів АЕС. Беднарська І.С., Риндюк Д.В. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. Том 30 (69) Ч. 2 № 2 2019. С. 12-16.
8. 43-923.203.007.БД.05 Хмельницька АЕС. Енергоблок №2. База даних ЯПВУ. Частина 5. Технологічні системи другого контуру.
9. Хмельницька АЕС. Енергоблок № 2. Система паропроводів свіжої пари (ТХ, РА). Технічний опис. № 2.ТЦ.0245.ТО-01.
10. Турбіна парова К-1000-60/3000. *Інструкція з експлуатації. Технічний опис*. № 2ТЦ.0244.ТО-01.
11. FlowVision. Версія 3.09.04. Керівництво користувача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://flowvision.ru/index.php/public-downloads/category/8dokumentatsiyaflowvision?download=112:3-09-04-pdf-enu>
12. Андерсон Д., Таннехілл Дж., Плетчер Р. (1990) "Обчислювальна гідромеханіка та теплообмін", Москва, Мир, Т. 1 – 2.
13. Флетчер К. (1991) "Обчислювальні методи в динаміці рідин", Москва, Мир, Т. 1 – 2.
14. Моделирование газодинамики влажной пари в головных паропроводах атомной электростанции [Текст] / И.С. Беднарська, Д.В. Риндюк, Лементар С.Ю. // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, Том 32 (71) № 5 2021, с.159-167. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/25>

Bednarska I.S., Rindyuk D.V. DETERMINATION OF THE STRESSED AND DEFORMED STATE OF THE STOPPING AND REGULATING VALVE OF A NPP TAKING INTO ACCOUNT THE GAS DYNAMICS OF THE WORKING BODY

The article is devoted to the development of a method for determining the thermal and stress-strain state of a stop-control valve of a nuclear power plant, which is based on replacing the time-consuming process of calculating the boundary conditions of heat exchange by modeling the gas dynamics of the flow of wet steam. In this paper, the gas-dynamic processes and the stress-strain state of the stop-control valve of the steam distribution system of the Khmelnytsky Nuclear Power Plant (KhNPP) of power unit №2 from steam generator №2 are considered. As a result of the modeling of the flow of wet steam in the stop-control valve at power unit №2 of the Khmelnytsky NPP, data on the distribution of pressures, temperatures, and speeds of the working fluid were obtained. The features of steam flow in the stop-control valve and the features of the formation of vortices in the flow path of the valve, their effect on the inner walls of the valve, are considered. An analysis of the effect of temperature and steam pressure on the inner walls of the control valve was carried out. The presented method of numerical research makes it possible to conduct a more complete analysis of the object under study, namely to conduct a complex of numerical experiments to determine the gas dynamics of the valve with the possibility of determining the available stresses and early prediction of damage in the valve structure. A set of numerical experiments was conducted to study the stress-strain state of the valve body. The existing stresses in the housing of the stop-control valve of power unit № 2 of KhNPP from steam generator № 2 were determined. It was noted that due to the appearance of vortices in the outlet flow part of the valve, cyclic pressure fluctuations occur in the wall zone, which in turn causes an acceleration of the cyclic damage of the body metal in the corresponding places. In the future, the obtained data can be used to determine the residual resource of the main steam pipelines of the NPP.

Key words: nuclear energy, valve, gas dynamics, mathematical modeling.

УДК 621.43.056
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/29>

Бстін Ю.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Абдулін М.З.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ТОПКОВОГО ПРОЦЕСУ У ПЕЧАХ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ДІАПАЗОНІ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

Огляд досліджень топкових процесів виявив їх значну кількість для високотемпературних та середньотемпературних печей. Однак має місце недостатність уявлення про організацію топкових процесів в низькотемпературних печах малої потужності.

Треба відмітити що для високотемпературних печей допускається температурна нерівномірність в десятки градусів по топковому простору. При цьому для низькотемпературних печей допустимий рівень нерівномірності є значно нижчим. Це також стосується пекарських печей харчової промисловості, де має місце рівень температур в діапазоні від 150 °С до 300 °С та мінімальні коливання середнього рівня температури. Крім того, в низькотемпературних печах малої потужності більш явно проявляють себе крайові ефекти. Так при зменшенні топкового простору стає значимим співвідношення його розмірів та геометрії прикордонних шарів (теплових та аеродинамічних). Також для малих печей необхідно зменшувати геометричні параметри елементів пального пристрою (ПП) і, відповідно, діаметри отворів подачі газу. Це суттєво впливає на аеродинаміку розвитку системи струменів, структуру течії в ПП і в результаті на якість сумішоутворення паливної суміші та стабілізацію горіння в ПП.

З цими проблемами зіткнулися світові виробники низькотемпературних печей харчової промисловості. У статті увага приділяється саме печам малої потужності, які працюють на газоподібному паливі в діапазоні низьких температур. Важливим етапом роботи було дослідження штатних ПП, що працюють в імпульсному режимі. Імпульсний режим – один з основних режимів роботи печей, який з'явився внаслідок обмеженого діапазону робочого регулювання існуючих ПП. В результаті досліджень виявлені особливості застосування в цих випадках існуючих вихрових та мікрофакельних технологій спалювання та шляхи підвищення ефективності печей малої потужності.

Ключові слова: струменево-нишева система, низькотемпературна піч, топковий процес, паливний пристрій вихрового типу, імпульсний режим.

Постановка проблеми.

Складна геополітична ситуація в Україні та у світі потребує максимально ефективної експлуатації вогнетехнічних об'єктів з виконанням вимог до економічності, екологічності та надійності роботи обладнання. У зв'язку з цим одним із аспектів підвищення рівня ефективності є вдосконалення стадій робочого процесу ПП (роздача пального в потоці окислювача; утворення паливної суміші; підпал паливної суміші; стабілізація процесу горіння та формування полів швидкості, температури та концентрації продуктів спалювання). Це дає змогу:

- знизити споживання газу за рахунок зменшення питомих витрат, що позначиться на зниженні собівартості продукції;

- гарантувати температурну рівномірність у топковому просторі, що підвищить якість продукції;

- покращити екологічні показники роботи печі до рівня міжнародних норм;

- підвищити надійність роботи пічного обладнання, що відчутно позначається на збільшенні його міжремонтного періоду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Спалювання органічного палива забезпечує понад 90% світової потреби у первинній енергії. При цьому має місце суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище. Тому до кожного проекту пред'являються підвищені вимоги з точки зору екологічної безпеки. Аналіз робіт іноземних авто-

рів свідчить, що в останні роки було проведено багато досліджень екологічно безпечних та ефективних технологій спалювання. У нашій роботі приділяється увага організації топкових процесів у пекарських печах малої потужності, що працюють на газоподібному паливі в діапазоні низьких температур, з використанням імпульсного режиму пальників. На думку авторів статті [1], такий режим роботи є одним з найбільш перспективних. У статті [2], присвяченій імпульсному управлінню пальниками, стверджується, що одна з головних функцій будь-якої системи управління горіння – це регулювання підведення тепла відповідно до потреб процесу. Під час імпульсного горіння підведення тепла регулюється модуляцією частоти включення в роботу пальника або кількох пальників. ПП працюють у режимі "великого" горіння протягом контрольованого проміжку часу і потім циклічно перемикаються в режим "малого" горіння або повністю вимикаються. Цей цикл повторюється досить часто. При цьому проміжок часу, коли пальник працює в режимі "великого" горіння, потім в режимі "малого" горіння або відключений, керується процесорним контролером. Таким чином, імпульсне горіння може бути назване частотно-модульованим горінням. Кожен пальник керується незалежно від інших пальників, що на думку авторів збільшує гнучкість та точність керування. Для забезпечення широкого діапазону зміни теплової потужності, пальниковий пристрій з обмеженим недостатнім діапазоном коефіцієнта робочого регулювання, повинен працювати в імпульсному режимі.

Традиційним системам спалювання, як правило, необхідно працювати в діапазоні між "великим" та "малим" горінням. Це – пропорційне спалювання, або амплітудно-модульоване спалювання. Зазвичай кілька пальників, які жорстко прив'язані системою автоматики один до одного, розпалюються і контролюються як група в цій системі. На перший погляд може здатися, що така система може забезпечити надійне та гнучке управління організацією топкового процесу. Незважаючи на зростання інтересу до технології імпульсного спалювання, відомості про її сучасний рівень ефективності значною мірою відсутні в літературі. Виникають сумніви щодо забезпечення рівномірності температурного поля у топковому просторі та надійності роботи складної та дорогої системи регулювання та контролю роботи печі.

За тематикою роботи у доступній літературі є інформація, яка вказує на шляхи організації топкових процесів з широким діапазоном регулю-

вання теплової потужності. Наприклад у роботі [3] описана модернізація котла ПТВМ-30 з застосуванням струменево-нишевої технології спалювання, метою якої було скорочення терміну сушіння футеровки після ремонту амбразур та інших елементів котла. При цьому потрібно було витримувати необхідний температурний рівень і рівномірність температурного поля продуктів спалювання в топковому просторі. Це робиться для того, щоби уникнути закипання вологі всередині футерування і порушення її цілісності. По нормативам для сушіння футеровки в топку котла завантажуються і спалюються дрова. Такий регламентований спосіб незручний, об'єкт висихає тривалий час та якість сушіння залишає бажати кращого. Вперше сушіння котлів ПТВМ-30 було здійснено за допомогою пальникового пристрою СНТ. Усі 6 пальників розпалилися при тиску газу 2-3 мм в.ст. при мінімальній тепловій потужності, що забезпечило середній температурний рівень у топці (близько 100°C). Завдяки цьому три котли було якісно висушено за кілька днів.

Постановка завдання. З метою підвищення рівня ефективності організації топкового процесу в печах з виробництва кексів та вафель до науково-виробничого підприємства (НВП) «СНТ» звернулося керівництво компанії «HAAS FOOD EQUIPMENT GmbH» – однієї з найбільших у світі виробників низькотемпературних кондитерських печей, фабрики якої розташовані на п'яти континентах.

Керівництво кондитерської фабрики «Домінік» (м. Полтава) також запропонувало НВП «СНТ» розглянути можливість підвищення рівня ефективності організації топкового процесу низькотемпературної турецької печі GOCMAN, яка виробляє вафельні листи з дотриманням міжнародних норм екологічності, надійності та економічності роботи печі.

Для вирішення поставлених завдань сформульовані наступні етапи робіт:

- організація та проведення ретельних еколого-теплотехнічних досліджень топкового процесу промислового зразка печі зі штатними ПП, працюючими в імпульсному режимі;
- розробка та створення експериментального стенда для дослідження модулів ПП на основі струменево-нишевої системи (СНС);
- розробка методики експериментальних досліджень :
 - штатних пальників вихрового типу, що працюють в імпульсному режимі і також ПП, що працюють на основі мікрофакельної технології

спалювання (екологічні характеристики, повнота вигорання, стійкість горіння);

- робочого процесу модуля ПП (стійкість горіння, діапазон регулювання, довжина факела, поля температури);

- пального пристрою в лабораторних умовах (стійкість горіння, діапазон регулювання, довжина факела, поля температури).

- проведення експериментальних досліджень модулів ПП на основі струмнево-нишевої системи (СНС);

- проведення математичного моделювання робочого процесу модулів ПП на основі струмнево-нишевої системи (СНС);

- розробка та експериментальне дослідження еколого-теплотехнічних характеристик робочої моделі ПП на основі СНС;

- проведення комплексних еколого-теплотехнічних досліджень топкового процесу низькотемпературної печі, організованого за допомогою нового ПП, що реалізує основні засади струмнево-нишевої технології.

Методики, що використовуються у наших дослідженнях, багато років розроблялися, апробувалися та вдосконалювалися у лабораторії горіння [4,5] теплоенергетичного факультету Київського політехнічного інституту.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Дослідження проведені на низькотемпературних печах: кондитерська піч для випічки кексів (фабрика НААС-МЕЙНСКЕ; Данія) та кондитерська піч для випічки вафельного листа (фабрика ДОМИНИК; Полтава; Україна).

Дослідження на датській фабриці НААС-МЕЙНСКЕ проводилися на трьох робочих режимах дослідної низькотемпературної печі зі штатним класичним пальником вихрового типу.

Теплова потужність печі для випічки кексів знаходиться у діапазоні від 35 кВт до 200 кВт.

Для цього пального пристрій, що забезпечує організацію ефективного топкового процесу досліджуваних режимів роботи печі повинен мати коефіцієнт регулювання (K_p) близько к 10 і забезпечувати температурний рівень у топковому просторі в діапазоні від 180 °С до 220 °С залежно від технологічного режиму роботи печі.

У зв'язку з необхідністю досягнення широкого діапазону зміни теплової потужності, пального пристрій, будучи обмеженим недостатнім діапазоном коефіцієнта робочого регулювання, працював в імпульсному режимі. Тобто робота пальника складалася з циклів, що постійно чергуються: включення та вимикання пальника – залежно від досліджуваного режиму, приблизно раз на 2,5 хвилини. На основі отриманих результатів досліджень були визначені дані цикли в масиві даних і кожен з них був детально описаний.

Для визначення якості процесу спалювання газу в ПП вихрового типу в імпульсному режимі розглянемо виміряні дані за показаннями коефіцієнта надлишку повітря «Lambda», отриманому під час вимірювання газоаналізатором Testo 330 – 2L у часовому інтервалі (рис. 1) першого режиму. Відбір проб продуктів згоряння у вихлопному газоході для газового аналізу здійснювався інтегруючим зондом, що забезпечував усереднення показників.

Виходячи з побудованого графіку видно, що кожному часовому інтервалу режиму відповідає певна кількість, ідентичних між собою циклів.

Для визначення роботи ПП в кожному з відрізків циклу (насамперед щодо витрати газу), нами бралися часові інтервали виміру кожного з характерних проміжків (рис. 3). Потім, за даними щосекундного вимірювання газу, визначалася витрата газу на даному інтервалі.

Штатний пального пристрій вихрового типу що здійснює організацію топкового процесу печі

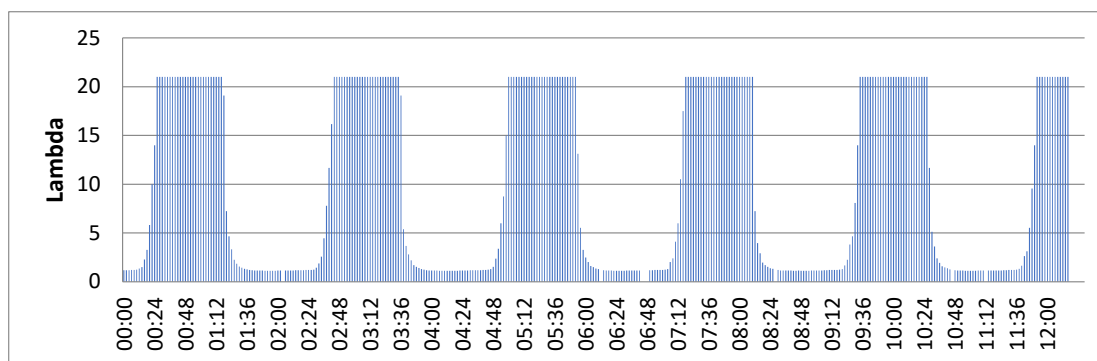


Рис. 1. Зміна Lambda в процесі роботи пальника у часовому інтервалі першого режиму (736 секунд)

(рис. 4; рис. 5), від самого початку не здатен генерувати температури нижче 300°C, в зв'язку з недостатнім діапазоном регулювання потужності.

Пальник починає швидко набирати температуру у продовженні зони В – зони стійкого горіння. Досягши максимальної технологічної температури в топковому просторі, автоматика печі відключає пальник: горіння відсутнє, починається зона С у якій спостерігаються максимальні втрати метану.

Коли датчики фіксують мінімально допустиму технологічну температуру, автоматика знов включає пальник. Включення та відключення ПП відбувається з чітким часовим інтервалом. Тобто спостерігається імпульсний режим, при якому ПП, згідно з отриманими та обробленими результатами вимірювань, працює в режимі оптимального навантаження лише 40 відсотків вибіркового часового інтервалу. У перехідних зонах А та СО зафіксовано наявність метану та наднормативні

викиди окису вуглецю (рис. 6) в продуктах згорання.

Таким чином, наші дослідження, проведені на промислової кондитерської печі фабрики «НААС-МЕЙНСКЕ», дали повну характеристику роботи ПП працюючому в імпульсному режимі:

- нестабільні показники температурного рівня, що впливають на якість виробленої продукції;
- неповне спалювання палива;
- низький рівень екологічних показників (високий рівень емісії токсичних речовин: CO, CH₄);
- вузький діапазон регулювання теплової потужності;
- вплив на надійність роботи печі через часті відключення ПП, що приводить до передчасного зношення елементів системи контролю и регулювання роботи печі.

Отримані дані добре корелюються з результатами досліджень роботи дослідної турецької

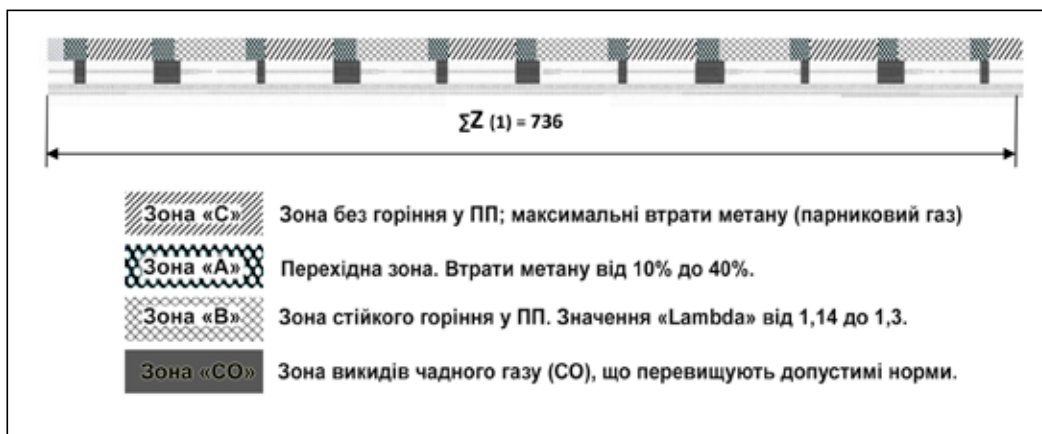


Рис. 3 Схема розподілу зон втрати метану та зон з наднормативними викидами CO



Рис. 4. Штатний пальник вихрового типу



Рис. 5. Нагрівальний модуль дослідної низькотемпературної печі на датській фабриці НААС-МЕЙНСКЕ

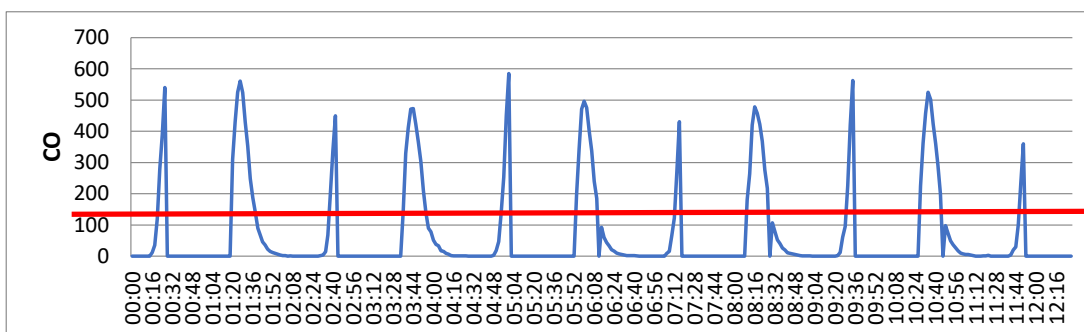


Рис. 6 Зміна викидів CO в процесі роботи пальника у часовому інтервалі першого режиму

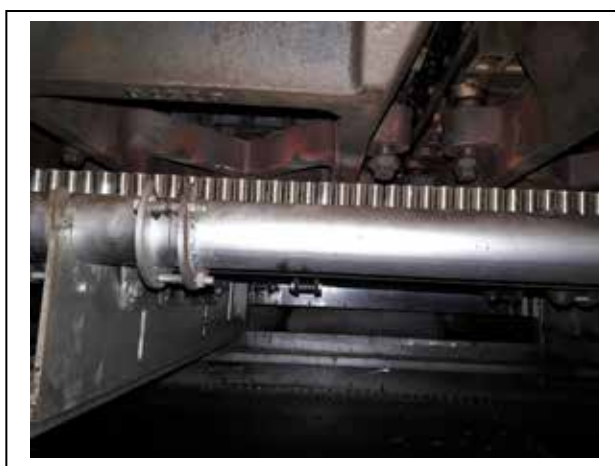


Рис.7. Ряд пальників-форсунок

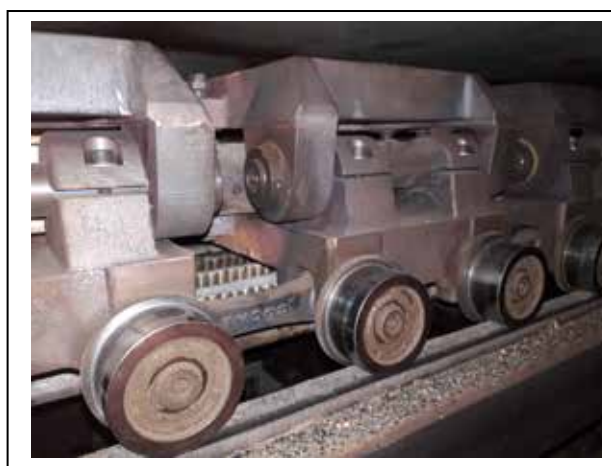


Рис. 8. Підшипники-шасі

низькотемпературної печі «ГОСМАН» з мікрофакельною технологією організації топкового простору. Піч не набирає необхідної температури навіть при 70% паспортної теплової потужності. Ця проблема негативно відбивається на технічному стані печі, на екологічності та економічності її роботи та найголовніше на якості готового продукту.

Результати дослідження застосування мікрофакельної технології при організації топкового процесу низькотемпературної вафельної печі:

- нестабільні показники температурного рівня в результаті зриву факела на окремих пальниках-форсунках (Рис. 7) горіння приводять до зниження якості продукції (ламкий, пересушений вафельний лист);
- в зв'язку з тим, що забиваються сажею окремі пальники-форсунки зафіксовано відсутність факела на цих пальниках. Це веде до перевитрати палива;
- низькі екологічні показники (CO понад 5000мг/м³);

• малі міжремонтні періоди роботи печі (довгий факел призводить до частого виходу з ладу підшипників (Рис. 8), що виконують функцію шасі в каретках із заготовками з тіста).

Висновки: Наші дослідження традиційних, поширених пальникових пристроїв, що використовуються у даних низькотемпературних печах, підтвердили недоліки застосування в цих випадках існуючих вихрових технологій, працюючих в імпульсному режимі, та мікрофакельних технологій спалювання. Огляд сучасних технологій показав, що існує струменево-нишева [6,7,8,9,10] технологія спалювання газу яка може дозволити організувати ефективний топковий процес для печей малої потужності, працюючих у діапазоні низьких температур.

Результати проведених нами досліджень і створений на базі даних результатів новий тип ГУ може бути високоефективною альтернативою ГУ вихрового типу, що використовуються в імпульсному режимі в промислових печах більшої потужності та різного застосування.

Список літератури:

1. Meng X., de Jong W., Kudra T. A state-of-the-art review of pulse combustion: Principles, modeling, applications and R&D issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. No. 55(C). P. 73–114.

2. Бирюков А.Б., Гнитиев П.А. Изучение гидродинамических параметров работы устройств, предназначенных для создания низкочастотного пульсирующего расхода газообразных сред. *Металл и литье Украины*. 2014. № 2 (249). С. 32–35.
3. Способы повышения эффективности огнетехнических объектов / М.З. Абдулин та ін. *Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта*. 2011. № 26. С. 107–111.
4. Абдулин М.З. Применение струйно-нишевой технологии сжигания топлива в энергетических установках. *Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ"*. 2005. № 6. С. 130–144.
5. Абдулин М.З. Струйно-нишевая система смесеобразования и стабилизации пламени : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 144. Київ, 1986. 18 с.
6. Струйно-нишевая технология сжигания топлива – основа надежной работы огнетехнического оборудования / М. Абдулин та ін. *Третья Международная научно-практическая конференция «Энергоэффективность крупного промышленного региона»*. Сборник научных трудов. 2008. С. 18–24.
7. Горбань К. С., Сірий О.А., Абдулін М.З. Возможности влияния струменевно-нішевої технології на екологічні та експлуатаційні параметри вогнетехнічного об'єкта. *Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Сер. : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Power and Heat Engineering Processes and Equipment : зб. наук. пр.* 2021. Т. 6, № 2. С. 10–14.
8. Абдулін М.З, Сірий О.А, Горбань К.С. Взаємозв'язок робочого процесу пального пристрою на основі струменевно-нішевої технології спалювання газу з екологічними аспектами роботи вогнетехнічних об'єктів. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2019. № 1. С. 63–69.
9. Абдулин М.З., Сірий О.А. Дослідження енергетичних показників струменевно-нішевої системи спалювання палива. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. 2018. № 12(1288). С. 89–94.
10. Особенности аэродинамики пальных устройств с цилиндрическими стабилизаторами полум'я за наявності турбулізаторів потоку на їхніх зривних кромках / Н. М. Фіалко та ін. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. 2016. № 252. С. 52–61.

Bietin Yu.O., Abdulin M.Z. FEATURES OF THE ORGANIZATION OF THE FURNACE PROCESS IN LOW-POWER FURNACES OPERATING IN THE LOW-TEMPERATURE RANGE

A review of research on combustion processes of industrial furnaces showed that there are a significant number of them for high-temperature and medium-temperature furnaces. However, there is a lack of understanding of furnace processes in low-temperature low-power furnaces.

For high-temperature furnaces, temperature unevenness of tens of degrees in the furnace space is allowed. At the same time, the permissible level of unevenness is much lower for low-temperature furnaces. This applies to the baking ovens of the food industry, where a low level of temperature occurs with a temperature range from 150 °C to 300 °C. Minimal fluctuations in the average temperature level are also expected. In addition, in low-temperature low-power furnaces, edge effects manifest themselves more clearly. When the furnace space is reduced, the ratio of its dimensions and the geometry of the boundary layers (thermal and aerodynamic) becomes significant compared to the furnace volume of large furnaces. For small furnaces, it is necessary to reduce the geometric parameters of the elements of the burner device (BD) and, accordingly, the diameters of the gas supply holes. This fact affects the aerodynamics of the development of the jet system, the structure of the flow in the BD. And this, in turn, affects the quality of the mixture formation of the fuel mixture and the stabilization of combustion in BD.

Global manufacturers of low-temperature ovens for the food industry faced these problems. The article focuses on low-power furnaces that operate on gaseous fuel in the low temperature range. A study of traditional, common burner devices used in these low-temperature furnaces was conducted. The most important stage of the work was the study of full-time BDs operating in pulse mode. Impulse mode is one of the main modes of operation of furnaces, which appeared as a result of the limited range of operating regulation of BD. Disadvantages of using existing vortex and microflare burning technologies in these cases were revealed.

Key words: jet-niche system, low-temperature furnace, furnace process, vortex-type burner device, pulse mode.

Босий М.В.

Центральнотукраїнський національний технічний університет

СПРОЩЕНА МОДЕЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ГІДРАТОУТВОРЮЮЧОГО ШАРУ ГАЗОГІДРАТУ МЕТАНУ

Натепер газогідрат метану – це альтернатива існуючим природним органічним енергоресурсам. У даній статті розглядається проблема моделювання теплових процесів в гідратоутворюючому шарі газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина». Нині відсутні дані і повне розуміння фізичних процесів утворення газогідратів газових сумішей при стискуванні природного газу, особливо метану, в теплотехнологічних системах та установках, в яких застосовується газогідратна технологія. Особливістю даної задачі є змінний розмір області, в якій досліджується температурне поле гідратоутворення на поверхні розділу фаз «газ-рідина». Це є слідством того, що маємо рухомию границю розділу фаз «газ-рідина». Тому, вивчення поведінки температурного поля в процесі утворення газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина» з часом в трубі циліндричної форми і складає основну мету задачі. Загальні аналітичні рішення цієї задачі при довільній формі області утворення газогідратів і різних температурних режимах на границі розділу фаз «газ-рідина» не відомі. А розробка математичного моделювання теплових процесів в гідратоутворюючому шарі газогідрату метану і чисельного аналізу є актуальною науковою проблемою. Запропонована і побудована спрощена теоретична модель, яка описує процес розподілу температури в гідратоутворюючому шарі газогідратів метану $(\text{CH}_4 \cdot \text{H}_2\text{O})_{\text{гідрат}}$ на поверхні розділу фаз «газ-рідина». Показано, що дана модель, хоча із припущеннями, достатньо добре описує процес утворення газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина» в трубах циліндричної форми. Приведені рівняння, за якими визначаються температури в гідратоутворюючому шарі і в твердому тілі гідрату метану. Таким чином, за допомогою математичного моделювання з використанням чисельних методів одержано розрахункові дані та побудовано графік розподілу температурного поля у гідратоутворюючому шарі газогідратів метану в умовах фазоперехідних процесів на поверхні розділу фаз «газ-рідина».

Ключові слова: теоретична модель, температура, тиск, гідратоутворюючий шар, утворення газогідрату метану, теплота гідратації.

Постановка проблеми. Нині газогідрати дуже широко використовуються в різних галузях промисловості, в системах охолодження та кондиціювання повітря, при регенерації, акумулюванні холоду та розділенні сумішей технічних газів, при транспортуванні газу в газогідратному стані та в теплотехнологічних системах та установках стискування газу [1-10]. Дослідження процесу утворення газогідратів в газовому і рідкому середовищі в теплотехнологічних системах та установках стискування газу має велике значення для розвитку газогідратної технології [11, 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес утворення газогідратів ще не повністю вивчений. Вважається, що зазначений процес подібний до замерзання води, тому що утворення кристалічної решітки в обох випадках є результат водневих зв'язків між молекулами води. Є твердження, що газогідрати утворюються з газу або летючої органічної рідини і рідкої води за аналогією з кристалізацією із пересиченого розчину або з затвердінням переохолодженого розплаву і рекомендують

на процес гідратації перенести загальні закономірності, властиві явищу кристалізації. Є теорія, яка стверджує, що утворення газового гідрату відбувається при переохолодженні з утворенням первинної гідратної оболонки на поверхні розділу фаз «газ-рідина». Потім починається зростання газового гідрату всередині оболонки. Отже зростання гідрату обмежене щодо повільного перенесенням теплоти через граничний шар. Існує також твердження, що утворення газогідратів являє собою фізико-хімічний процес утворення нестехіометричного клатратного з'єднання [13-16].

Газогідрат – це природна або штучна тверда сполука включення, де молекули гідратоутворюючого газу втиснуті в порожнини кристалічної решітки води без хімічного зв'язку їхніх молекул [13-16] (рис. 1).

В роботах [14-16] експериментально підтверджено утворення газогідрату метану $(\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O})_{\text{гідрат}}$ в системі $\text{H}_2\text{O} - \text{CH}_4$.

При дослідженні утворення газогідрату метану виникає необхідність у визначенні температурного

поля процесу гідратоутворення з урахуванням визначених параметрів. Таким чином, питання по дослідженню температурного поля в процесі утворення газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина». вимагає більш детального дослідження.



Рис. 1. Зображення структури газогідрату (клатрату)

Постановка завдання. Мета роботи полягає у дослідженні температурного поля в процесі утворення газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина» в трубі циліндричної форми.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розв'язання даної задачі здійснюється моделюванням температурного поля в процесі утворення газогідратів метану з використанням чисельних методів.

Розглянемо у загальному вигляді утворення газогідрату метану, коли гідратоутворювач розчинений у воді, при цьому газогідрати утворюються на поверхні розділу фаз «газ-рідина» в трубі циліндричної форми.

Утворення газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина» відбувається при відповідних термодинамічних умовах і сталій швидкості в газовому потоці. На поверхні розділу фаз «газ-рідина» газогідрати утворюють шар у вигляді гідратних частинок, який з часом збільшується. Під час утворення газогідрату метану відбувається зміна гідродинаміки рідкої фази і теплоти утворення газогідрату. Газогідрати утворюються при тиску охолодження, який перевищує тиск рівноваги. Утворення газогідрату регулюється температурою рідини, а теплота гідратації відводиться холодоносієм [17-19].

Процес утворення гідратних частинок наступний. Гідратоутворення являє собою в основному гетерогенний процес на поверхні розділу фаз «газ-рідина» утворюються гідрати «кластери» клатратоподібної структури, які формуються із молекул води і газу. Далі частина «кластерів» гідратів збільшується та розростається до досягнення критичних розмірів (за оцінками $r_{кр.} = 10^{-8} - 10^{-7}$ м)

утворюючи зародки. Після цього з урахуванням підвищення тиску над рівноважною кривою гідратоутворення в системі «метан-вода» починається зростання гідратних частинок газогідрату метану.

На поверхні кристала утвореного газогідрату метану виділимо рухомий шар, який складається з частинок гідратоутворюючої речовини CH_4 і рідкої фази. Таким чином, маємо двошарове середовище, одна з границь якого є рухомою. Під цією границею знаходиться шар, який складається з висококонцентрованої гідратоутворюючої фази, включаючи дрібні включення. Далі за цим шаром знаходиться поверхня газогідрату, а над рухомою границею рідка фаза. Розглянемо зміну температури з часом в гідратоутворюючому шарі і в твердому тілі газогідрату.

При моделюванні теплових процесів утворення газогідрату метану $(CH_4 \cdot 6H_2O)_{гидрат}$ на поверхні розділу фаз «газ-рідина» в трубі циліндричної форми взяті такі припущення:

а) передача теплоти відбувається теплопровідністю;

б) теплофізичні властивості фаз «газ-рідина»: теплопровідність, теплоємність, густина не залежать від температури;

в) передача теплоти на граничній поверхні відбувається у відповідності з граничними умовами першого роду;

г) внаслідок того, що досліджувальне тіло нескінченне, маємо одновимірну задачу;

д) припустимо, що температура рідкої фази однакова і не змінюється в процесі теплообміну нижче температури утворення газогідрату.

е) припустимо, що шар газогідратів розглядається як термічно тонке тіло нескінченної пластини.

З урахуванням цих припущень модель температурного поля в гідратоутворюючому шарі, який прилеглий до поверхні газогідрату описується диференціальним рівнянням теплопровідності Фур'є.

$$c \cdot \rho \frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial T(z,t)}{\partial z} \right], \quad 0 < z < \xi(t), \quad t > 0. \quad (1)$$

Початкова умова

$$T(z,0) = T_n. \quad (2)$$

Граничні умови

$$T(0,t) = T_0; \quad (3) \quad T(\xi(t),t) = T_c, \quad (4)$$

де T, z, t – відповідно поточна температура, К; координата нормальна до поверхні газогідрату, м; час, с; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К); c – теплоємність, Дж/(кг·К); ρ – густина, кг/м³; $\xi(t)$ – товщина граничного шару навколо газогідрату, м; T_n, T_0, T_c – відповідно температури: початкова, граничної поверхні, середовища, К.

Рівняння (1)...(4) являють собою модель, яка описує температурне поле шару прилеглого до поверхні газогідрату при граничних умовах першого роду. Для розв'язання даної задачі вигідно користуватись безрозмірними величинами: температурою, часом, товщиною, які визначаються з таких співвідношень

$$\theta(X, \tau) = \frac{T(z, t) - T_c}{T_n - T_c}; \tau = F_0 = \frac{at}{\xi^2}; X = \frac{z}{\xi}. \quad (5)$$

Тоді крайова задача (1)...(4) з урахуванням (5) має такий вигляд

$$\frac{\partial \theta(X, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 \theta(X, \tau)}{\partial X^2}; 0 < X < 1; \tau > 0; \quad (6)$$

$$\theta(X, 0) = 1; \quad (7)$$

$$\theta(0, \tau) = 0; \quad (8)$$

$$\theta(1, \tau) = 0. \quad (9)$$

Для крайової задачі (6)...(9) точний розв'язок має наступний вигляд

$$\theta(X, \tau) = 2 \sum_{m=1}^{\infty} (-1)^{m+1} \frac{1}{\mu_m} \cos(\mu_m X) e^{-\mu_m^2 \tau}, \quad (10)$$

де $m = 1, 2, 3, \dots$ – число членів ряду; $\mu_m = \pi/2(2m-1)$ – корні трансцендентного рівняння.

Найбільш ефективним алгоритмом розв'язання цієї задачі є метод сіток [20], або кінцево-різнице-вий метод [21].

З рівняння (6), прирівнявши між собою першу і другу часні похідні, після спрощень, отримаємо

$$-\frac{1}{\sigma} \theta(i, j) = \theta(i-1, j+1) + \left(2 + \frac{1}{\sigma}\right) \theta(i, j+1) + \theta(i+1, j+1), \quad (11)$$

де $i = 2, \dots, N-1$; $j = 2, 3, \dots, k$.

Для нульового вузла (при $X = 0$), маємо

$$-\frac{1}{\sigma} \theta(1, j) = 2\theta(2, j+1) - \left(2 + \frac{1}{\sigma}\right) \theta(1, j+1). \quad (12)$$

З граничної умови (9), отримаємо

$$\theta(N, j+1) = 0. \quad (13)$$

Рівняння (11) і (12) не дозволяють в явному вигляді розрахувати значення функції $\theta(X, \tau)$ на $(J+1)$ -му часовому шарі.

Згідно початковій умові нам відома температура на першому часовому шарі ($i = 1, 2, \dots, N$; $j = 1$), а згідно граничній умові $\theta(1, \tau) = 0$, відома температура на правому гідратоутворюючому шарі ($i = 1, j = 2, 3, \dots, k$). Відповідно, для кожного часового шару ($j = 2, 3, \dots, k$) маємо N точок і N

алгебраїчних рівнянь. Неявна різницева схема є стійкою при будь-якому значенні параметра $\sigma = \Delta\tau/\Delta X^2$, що дозволяє вибрати $\Delta\tau$ і ΔX незалежно один від одного.

Для другого часового шару система алгебраїчних рівнянь має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \theta(9,2) &= 0 \\ \theta(8,2) &= [\theta(7,2) + 1/\sigma\theta(8,1) + \theta(9,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(7,2) &= [\theta(6,2) + 1/\sigma\theta(7,1) + \theta(8,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(6,2) &= [\theta(5,2) + 1/\sigma\theta(6,1) + \theta(7,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(5,2) &= [\theta(4,2) + 1/\sigma\theta(5,1) + \theta(6,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(4,2) &= [\theta(3,2) + 1/\sigma\theta(4,1) + \theta(5,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(3,2) &= [\theta(2,2) + 1/\sigma\theta(3,1) + \theta(4,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(2,2) &= [\theta(1,2) + 1/\sigma\theta(2,1) + \theta(3,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \\ \theta(1,2) &= [1/\sigma\theta(1,1) + 2\theta(2,2)] \frac{1}{2+1/\sigma} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Систему лінійних алгебраїчних рівнянь (14), при урахуванні їх специфічної форми, можна розв'язати спеціальним економічним методом прогонки.

$$\theta(i, j+1) = a(i)[b(i) + \theta(i+1, j+1)], \quad (15)$$

де $a(i)$, $b(i)$ – деякі константи. Відповідно з рівняння (15), маємо

$$\theta(i-1, j+1) = a(i-1) \left[\frac{b(i-1) + \theta(i, j+1)}{1 + \theta(i, j+1)} \right]. \quad (16)$$

Підставивши рівняння (16) в рівняння (11), отримаємо

$$a(i-1) [b(i-1) + \theta(i, j+1)] - \left(2 + \frac{1}{\sigma}\right) \times \times \theta(i, j+1) + \theta(i+1, j+1) = -\frac{1}{\sigma} \theta(i, j) \quad (17)$$

З рівняння (17) маємо

$$\theta(i, j+1) = \frac{a(i-1) b(i-1) + 1/\sigma \theta(i, j) + \theta(i+1, j+1)}{2+1/\sigma - a(i-1)}. \quad (18)$$

При порівнянні рівняння (18) з (15), маємо

$$a(i) = \frac{1}{2+1/\sigma - a(i-1)};$$

$$b(i) = a(i-1)b(i-1) + 1/\sigma\theta(i, j). \quad (19)$$

З рівняння (12) отримуємо

$$\theta(1, j+1) = \frac{2[1/2\sigma\theta(1, j) + \theta(2, j+1)]}{2 + 1/\sigma}. \quad (20)$$

При порівнянні між собою рівнянь (20) і (15), виконаємо “прогонку” в прямому напрямленні і визначимо дві послідовності чисел – $a_1, a_2, a_3, \dots, a_N$ і $b_1, b_2, b_3, \dots, b_N$. За рівняннями (13) і (15) робимо “прогонку” в зворотньому напрямку і знаходимо значення функції в усіх вузлах сітки:

$$\left. \begin{aligned} \theta(N, J+1) &= 0 \\ \theta(N-1, J+1) &= a(N-1)[b(N-1) + \theta(N, J+1)] \\ \theta(N-2, J+1) &= a(N-2)[b(N-2) + \theta(N-1, J+1)] \\ \dots\dots\dots \\ \theta(1, J+1) &= a(1)[b(1) + \theta(2, J+1)] \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Відповідно, наведено метод переходу від J -го часового шару до наступного $(J+1)$ -го шару. Якщо відома температура в початковому шарі і на правому гідратоутворюючому шарі, то можна крок за кроком визначити значення температури в усіх точках сітки $(X_{i,j})$.

Розв’язок крайової задачі (7-9) зводиться до визначення температури $\theta(X, \tau)$ в області $0 < X < 1$, яка являє собою шар твердої фази газогідрату чисельним методом сіток за неявною різницевою схемою з використанням методу прогонки.

Аналіз результатів наступний: в процесі чисельного моделювання визначалась температура в гідратоутворюючому шарі газогідратів метану. Теплофізичні властивості газогідрату метану і його гідратоутворюючого шару взяті за даними [1, 2, 9, 10, 15, 16]: $\lambda_{гидр.} = 0,55$ Вт/м·К – коефіцієнт теплопровідності газогідрату метану; $\rho_{гидр.} = 910$ кг/м³ – густина газогідрату метану; $\rho_{вг.с.} = 981$ кг/м³ – густина водогідратної суміші; $\Delta H_{гидр.} = 3785$ кДж/кг – прихована теплота утворення газогідрату метану [15]; $T_{гидр.} = 288$ К – температура утворення газогідрату метану; $P_{гидр.} = 7,5$ МПа – тиск утворення газогідрату метану; $R = 120$ мкм – розмір газогідрату метану. На рис. 2 наведено результати розрахунку

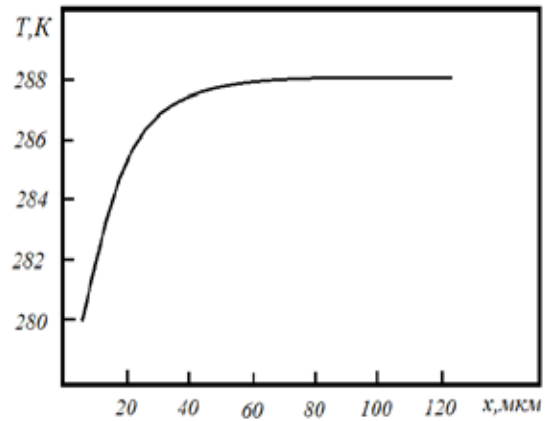


Рис. 2. Розподіл температури в гідратоутворюючому шарі та газогідрату метану на основі чисельного рішення при $T_{гидр.} = 288$ К; $P_{гидр.} = 7,5$ МПа

розподілу температури в гідратоутворюючому шарі газогідрату метану на основі чисельного рішення.

Отримані результати розрахункових даних з достовірною точністю співпадають з експериментальними даними [15], що дає можливість зробити висновок про узгодження розрахункових і експериментальних даних, тобто, адекватність запропонованої моделі.

Висновки

1. Таким чином, в даній роботі запропонована модель температурного поля утворення газогідрату метану на поверхні розділу фаз «газ-рідина» в трубі циліндричної форми і на її основі наведена система рівнянь, що характеризує умови протікання процесу утворення газогідрату метану з визначенням температурного поля для гідратоутворюючого шару, який прилеглий до поверхні газогідрату.

2. Розроблено алгоритм розв’язання моделі чисельним методом сіток за неявною різницевою схемою з використанням методу прогонки. Використання цієї методики дозволяє дослідити температурне поле в гідратоутворюючому шарі гідрату метану в умовах фазоперехідних процесів на поверхні розділу фаз «газ-рідина».

Список літератури:

1. Босий М.В., Клименко В.В. Магопєць С.О., Гарасьова Н.Ю., Овчаренко А.О. Підвищення ефективності автомобільної газонаповнювальної компресорної станції шляхом застосування газогідратного акумулятора. *Refrigeration Engineering and Technology*. 2021. 57(1). С.45-54.
2. Босий М.В., Клименко В.В. Транспортування природного газу в газогідратному стані. *Розвиток транспорту*. ОНМУ. 2022. С.129-142.
3. Клименко В.В., Босий М.В., Парафійник В.П., Прилипко С.О. Газотурбінний привід з газогідратним дотискувачем паливного газу // *Холодильна техніка та технологія*. 2014. №4(150). С. 37-40.
4. Онищенко В.О., Клименко В.В. Застосування газогідратних технологій в нафтогазовій промисловості // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2011. № 4(41). С. 5-8.

5. Жук Г.В., Пятничко А.И., Крушневич В.Т., Федоренко Д.С. Метаногидрати: анализ ситуации, исследование свойств, проблемы добычи и транспортирования. *Технические газы*. № 2. 2014. С. 3-10.
6. Тарко Я.Б., Педченко Л.О., Педченко М.М. Перспективи газогідратної технології на ринку морських перевезень природного газу // *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. Івано-Франківськ. 2012. Випуск 2 (43). С. 49-55.
7. Босий М.В., Клименко В.В., Личук В.М. Патент України на корисну модель № 104322. Спосіб забезпечення газотурбінної установки паливним газом на період пуску. дата подання 06.12.2015 опубл. 25.01.2016 р. бюл. №2.
8. Босий М.В., Клименко В.В., Парафійник В.П., Прилипка С.О. Патент України на корисну модель № 105840. Дотискувач паливного газу для забезпечення пуску газотурбінної установки. дата подання 07.10.2015 опубл. 11.04.2016 р. бюл. №7.
9. Клименко В.В., Босий М.В. Патент на корисну модель Україна №134025. Спосіб заправки автомобільного транспорту природним газом. дата подання 10.12.2018 опубл. 25.04.2019. бюл. № 8/2019.
10. Клименко В.В., Босий М.В., Якименко М.С., Мартиненко В.В. Патент на корисну модель Україна № 134041. Компресорна установка для автомобільних газозаправних станцій опубл. 25.04.2019. бюл. № 8/2019.
11. Клименко В.В., Босий М.В., Телюта Р.В. Патент України на корисну модель № 151033. Компресорна установка заправки стиснутим газом автомобільного транспорту. дата подання 30.12.2021 опубл. 25.05.2022 р. бюл. № 21.
12. Босий М.В., Клименко В.В., Телюта Р.В. Патент України на корисну модель № 151334. Спосіб заправки стиснутим природним газом автомобільного транспорту. дата подання 30.12.2021 опубл. 07.07.2022 р. бюл. № 27.
13. Sloan E.D. & Koch C.A. Clathrate hydrates of natural gases. CRC Press. 2008. 752 p.
14. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомин В.И. Газовые гидраты. М: Химия. 1980. 250 с.
15. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М: Недра. 1974. 208 с.
16. Макогон Ю.Ф. Газогидраты, история изучения и перспективы освоения. *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. 2010. № 2. С. 5-21.
17. Клименко В.В., Босий М.В., Аулін В.В., Філімоніхіна І.І., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Енергоефективність заправки автомобільного транспорту стиснутим природним газом при використанні газогідратного аккумулятора. Центральноукраїнський науковий вісник. *Технічні науки*, вип. 4(35). 2021. С. 198-207.
18. Півняк Г.Г., Крижанівський Є.І., Онищенко В.О., Бондаренко В.І., Витязь О.Ю., Зоценко М.Л. Газогідрати. Гідратоутворення та основи розробки газових гідратів: монографія. Дніпропетровськ: Літограф. 2015. 219 с.
19. Кутний Б.А. Розвиток теорії тепломасообмінних процесів при кристалізації та дисоціації газових гідратів: автореф. дис. докт. техн. наук: 05.14.06. Харків. 2021. 34 с.
20. Самарский А.А. Введение в численные методы. М: Наука. 1982. 272 с.
21. Сегерлинд Г. Применение метода конечных элементов. М: Мир. 1979. 510 с.

Bosyi M.V. SIMPLIFIED TEMPERATURE FIELD RESEARCH MODEL HYDRATE-FORMING LAYER OF METHANE GAS HYDRATE

Currently, methane gas hydrate is an alternative to existing natural organic energy resources. This article considers the problem of modeling thermal processes in the hydrate-forming layer of methane gas hydrate at the "gas-liquid" interface. Currently, there is a lack of data and a complete understanding of the physical processes of the formation of gas hydrates of gas mixtures during the compression of natural gas, especially methane, in thermal engineering systems and installations that use gas hydrate technology. A feature of this problem is the variable size of the area in which the temperature field of hydrate formation on the surface of the "gas-liquid" phase interface is investigated. This is a consequence of the fact that we have a moving interface between the "gas-liquid" phases. Therefore, studying the behavior of the temperature field during the formation of methane gas hydrate on the surface of the "gas-liquid" phase interface over time in a cylindrical pipe is the main goal of the problem. General analytical solutions to this problem with an arbitrary shape of the region of gas hydrate formation and different temperature regimes at the boundary of the "gas-liquid" phases are not known. And the development of mathematic modeling of thermal processes in the hydrate-forming layer of methane gas hydrate and numerical analysis is an urgent scientific problem. A simplified theoretical model is proposed and constructed, which describes the process of temperature distribution in the hydrate-forming layer of methane gas hydrates (CH₄-6H₂O) hydrates at the gas-liquid interface. It is shown that this model, although with assumptions, describes quite well the process of formation of methane gas hydrate at the interface of "gas-liquid" phases in cylindrical pipes. The equations used to determine the temperatures in the hydrate-forming layer and in the solid body of methane gas hydrate are given. Thus, with the help of mathematical modeling using numerical methods, calculated data were obtained and a graph of the distribution of the temperature field in the hydrate-forming layer of methane gas hydrates under the conditions of phase transition processes at the interface of the "gas-liquid" phases was constructed.

Key words: *theoretical model, temperature, pressure, hydrate-forming layer, formation of methane gas hydrate, heat of hydration.*

Кірсанова В.В.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Биковець Н.П.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

Чиж С.Г.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПРОЦЕСИ І МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Декарбонізація атмосфери є глобальною екологічною проблемою, для вирішення якої необхідно розробити дешеву та доступну технологію накопичення та зберігання альтернативної енергетики до моменту її подачі в потрібній кількості та у потрібний час.

У наш час ведуться численні дослідження, спрямовані на вдосконалення літій-іонних акумуляторів. Обмежена кількість і зростаюча вартість Li і Co створюють проблеми в першу чергу для великомасштабних додатків.

Акумулятори з електролітами на водній основі є альтернативою для економічно ефективного та масштабованого зберігання енергії з високою питомою потужністю та стійкістю до механічного впливу. Незважаючи на те, що в цій галузі були досягнуті певні успіхи, потрібні значні зусилля щодо підвищення густини енергії/потужності та довготривалої стабільності.

Дослідниками розроблено технології нового покоління з використанням електрохімічних осередків метал-повітря – анод із чистого цинку або заліза та зовнішній катод з повітря. В означеній технології використовується водний або апротонний електроліт. Також розроблена рідинно-повітряна система CRYObattery, технологія зберігання теплової енергії ETES від Siemens Gamesa, теплосховище гарячих порід GridScale та інші технології.

З усієї сукупності запропонованих технологій, які можуть забезпечити тривале зберігання енергії у великих обсягах, для південних регіонів найбільш оптимальною є рідинно-повітряна система накопичення та зберігання енергії Highview Power, відома як CRYObattery. Висока щільність енергії, простота розгортання та відсутність прив'язаності до географічної місцевості є перевагою порівняно з існуючими технологіями збереження альтернативної енергетики. При масовому будівництві сховищ в Україні можливе накопичення великої кількості сонячної та вітрової електроенергії. Накопичена альтернативна енергетика може постачати енергію у будь-який технологічний процес та може бути використана для отримання зеленого водню внаслідок електролізу води. Водень може забезпечувати енергією будь-який технологічний процес, але особливий інтерес він представляє для забезпечення транспорту енергією з нульовим карбоном.

Ключові слова: викиди парникових газів, діоксиду карбону, альтернативна енергетика, літій-іонних акумуляторі, акумулятори з електролітами на водній основі, батареї Form Energy, батареї цинк-повітряні, система CRYObattery.

Постановка проблеми. Останнім часом спостерігається зростання середньої температури на планеті на 1,1°C. Очікується, що протягом найближчих 20 років цей рівень у середньому досягне або перевищить 1,5 градуси. Згідно з прогнозами вчених, у найближчі десятиліття зміни кліматичної системи Землі відбуватимуться у всіх регіонах планети. Вже сьогодні спостерігається прискорення кругообігу води. У той час, коли в одних регіонах спостерігаються інтенсивні опади та пов'язані з цим повені, в інших відзначаються екстремальні посухи.

У прибережних районах у XXI столітті продовжуватиметься тенденція підвищення рівня моря, що, у свою чергу, сприятиме більш частим та сильним повеням у низинних районах. Прогнозується подовження періодів спеки та скорочення періоду холодних сезонів. При глобальному потеплінні на два градуси за шкалою Цельсія постраждає насамперед сільське господарство та посиляться навантаження на систему охорони здоров'я [1].

Збільшення вмісту двооксиду карбону (CO₂) в атмосфері є основною рушійною силою зміни

клімату. Для його стабілізації необхідне скорочення викидів CO₂ до обсягів, які може абсорбувати біосфера. Нині спостерігається істотне зрушення у бік використання відновлюваних джерел енергії, як екологічно стійкої та сприятливої для клімату альтернативної енергетики. Шляхи декарбонізації енергетичних систем значною мірою залежать від накопичення та забезпечення високого рівня гнучкості енергосистем майбутнього [2].

Актуальність дослідження. При впровадженні альтернативної енергетики обмеженими є можливості її акумуляції та зберігання у потрібній кількості, що призводить до необхідності вдосконалення означених методів. Ведуться дослідження, спрямовані на покращення електрохімічних процесів акумуляторів енергії, запропоновано використання нових електродних та більш доступних матеріалів, електролітів та нові технології зберігання, які можуть виробляти акумулятори нового покоління, що дають більший запас енергії, тривалий термін служби та менші матеріальні витрати [3].

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Одним з провідних елементів політики поступового переходу до низьковуглецевого розвитку є Енергетична стратегія України до 2035 р. «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605-р. Внаслідок реалізації завдань, передбачених Енергетичною стратегією до 2035 р., планується досягти зменшення енергоемності ВВП більш ніж удвічі, збільшити використання відновлювальних джерел енергії до 25 % від обсягів загального первинного постачання енергії. Означена стратегія передбачає реформування енергетичного сектора, оптимізацію та інноваційний розвиток інфраструктури та забезпечення сталого розвитку [4].

Новизна. Сонячна та вітрова енергія можуть стати фактично невичерпним джерелом, якщо будуть впроваджені нові технології її акумуляції.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в узагальненні енергетичного потенціалу відновлювальних ресурсів сонячного випромінювання та вітрової енергії в Україні, у разі запровадження новітніх технологій їх акумуляції на території нашої держави.

Викладення основного матеріалу. При аномаліях кліматичної системи Землі, відновлювальні джерела енергії, такі як вітер та сонячна енергія, є надією для людства у вирішенні проблеми глобального потепління. Останнім часом спостеріга-

ється інтенсивніша інтеграція відновлюваної енергії в електричні мережі. Однак, при впровадженні альтернативної енергетики обмеженими є можливості її акумуляції та зберігання в потрібній кількості саме до її подачі, що призводить до необхідності вдосконалення означених методів.

Останнім часом ведуться численні дослідження, спрямовані на вдосконалення літій-іонних акумуляторів (ЛІА), адже обмеження акумуляції відновлюваної енергії пов'язане з недостатньою кількістю саме літію та кобальту в земній корі. Недостатня кількість і зростаюча вартість Li і Co створюють проблеми в першу чергу для великомасштабних додатків [5], [6]. Дослідниками запропоновано використання нових матеріалів для електродів та електролітів, що дозволяють виробляти акумулятори з більшим запасом енергії, тривалим терміном служби та меншими витратами. Вивчаються можливості використання найпоширеніших матеріалів та нові технології зберігання. Зауважимо, що кальцій є двовалентним і може вивільняти і приймати два електрони на один атом, на відміну від літію, та подає напругу, аналогічну літійовому акумулятору. Саме кальцій, рівномірно розподілений в земній корі, є безпечним, нетоксичним та недорогим матеріалом для виробництва акумуляторів. Дослідникам вдалося синтезувати клас нових електролітів з урахуванням спеціальних органічних солей кальцію, що заряджаються за кімнатної температури [5].

Акумулятори з електролітами на водній основі (АВ) є альтернативою для економічно ефективного і масштабованого зберігання енергії з високою питомою потужністю і стійкістю до механічного впливу. Хімічні особливості води зумовлюють нешкідливість для навколишнього середовища, можливість швидкого заряду та потужності високої густини за рахунок іонної провідності водних розчинів.

Однак воді властивий термодинамічний потенціал окиснення [реакція виділення кисню (OER)] та потенціал відновлення [реакція виділення водню (HER)], які відрізняються вузьким діапазоном напруги 1,23 В, що призводить до недостатньої енергоемності АВ [7].

Дослідниками було продемонстровано безліч АВ з іонами таких металів як Li⁺, Na⁺, K⁺, Zn²⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ та Al³⁺. АВ на основі Li⁺ (LiAB) вперше широко розроблялися завдяки міцній дослідній базі звичайних неводних літій-іонних акумуляторів. Натрію і калію більше у природі, ніж літію, АВ з урахуванням Na⁺ (NaAB) і K⁺ АВ вважаються привабливими джерелами енергії,

для великомасштабного її зберігання. Однак радіуси Na^+ (0,95 Å) і K^+ (1,33 Å) набагато більші, ніж у Li^+ (0,60 Å), тому критерій вибору був спеціалізований тільки для кількох з'єднань, що демонструють здатність деінтеркаляції/інтеркаляції Na^+ або K^+ у водному середовищі. Через менший гідратний радіус сольватований K^+ (3,31 Å) електроліт на основі КАВ демонструє набагато більш високу іонну провідність, яка має більш високу швидкість зберігання K^+ , ніж Li^+ і Na^+ [8].

Нові можливості з'являються в багатовалентних іонно-металевих АВ на основі носіїв заряду, таких як Zn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} та Al^{3+} , при цьому використовуються поширені в землі метали, завдяки їхній підвищеній безпеці та високій об'ємній щільності густини енергії. Однак, розробка Mg, Ca та Al-AB призупинилася через жорсткі критерії розміщення їх сольватованих катіонів великого розміру та поганої оборотності при нанесенні/видаленні Mg, Ca та Al [9]. Серед багатоатомних металів найперспективнішим є Zn/Zn^{2+} , для якого оборотність і його окисно-відновний потенціал становить -0,763 В [10]. Означені переваги забезпечили швидкий розвиток АВ на основі цинку за останні 5 років і є потенційним кандидатом для великомасштабного зберігання електроенергії.

Неметалічні носії заряду включають аніони, зокрема гідроксил (OH^-) і галогеніди (F^- і Cl^-) та катіони, такі як протон (H^+) і амоній (NH_4^+) [11], [12]. Привабливість перезаряджуваних АВ на основі іонів неметалів полягає у використанні стійких та поширених носіїв заряду в навколишньому середовищі. Порівняно з носіями заряду на основі іонів металів, іони неметалів забезпечують меншу молярну масу (всього 17 г моль⁻¹ для OH^- , 18 г моль⁻¹ для NH_4^+ та 19 г моль⁻¹ для F^- і H_3O^+), і мають менший розмір гідратованого іона (2,82 Å для H_3O^+ , 3,00 Å для OH^- , 3,31 Å для NH_4^+ , 3,32 Å для Cl^- і 3,52 Å для F^-), в результаті чого при швидкій дифузії у водних електролітах [13] галогенні АВ використовують переваги сольового електроліту, такого як розчин NaCl [14]. У порівнянні з протоном або гідроксонієм NH_4^+ менш корозійно-активний і менш схильний до HER, що може забезпечити чудові циклічні характеристики [15].

АВ стають перспективними системами зберігання енергії для стійких великомасштабних програм. Вони є дешевшими, екологічнішими та безпечнішими. Передові АВ акумулятори потенційно можуть замінити звичайні літій-іонні, нікель-металогідридні та свинцево-кислотні та можуть бути використані у майбутніх автомо-

більних, авіаційних та масштабованих додатків для зберігання мережної енергії. Незважаючи на те, що в цій галузі були досягнуті певні успіхи, потрібні значні зусилля щодо підвищення густини енергії/потужності та довготривалої стабільності.

Технології нового покоління орієнтовані на можливості дешевого і довгострокового зберігання альтернативної енергетики, що дозволить організувати подачу невеликої порції енергії саме тоді й там, де вона найбільше потрібна. З цією метою використовуються електрохімічні осередки метал-повітря, в яких використовується анод із чистого металу та зовнішній катод із повітря. В означеній технології використовується водний або апротонний електроліт. До кінця 2023 року в Міннесоті заплановано завершення будівництва демонстраційного проекту із зберігання електроенергії потужністю 1 МВт/150 МВт-год (150 годин) з використанням нової акумуляторної технології секретного стартапу Form Energy із Массачусетсу. Іншими словами, він може забезпечувати безперервну потужність 1 МВт протягом 150 годин. З цією метою використовується залізно-повітряна батарея, здатна постачати електрику протягом 100 годин при системних витратах, конкурентоспроможних зі звичайними електростанціями і в 10 разів дешевше літій-іонних. Це дешева та безпечна батарея, здатна зберігати енергію протягом тривалого часу [16].

Але батарея Form Energy – не єдина технологія, яка може забезпечити тривале зберігання енергії. Цікавим є повітряно-цинкова батарея канадської компанії Zinc⁸. Так, цинк-повітряні перевершують літій-іонні батареї за ціною і не потребують наявності дорогого літію. Ємність системи Zinc⁸ можна збільшити, збільшивши розмір резервуара для зберігання і обсяг електроліту, що міститься в ньому. Батарея Zinc⁸ використовує електроенергію з мережі для розщеплення хімічного цинку (ZnOH_4) на цинк, воду та кисень, у результаті чого утворюються заряджені частинки цинку, які можуть накопичувати електрику протягом кількох тижнів. Коли потрібна енергія, заряджений цинк з'єднується з киснем повітря (і води), вивільняючи накопичену електрику і виробляючи цинкат, який потім повертається в цикл, щоб знову почати процес. Сам акумулятор складається з трьох частин – «цинкового регенератора», що виробляє заряджені частинки цинку, резервуару для зберігання, який містить електроліт гідроксиду калію (KOH) та заряджений цинк; і блоку живлення, свого роду паливний елемент, який перетворює цинк на цинкат і повертає заряд

назад на мережу [17]. До кінця 2022 року планується запуск чотирьох комерційних пілотних проектів:

- рідинно-повітряна система зберігання Highview Power, відома як CRYObattery, яка вже запущена в комерційну експлуатацію;
- технологія зберігання теплової енергії ETES від Siemens Gamesa, яка в даний час проходить випробування в Гамбурзі;
- теплосховище гарячих порід GridScale компанії Stiesdal Storage Technologies, яке все ще знаходиться на стадії пілотного проекту;
- Мальтійська система розплавленої солі, дочірня компанія Google X також досі перебуває на стадії пілотного проекту. У цій електросистемі електроенергію можна зберігати нескінченно. Можливе її перетворення на зелений водень за допомогою електролізу, а потім назад в електроенергію за допомогою паливного елемента [18].

Головні висновки. Сукупність вищезазначених розробок з акумуляції та зберігання альтернативної енергетики дозволить забезпечити 100% відновлюване електропостачання. При масовому будівництві сховищ сонячної та вітрової енергії у всіх регіонах України можливе накопичення великої кількості електроенергії. Особливий інтерес становить можливість накопичення сонячної енергії у південних регіонах країни. Так, південь Одеської та Херсонської областей є найсонячнішою континентальною територією України. У цих регіонах зосереджена потенційна можливість максимального накопичення сонячної електроенергії.

З усієї сукупності запропонованих технологій, які можуть забезпечити тривале зберігання енергії у великих обсягах, для південних регіонів України найбільш оптимальною є рідинно-повітряна система накопичення та зберігання енергії Highview Power, відома як CRYObattery.

Так, система CRYObattery вже запущена у комерційну експлуатацію, що призвело до появи двох установок накопичувачів енергії на

рідкому повітрі (НЕРП) потужністю 50 МВт у Великій Британії та США, нещодавно представлених тією ж компанією [19], [20]; це будуть перші у світі станції НЕРП, підключені до мережі. Поряд з комерційними розробками було створено низку міжнародних проектів. Наприклад, проект CryoHub [21] і Програма технологічного співробітництва яка підтримує роботу незалежних міжнародних груп експертів, для зберігання енергії (МЭА) [22] для подальшого дослідження, характеристики та розробки технології НЕРП. У цьому контексті рідинно-повітряні накопичувачі енергії НЕРП нещодавно стали можливим рішенням для забезпечення вихідної потужності 10-100 МВт та ємності зберігання ГВтч. Висока щільність енергії, простота розгортання та відсутність прив'язаності до географічної місцевості є перевагою порівняно з існуючими технологіями збереження альтернативної енергетики. Накопичена альтернативна енергетика може постачати енергію у будь-який технологічний процес.

Відзначимо, що особливий інтерес для нашої країни становлять можливості переробки сільгосппродукції, оскільки у літній період можливо інтенсивніше накопичення енергії. Можлива, також організація мікроводоростей та їх переробка, що забезпечить швидкий синтез білків та жирів. Енергетика з нульовим карбоном може бути використана для отримання зеленого водню внаслідок електролізу води. Зелений водень може забезпечити енергією будь-який технологічний процес, але особливий інтерес представляє для забезпечення транспорту енергією.

Перспективи використання результатів дослідження. Проведене дослідження може забезпечити теоретичну основу для аналізу можливостей використання альтернативної енергетики в Україні, запровадженню нових технологій електрохімічного перетворення та зберігання енергії сонця та вітру.

Список літератури:

1. Глобальное потепление связано с деятельностью человека и происходит с беспрецедентной скоростью, Новости ООН. Available at: <<https://news.un.org/ru/story/2021/08/1407862>> (дата звернення: 10.06.2022).
2. Renewable Energy: The Clean Facts. Available at: <<https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts>> (дата звернення: 12.06.2022).
3. B. Dunn, H. Kamath, J.-M. Tarascon, Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science* 2011. №.334, p.928–935 Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22096188/> (дата звернення: 10.06.2022).
4. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року Available at: <https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf>(дата звернення: 20.06.2022).
5. O. Schmidt, A. Hawkes, A. Gambhir, I. Staffell, The future cost of electrical energy storage based on experience rates. *Nature Energy* 2017. № 2, Article number: 17110 Available at: <<https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.110>> (дата звернення: 12.05.2022).

6. D. Larcher, J.-M. Tarascon, Towards greener and more sustainable batteries for electrical energy storage. *Nature Chemist* 2015. №7. p19–29 Available at: <<https://doi.org/10.1038/nchem.2085>>(дата звернення: 12.05.2022).
7. H. Kim, J. Hong, K. Y. Park, H. Kim, S. W. Kim, K. Kang, Aqueous rechargeable Li and Na ion batteries. *Chemical Reviews*. 2014, Vol.114 №23 p.11788–11827 Available at: <<https://doi.org/10.1021/cr500192f>>(дата звернення: 12.05.2022).
8. L. Jiang, Y. Lu, C. Zhao, L. Liu, J. Zhang, Q. Zhang, X. Shen, J. Zhao, X. Yu, H. Li, X. Huang, L. Chen, Y.-S. Hu, Building aqueous K-ion batteries for energy storage. *Nature Energy* 2019 № 4, p. 495–503 Available at: <<https://doi.org/10.1038/s41560-019-0388-0>>(дата звернення: 12.05.2022).
9. J. Ming, J. Guo, C. Xia, W. Wang, H. N. Alshareef, Zinc-ion batteries. *Materials Science and Engineering: R: Reports*. 2019. Vol.135, P. 58-84 Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mser.2018.10.002> (дата звернення: 12.05.2022).
10. M. Song, H. Tan, D. Chao, H. J. Fan, Recent advances in Zn-ion batteries. *Advanced Functional Materials*. 2018. Vol. 28, №41 article №1802564 Available at: <<https://doi.org/10.1002/adfm.201802564>>(дата звернення: 12.05.2022).
11. W. Chen, G. Li, A. Pei, Y. Li, L. Liao, H. Wang, J. Wan, Z. Liang, G. Chen, H. Zhang, J. Wang, Y. Cui, A manganese–hydrogen battery with potential for grid-scale energy storage. *Nature Energy*. 2018. № 3, p. 428–435 Available at: <<https://doi.org/10.1038/s41560-018-0147-7>>(дата звернення: 12.05.2022).
12. Raymond Horia, Dan-Thien Nguyen, More by Dan-Thien Nguyen, Alex Yong Sheng Eng, and Zhi Wei Seh, Using a Chloride-Free Magnesium Battery Electrolyte to Form a Robust Anode–Electrolyte Nanointerface. *Nano Letter*. 2021, Vol.21, №19, pp.8220–8228, Available at: <https://doi.org/10.1021/acs.nanolett.1c02655>(дата звернення: 12.05.2022).
13. D. Chao, H. J. Fan, Intercalation pseudocapacitive behavior powers aqueous batteries. *Chem* 2019. Vol. 5, №6 pp1359–1361 Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.chempr.2019.05.020>>(дата звернення: 10.06.2022).
14. F. Chen, Z. Y. Leong, H. Y. Yang, An aqueous rechargeable chloride ion battery. *Energy Storage Mater.* 2017. Vol. 7, pp189–194 Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.02.001>>(дата звернення: 10.06.2022).
15. C. D. Wessells, S. V. Peddada, M. T. McDowell, R. A. Huggins, Y. Cui, The effect of insertion species on nanostructured open framework hexacyanoferrate battery electrodes. *The Electrochemical Society Journal of The Electrochemical Society*, 2011. Vol. 159, № 2 Available at: [/iopscience.iop.org/article/10.1149/2.060202jes](http://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.060202jes)(дата звернення: 10.07.2022).
16. The mysterious 150-hour battery that can guarantee renewables output during extreme weather Available at: <https://www.rechargenews.com/transition/the-mysterious-150-hour-battery-that-can-guarantee-renewables-output-during-extreme-weather/2-1-808340> (дата звернення: 10.07.2022).
17. New zinc-air battery is 'cheaper, safer and far longer-lasting than lithium-ion' Available at: <https://www.rechargenews.com/transition/new-zinc-air-battery-is-cheaper-safer-and-far-longer-lasting-than-lithium-ion/2-1-812068> (дата звернення: 10.07.2022).
18. Liquid-air storage offers cheapest route to 24-hour wind and solar. Available at: <https://www.rechargenews.com/transition/liquid-air-storage-offers-cheapest-route-to-24-hour-wind-and-solar/2-1-635666> (дата звернення: 10.06.2022).
19. X Peng, X She, C Li, Y Luo, T Zhang, Y Li, *et al.* Liquid air energy storage flexibly coupled with LNG regasification for improving air liquefaction *Applied Energy* .2019, Vol. 250 , № 15 pp. 1190-1201 <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.05.040> (дата звернення: 10.06.2022).
20. Andrea Vecchi^aYongliang Li^aYulong Ding^aPierluigi Mancarella^{bc}Adriano Sciacovelli^aLiquid air energy storage (LAES): A review on technology state-of-the-art integration pathways and future perspectives *Advances in Applied Energy*. 2021. Vol. 3, № 25 article № 100047 Available at: <https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100047> (дата звернення: 10.06.2022).
21. CryoHub was an EU-funded project to develop and investigate the potential of large scale cryogenic energy storage at refrigerated warehouses and food factories. Available at: <https://ior.org.uk/cryohub> (дата звернення: 10.07.2022).
22. Technology collaboration. Advancing the research, development and commercialisation of energy technologies. <https://www.iea.org/areas-of-work/technology-collaboration> (дата звернення: 10.06.2022)

Kirsanova V.V., Bykovets N.P., Chszh S.H. ELECTROCHEMICAL PROCESSES AND POSSIBILITIES OF ALTERNATIVE ENERGY IN UKRAINE

Atmospheric decarbonization is a global environmental problem, which requires a cheap and affordable technology to store alternative energy until it is supplied in the required quantities and at the required time.

Numerous studies are made nowadays to improve lithium-ion batteries. The limited quantity and rising cost of Li and Co create problems especially for large-scale applications.

Water-electrolyte batteries are an alternative to cost-effective and scalable energy storage with high specific power and resistance to mechanical impact. Although significant progress has been made in this area, great efforts are needed to increase energy/power density and long-term stability.

Researchers have developed a new generation of technologies using metal-air electrochemical cells - an anode made of pure zinc or iron and an external cathode made of air. This technology uses an aqueous or aprotic electrolyte. The CRYObattery liquid-air system, Siemens Gamesa's ETES thermal energy storage technology, the GridScale hot rock heat storage and other technologies have also been developed.

Of all the proposed technologies that can provide long-term storage of energy in large quantities, the most optimal for the southern regions is the liquid-air storage and energy storage system Highview Power, known as CRYObattery. High energy density, ease of deployment and lack of geography are an advantage over existing alternative energy conservation technologies. During the mass construction of storage facilities in Ukraine, a large amount of solar and wind electricity may be accumulated. Accumulated alternative energy can supply energy to any process and can be used to produce green hydrogen due to water electrolysis. Hydrogen can supply energy to any process, but it is of particular interest to provide transport with zero carbon energy.

Key words: *Emissions of greenhouse gases, carbon dioxide, alternative energy, Batteries with water-based electrolytes, Form Energy battery, zinc-coated battery, CRYOBattery system.*

Кочмарський В.З.

Національний університет водного господарства і природокористування

Костюк О.В.

Національний університет водного господарства і природокористування

Тимейчук О.Ю.

Національний університет водного господарства і природокористування

Куба В.В.

Національний університет водного господарства і природокористування

ДИНАМІКА ВІДКЛАДЕНЬ ТА ВПЛИВ НА ЇХ РІСТ ІМПУЛЬСНОГО РЕЖИМУ ТЕЧІЇ ОХОЛОДНОЇ ВОДИ

На підставі аналізу даних про відкладення на трубних системах (ТС) конденсаторів турбін електростанцій показано, що основним компонентом відкладень є карбонат кальцію. У відкладеннях магnezит практично відсутній тому іони Mg^{2+} в оборотній воді (ОВ) ведуть себе подібно до хлоридів, концентруючись при випарюванні. Концентрація іонів кальцію в ОВ може змінюватися внаслідок водообміну, або виділення твердого $CaCO_3$, який формує відкладення на теплообмінному обладнанні. Сформульоване рівняння динаміки для концентрації іонів Ca^{2+} вільне від обмежень щодо сталості водного об'єму оборотної системи охолодження (ОСО) та стаціонарності процесів в ОСО. Концентрація іонів Ca^{2+} виражається через динамічний параметр, що залежить від потоків підживлення та випаровування ОВ. Показано, що динамічний параметр при переході до стаціонарного режиму роботи ОСО наближається до коефіцієнта концентрування солей в ОВ.

Вводиться поняття кальцієвого індексу стабільності ОВ щодо виділення твердого $CaCO_3$. Вказується на те, що стандартні методики визначення стабільності ОВ, які ґрунтуються на загальній жорсткості, не коректні і дають завищені значення індексу стабільності.

Досліджено вплив імпульсного режиму течії ОВ на ріст відкладень, використовуючи рівняння швидкості росту відкладень у якому враховано формування відкладень за законом розпаду бікарбонатів кальцію та їх ерозії потоком ОВ. Показано, що за певних умов використання імпульсного режиму може забезпечити прийнятну швидкість росту відкладень, особливо при одночасному використанні інгібіторів та диспергантів.

Ключові слова: охолодна вода, індекс стабільності, відкладення, швидкість росту, імпульсний потік.

1. Вступ

Оборотні системи охолодження (ОСО) є одними з найефективніших елементів технології водопостачання ТЕС і АЕС (Кочмарський і Поспелов, 1986) щодо раціонального використання води і зменшення хімічного та теплового забруднень водного басейну. Переважно охолодження оборотної води (ОВ) досягається її випаровуванням. Нагадаємо, що один кілограм випареної ОВ передає доквіллію в середньому 2.5МВт теплоти. Проте випаровування призводить до концентрування солей в ОВ і виникнення пов'язаних з цим проблем при експлуатації ОСО (Кочмарський і Поспелов, 1986; Гаєвський і Кочмарський, 2018), зокрема виникають:

1) карбонатні, сульфатні та силікатні відкладення на поверхнях теплопередачі та водо-

водах внаслідок концентрування відповідних компонентів;

2) обростання елементів конструкцій грибами, мікроскопічними водоростями та дрейсною – результат підвищення температури ОВ;

3) механічні відкладення дисперсій у гідродинамічно застійних зонах.

Для охолодження найчастіше використовують поверхневі води, які є переважно кальцій-гідрокарбонатними системами, тому основними компонентами відкладень на поверхнях теплообміну є сполуки типу $CaCO_3$ див. рис. 1 (Кочмарський і Поспелов, 1986).

Відкладення внаслідок їх низької теплопровідності (1.5-3.5) Вт/(м·К) порівняно з матеріалами конструкцій ТО (53-125) Вт/(м·К) знижують

ефективність їх роботи, а виникнення пittingової корозії під ними – термін життєвого циклу обладнання.

Проблема відкладень не нова і способам їх протидії, особливо в теплоенергетиці, зокрема в ОСО, присвячено багато робіт, див (Шабалін 1976, Кучеренко 1980). Проте, в цих роботах розглядають стаціонарні режими роботи ОСО за умови сталості водного об'єму ОСО без аналізу причин утворення відкладень і рекомендації щодо їх усунення не завжди обґрунтовані (ДБН В.2.5-74:2013 Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування) не завжди коректні.

У даній роботі розглядається динаміка концентрації основного накипінна – іонів Ca^{2+} в ОВ без обмежень на стаціонарність режиму роботи ОСО та формулюється механізм утворення твердого $CaCO_3$. Аналізується вплив на формування відкладень імпульсного режиму течії ОВ в трубних системах технологічних ТО.

2. Вплив відкладень на теплотехнічні параметри обладнання

Відкладення мають коефіцієнт теплопровідності у десятки разів нижчий ніж конструкційні матеріали ТО (для матеріалу МНЖ 5-1 $\lambda = 135 \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а відкладень див. табл. 1, тому, навіть, його тонкий шар призводить до суттєвого зменшення ККД енергоустановок.

Звертаємо увагу на дані табл. 1, з яких випливає, що *желеподібні органічні та кремнієві відкладення* є небезпечнішими щодо втрати ККД теплообмінників ніж тверді карбонатні, оскільки їх коефіцієнти теплопровідності у 1.5 – 2.5 раз менші від карбонатних відкладень. Тому шар таких відкладень товщиною $x = (0.5-1.3)\text{мм}$ еквівалентний щодо втрат коефіцієнта теплопровідності на шарі карбонатних відкладень $(0.85 - 3.2)\text{мм}$.

Коефіцієнт теплопровідності стінки товщиною $l_{ст}$, яка покрита шаром відкладень товщиною x , дається виразом,

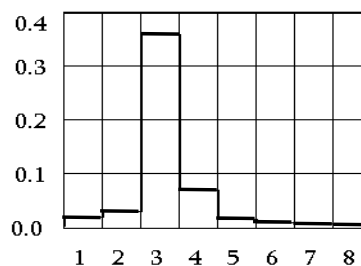


Рис. 1. Відносний склад відкладень на трубках конденсаторів за даними 22-х електростанцій (Кочмарський і Поспелов, 1986): 1 – SiO_2 , 2 – Fe_2O_3 , 3 – $CaCO_3$, 4 – органічні сполуки, 5 – $MgCO_3$, 6 – $CaSO_4$, 7 – CaO , 8 – P_2O_5 .

$$\lambda(x) = \frac{\lambda_{ст}}{\frac{1}{1 + \frac{x}{l_{ст}}} + \frac{1}{1 + \frac{l_{ст}}{x}} \cdot \frac{\lambda_{ст}}{\lambda_{в}}} \quad (1)$$

Оскільки $\lambda_{в} \ll \lambda_{ст}$, то величина теплопровідності сандвіча «стінка + відкладення» помітно зменшується навіть при малій товщині відкладень. Розрахунок за (1) подано на рис. 2. Бачимо, що відкладення товщиною $x \approx 1\text{мм}$ знижують теплопровідність стінки у 10 раз. Відкладення на трубних системах котлів призводять до "перепалу" палива, а трубної системи КТ до підвищення температури у паровому просторі КТ і тиску в ньому.

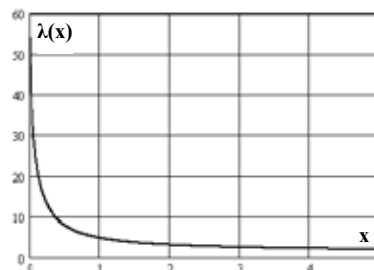


Рис. 2. Залежність теплопровідності стінки ТО зі сталі 20, $\lambda_{ст} = 54.3$, покритої відкладеннями з $\lambda_{в} = 1.7 \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, товщиною x мм

Таблиця 1

Теплофізичні властивості відкладень (Крючков і Назаренко, 2001)

Види відкладень	Теплофізичні властивості	Теплопровідн., Вт/(м·К)	Теплоємність, кДж/(кг·К)	Густина, кг/м³
Відкладення оборотної води розливних машин чавуну		1,3	0,9	1830
Відкладення в трубках конденсаторів турбін (КТ) ТЕЦ		1,9-2,5	0,88	2230
Відкладення в КТ після фосфатування		0,9	0,83	1670
Відкладення захисної карбонатної плівки		1,3-2,3	0,91	2380
Тверді карбонатні відкладення		2,4-3,5	0,99	2380
Слизисті відкладення органічної природи		0,7	3,46	1107
Желеподібні відкладення кремній-органічної природи		0,9	3,90	1236
Відкладення після гідроциклонів оборотного циклу водопостачання аглофабрики з коефіцієнтом випарювання $k=2,62$		1,4	0,88	2698

3. Динаміка іонів Ca^{2+} в ОСО

За основний малорозчинний компонент водної системи ОСО приймаємо сумарну еквівалентну, $g\text{-екв}/m^3$, концентрацію іонів Ca^{2+}

$$C = [Ca^{2+}]. \quad (2)$$

Її динаміку описуємо рівнянням, що включає зміну в часі кальцієвої жорсткості оборотної води завдяки водообміну R_{eo} та фізико-хімічних реакцій $R_{\phi x}$

$$\frac{dC(t)}{dt} = R_{eo}(t) + R_{\phi x}(t); \quad (3)$$

Зауважимо, що наше припущення про основний вклад у відкладення карбонату кальцію ґрунтується на аналізі відкладень на трубній системі КТ 22 електростанцій, див. рис. 1.

Вигляд першого доданка правої частини (3), що описує процеси водообміну при єдиному джерелі підживлення та відсутності систем водопідготовки в середині ОСО має вигляд:

$$R_{eo}(t) = \frac{1}{T_{жс}} \left[C_0 - \frac{C(t)}{\varphi(t)} \right]; \quad T_{жс} = \frac{V(t)}{Q_{жс}(t)}; \quad \varphi(t) = \frac{Q_{жс}(t)}{Q_{жс}(t) - Q_{вин}(t)}; \quad (4)$$

$$V(t) = \int_0^t \{ Q_{жс}(t_1) - [Q_{вин}(t_1) + Q_{крпн}(t_1) + Q_{нрo}(t_1)] \} dt_1. \quad (5)$$

$Q_{жс}$ – витрата води підживлення; $Q_{вин}$ – випарювання; $Q_{нрo}$ – продувки, $m^3/год$.

З (4) бачимо, що наша модель ОСО не обмежена сталістю водного об'єму, оскільки відповідно до (5) він може змінюватися в часі. Зауважимо, що динаміка іонів Ca^{2+} завдяки водообміну в ОСО визначається лише двома потоками $Q_{жс}$ та $Q_{вин}$.

Величина $R_{\phi x}(t)$ описує процес виділення осаду, наприклад, $CaCO_3$, явний вигляд якого залежить від фізико-хімічної моделі виділення твердого $CaCO_3$, яка найбільш адекватна умовам конкретної ОСО, $T_{жс}$ – час повного заміщення води в ОСО потоком підживлення.

Рівняння (4) справедливе за умови ідеального перемішування компонентів оборотної води. Член водообміну в (4) відрізняється від стандартних, тим що тут на потоки та об'єм води в оборотній системі **не накладаються жодні обмеження щодо їх поведінки у часі, а також присутності динамічного параметра φ** .

Співвідношення (4) та (5) є основою кількісного аналізу динаміки концентрації іонів кальцію в оборотній воді тобто її здатності до утворення відкладень. Справді, якщо концентрація іонів Ca^{2+} визначається лише водообміном, то відкладення $CaCO_3$ відсутні, в іншому випадку їх концентрація знижується внаслідок формування відкладень та колоїдних дисперсій.

Вирази (4) та (5) дозволяють визначити швидкість виділення твердого $CaCO_3$, чи можливість утворення твердих відкладень у динамічному режимі роботи оборотної системи.

В цьому випадку, приймаючи, що швидкість виділення твердого $CaCO_3$

$$\frac{dM_{m\epsilon}}{dt} = -R_{\phi x}, \quad (6)$$

отримуємо:

$$\frac{dM_{m\epsilon}}{dt} = \frac{1}{T_{жс}} \left[C_0(t) - \frac{C(t)}{\varphi(t)} \right] - \frac{dC(t)}{dt}. \quad (7)$$

Для динамічного режиму роботи ОСО параметр $\varphi(t)$ потрібно розраховувати за рівнянням:

$$\varphi(t) = \frac{Cr(t)}{Cr^0(t) - T_{жс}(t) \cdot \frac{d}{dt} Cr(t)}, \quad (8)$$

де $Cr_0(t)$, $Cr(t)$ – поточні концентрації розчинних компонентів, наприклад, хлоридів, у водах підживлення та оборотній.

Динамічний параметр $\varphi(t)$ для стаціонарного режиму роботи ОСО рівний коефіцієнту концентрування розчинних компонентів в оборотній воді

$$k(t) = Cr(t)/Cr_0(t), \quad (8a)$$

проте, якщо зміни режиму роботи ОСО відбуваються з періодом близьким до $T_{жс}$ та з достатньою амплітудою, то він суттєво відрізняється від $k(t)$. Загалом (7) можемо перетворити до вигляду:

$$\Delta(t)_{m\epsilon} + \Delta(t) + \Psi(t)_{st} = I, \quad (9)$$

$$\Delta(t)_{m\epsilon} = \frac{T_{жс} \cdot M'_{m\epsilon}(t)}{C_{m\epsilon}^0}; \quad \Delta(t) = \frac{T_{жс}(t) \cdot C'_{m\epsilon}}{C_0};$$

$$\Psi(t)_{cm} = \frac{C_{m\epsilon}(t)}{\varphi(t) \cdot C_{m\epsilon}^0}, \quad (10)$$

$$M'_{m\epsilon}(t) = \frac{dM_{m\epsilon}}{dt}; \quad C'_{m\epsilon}(t) = \frac{dC_{m\epsilon}}{dt};$$

$\Delta(t)$ – відносна зміна загальної концентрації іонів кальцію в оборотній воді за час $T_{жс}$ завдяки нестабільності подачі підживлення в ОСО; зауважимо, що для стаціонарного режиму роботи ОСО $\Delta(t) = 0$; $\Delta(t)_{m\epsilon}$ – відносна кількість твердого $CaCO_3$, що виділився в ОСО за час $T_{жс}$ водообміну підживленням; $\Psi_{cm}(t)$ – концентрація кальцію в оборотній воді, віднесена до концентрації, яка була б в оборотній воді за відсутності виділення твердого $CaCO_3$.

Величину $\Psi(t)_{cm}$ природно вважати характеристикою стабільності оборотної води (індексом кальцієвої стабільності). Загалом, а за умови відсутності виділення $CaCO_3$ індекс стабільності і відрізняється від одиниці лише завдяки нестаціонарності процесів в ОСО і не пов'язаний з виділенням $CaCO_3$.

$$\Psi_{cm} = 1 - \Delta(t). \quad (11a)$$

Якщо по аналогії ввести індекс стабільності за загальною жорсткістю води, то можна показати,

що ця величина переоцінюватиме стабільність води щодо виділення $CaCO_3$.

$$\Psi_{ст.жео} = \Psi_{ст} \cdot \frac{1 + \varphi \cdot \frac{C_{Mg}^o}{C_{Ca}^o}}{1 + \frac{C_{Mg}^o}{C_{Ca}^o}}, \quad \Psi_{ст.жео} > \Psi_{ст}, \quad (2)$$

Для перетворення рівняння (7), яке описує динаміку іонів Ca^{2+} в оборотній воді у повноцінну розрахункову процедуру, необхідно доозначити член $R_{фх}(t)$, використовуючи дані про механізм виділення твердого $CaCO_3$. В роботі (Гаєвський і Кочмарський, 2018) показано, що швидкість кристалізації $CaCO_3$ з гідрокарбонатних розчинів описується виразом

$$\frac{d[CaCO_3]}{dt} = b_{18} \cdot C_{HCO_3^-} \cdot C_{Ca}, \quad (13)$$

де b_{18} – кінетичний коефіцієнт; – поточні концентрації гідрокарбонатних та кальцієвих іонів в ОВ.

Кінетика (13) відповідає утворенню твердого $CaCO_3$ за реакцією яка найбільш ймовірна для діапазону $6,5 < pH < 8,5$, де концентрація гідрокарбонатів максимальна.



Для оцінки динаміки іонів кальцію в ОСО приймемо $\varphi(t) \approx k(t)$, що відповідає стаціонарному режиму та використаємо дані спостереження на Рівненській АЕС.

У цьому випадку середнє значення кінетичного коефіцієнта $b_{18}(t)$ в період спостережень знаходилось у межах

$$2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{екв год}) < b_{18} < 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{екв год})$$

Маючи експериментальні та розрахункові дані концентрації кальцію, можемо визначити кількість твердого осаду, що виділяється в ОСО за будь-який період часу t . Загальна розрахункова маса твердого карбонату, що виділився за рік в ОСО РАЕС, становила 1200 т. Проте, це не означає, що весь карбонат кальцію залишився в ОСО у вигляді твердого осаду. Деяка його частина є завислим колоїдом, що виноситься з ОСО водою продувки. Тому при розрахунку маси осаду слід враховувати не лише вимоги щодо іонної рівноваги малорозчинних солей ОСО, але й винос з ОСО карбонатного колоїду. При цьому важливими є заходи щодо попередження коагуляції таких колоїдів, наприклад, дозуванням в оборотну воду диспергантів. Враховуючи винос колоїдів за межі ОСО, масу твердого осаду оцінюємо в межах 60-70 % від скристалізованого кальцію, тобто 720...840т що становить $\approx 10\%$ від маси всього кальцію, що пройшов через ОСО РАЕС за рік.

Як вже згадувалося, швидкість росту відкладень залежить не лише від хімічного складу та перенасичення розчину, але й від стану поверхонь

теплообміну і швидкості потоку в трубних системах ТО (Кучеренко,1980; Саган,1985). Тому проаналізуємо вплив гідродинамічного режиму ОВ на швидкість росту відкладень.

4. Ріст відкладень при змінному гідродинамічному режимі ОВ

На підставі аналізу дослідних даних (Сагань, 1985; Гаєвський і Кочмарський, 2018) встановлено напівемпіричне рівняння для швидкості росту поверхневих низькотемпературних карбонатних відкладень, що враховує вплив швидкості теплоносія,

$$\frac{dM}{dt} = k_{me} \cdot [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-] + \sum_i R_i - a_1 \cdot \frac{\tau_{mp}(\omega)}{\tau_{кр}} \cdot \frac{1}{1 + e^{-a_2 t}} - a_2 \cdot \omega, \quad \text{г-моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}), \quad (15)$$

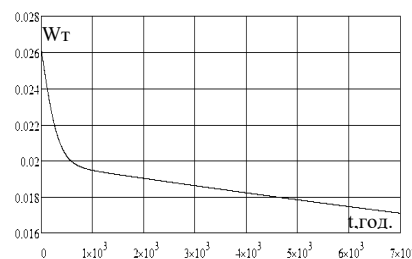
де k_{me} – кінетична константа виділення твердого $CaCO_3$, $\text{м}^4/(\text{г-іон} \cdot \text{год.})$; R_i – швидкість росту відкладень завдяки іншим факторам; a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти; $\tau_{mp}(\omega)$ – дотичні сили гідродинамічного тертя, які залежать від усередненої швидкості потоку ω ; $\tau_{кр}$ – критична міцність відкладень. Якщо інші фактори відсутні, то позначивши

$$a(\omega) = a_1 \cdot \frac{\tau_{mp}(\omega)}{\tau_{кр}} \quad \text{г-моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}), \quad (16)$$

та врахувавши, що $\tau_{mp}(\omega) \sim \omega^2$ приходимо до виразу,

$$\frac{dM}{dt} = k_{cr} \cdot [Ca^{2+}] \cdot [HCO_3^-] - a_1 \cdot \omega \cdot \left(1 + \frac{a_2 \cdot \omega}{1 + e^{-a_2 t}}\right), \quad \text{г-моль}/(\text{м}^2 \cdot \text{год.}), \quad (15а)$$

Залежність приросту відкладень від середньої швидкості охолодної води (ОВ) в ТС технологічних ТО для значень параметрів:



$$k_{cr} = 3,2 \cdot 10^{-3}; \quad [Ca^{2+}] = 2,7 \text{ з-іон}/\text{м}^3;$$

$$[HCO_3^-] = 4,0 \text{ з-іон}/\text{м}^3;$$

$$a_1 = 1,4 \cdot 10^{-3}; \quad a_2 = 4,0;$$

$$a_3 = 6 \cdot 10^{-3}; \quad \omega_0 = 1,5 \text{ м/с.}$$

при сталій швидкості ω_0 у трубних системах показана на рис. 3.

Бачимо, що впродовж перших п'ятсот годин роботи ТО швидкість утворення відкладень зменшується на 25%, а в наступні 6000 год. зменшується лише на 10%. Така залежність приросту відкладень відображає специфіку їх утворення.

Нами змодельовано три режими потоку. Для першого швидкість стала, для другого періодично зростає у 1.5 раз порівняно з початковою ω_0 , а для третього у 2 рази. Тривалість імпульсів в обох випадках – 500 год. Цю величину вибрано виходячи з динаміки утворення відкладень, див. рис. 3.

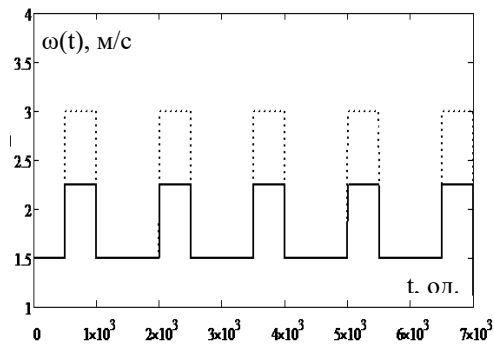


Рис. 4. Імпульсний режим течії *ОВ* у *ТС* *ТО*. Крива 1 відповідає величині імпульсу $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$, а крива 2- $\max \omega = 3.0 \text{ м/с}$.

Залежність швидкості імпульсного режиму потоку від часу показана на рис. 4. Для цих режимів розрахунок швидкості утворення твердого CaCO_3 при умові незмінності інших параметрів потоку представлено на рис. 5, а розрахункова залежність маси відкладень від часу роботи *ТО*, що виділяється на одному м^2 його поверхні – на рис. 6.

Бачимо, що використання імпульсного режиму течії *ОВ* у *ТС* значно знижує масу(товщину) відкладень на стінках *ТС*.

Застосування інгібіторів відкладень стабілізує *ОВ* (зменшує константу $k_{кр}$), а також, диспер-

гує колоїдну речовину зародків твердого, зменшує $\tau_{кр}$ та гальмує подальші відкладення CaCO_3 . Як впливає з попереднього, у *ТО* з високою швидкістю чи з пульсуючим потоком, особливо у випадку застосування диспергантів та абразивних присадок, відкладення руйнуються і їх швидкість росту може знижуватись до прийнятної величини.

Отже, як впливає з аналізу (7), чистоту трубок *ТО*, наприклад, конденсаторів турбін в *ОСО* можна підтримувати завдяки:

- стабілізації *ОВ* інгібіторами відкладень;
- застосуванню диспергантів;
- заміною карбонатної жорсткості на постійну, тобто добавкою в *ОВ* сильних кислот, наприклад, соляної чи сірчаної;
- збільшенню швидкості потоку води у трубках *КТ*, її турбулізації, або створюючи пульсуючу течію.

Загалом вважається, що прийнятною є швидкість росту відкладень, яка менша 0.5 мм/рік , що відповідає імпульсному режиму з $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$.

При вищих швидкостях росту відкладень коефіцієнти теплопередачі *ТО* обладнання помітно зменшуються, що, як бачили раніше, на електростанціях призводить до зниження виробітку електроенергії тобто до значних економічних втрат.

Зауважимо, що використання імпульсного режиму завжди пов'язане з додатковими затратами енергії на подачу води. Тому економічний ефект від використання таких режимів завжди менший від вигоди, що виникає при збільшенні чистоти *ТС*.

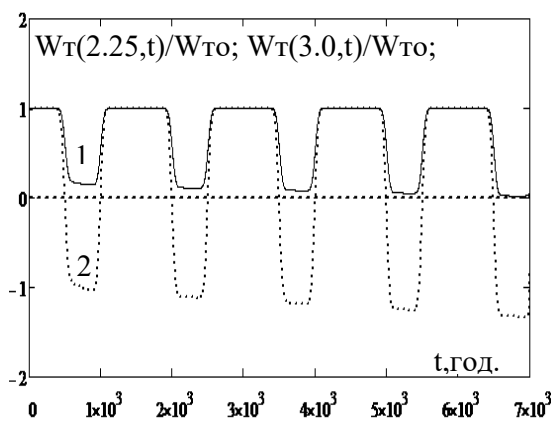


Рис. 5. Залежність відносного приросту твердого CaCO_3 , $Wm(t)/Wm_0$ від часу роботи *ТО*. Крива 1 відповідає $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$, а крива 2- $\max \omega = 3.0 \text{ м/с}$. Від'ємні величини – режим ерозії відкладень.

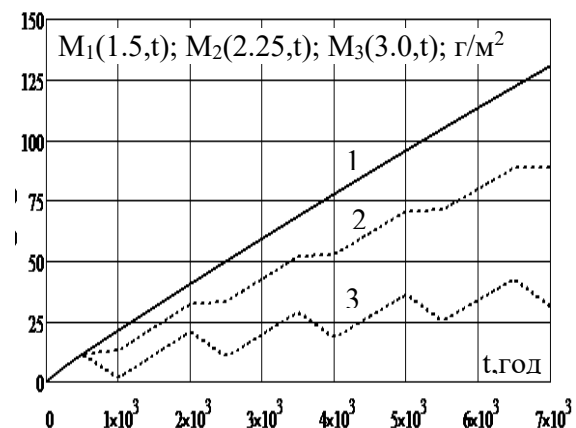


Рис. 6. Залежність маси відкладень CaCO_3 на 1 м^2 поверхні *ТС* від часу її експлуатації в стаціонарному режимі швидкості, крива 1, імпульсному з $\max \omega = 2.25 \text{ м/с}$, крива 2 та з $\max \omega = 3.0 \text{ м/с}$, крива 3

Висновки

1. Сформульовано рівняння динаміки для іонів Ca^{2+} в ОВ вільне від будь-яких обмежень щодо залежності від часу потоків ОСО та величини водного об'єму.
2. В рівняння для концентрації кальцієвих іонів входить динамічний параметр φ , який визначає динаміку зміни концентрації Ca^{2+} і для стаціонарного режиму рівний ступеню концентрування іонів в ОВ.
3. Рівняння динаміки для іонів Ca^{2+} доповнене законом виділення твердого $CaCO_3$, дозволяє отримати замкнену процедуру для розрахунку концентрації Ca^{2+} у ОВ, залежної від часу.
4. Введене поняття кальцієвого індексу стабільності ОВ щодо виділення $CaCO_3$. Використання індексу стабільності за жорсткістю ОВ призводить до переоцінки стабільності ОВ та помилок у проведенні заходів зі стабілізації ОВ.
5. Розраховано масу твердого $CaCO_3$, що виділився в ОСО за рік для Рівненської АЕС. Розрахункова величина близькою до реальної.
6. Запропоноване рівняння для швидкості росту відкладень, що враховує гідродинамічний режим потоку в ТС теплообмінників.
7. Показано, що використання імпульсного режиму потоку може знизити швидкість росту відкладень до прийнятної величини.

Список літератури:

1. Кочмарський В.З., Поспелов Д.Н. Состояние проблемы антинакипной обработки воды в СССР. – Київ: Знання. 1986. – 20 с.
2. Гаєвський В.Р., Кочмарський В.З. Підвищення ефективності оборотних систем охолодження мінімізацією кальцій-карбонатних відкладень. Рівне: НУВГП, 2018. 154 с. ISBN 978-966-327-383-9.
3. Кучеренко Д.И. Оборотные системы охлаждения.(Системы водяного охлаждения) Москва: Стройиздат, 1980. – 169 с.
4. Шабалин А.Ф. Оборотные системы водоснабжения предприятий. Москва: Стройиздат. 1972. – 296 с.
5. ДБН В.2.5-74:2013. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування
6. Крючков С.Н., Назаренко А.Н. Коэффициенты теплопроводности отложений на поверхности трубок металлургических агрегатов. // Труды Запорожской государственной инженерной академии металлургии. 2001. В. 4. С. 140–142.
7. Сагань И.И., Ю.С. Разладин. Борьба с накипеобразованием в теплообменниках. Київ. Техніка. 1985.– 134 с.

Kochmarskii V.Z., Kostyuk O.P., Tymchuk O.Y., Kuba V.V. DYNAMICS OF SEDIMENTS AND INFLUENCE ON THEIR GROWTH OF THE PULSE MODE OF COLD WATER FLOW

Based on the analysis of data on deposits on pipe systems (PS) of turbine capacitors of power plants, it is shown that the main component of deposits is calcium carbonate. In the sediments, magnesite is practically absent, so Mg^{2+} ions in circulating water (CW) behave similarly to chlorides, concentrating during evaporation. The concentration of calcium ions in CW can change due to water exchange, or the release of solid $CaCO_3$, which forms deposits on heat exchange equipment.

The formulated dynamics equation for the concentration of Ca^{2+} ions is free from restrictions regarding the constancy of the water volume of the recirculating cooling system (RCS) and the stationarity of processes in the RCS. The concentration of Ca^{2+} ions is expressed through a dynamic parameter that depends on the feeding and evaporation flows of CW. It is shown that the dynamic parameter during the transition to the stationary operating mode of the RCS approaches the concentration coefficient of salts in the CW.

The concept of the calcium index of stability of CW in relation to the deposits of solid $CaCO_3$ is introduced. It is pointed out that the standard methods of determining the stability of CW, which are based on the general hardness, are incorrect and give inflated values of the stability index.

The influence of the pulse mode of CW flow on the growth of sediments was studied, using the sediment growth rate equation, which takes into account the formation of sediments according to the law of decay of calcium bicarbonates and their erosion by the CW flow. It is shown that, under certain conditions, the use of pulse mode can ensure an acceptable rate of sediment growth, especially when inhibitors and dispersants are used simultaneously.

Key words: cool water, stability index, sedimentation, growth rate, impulse flow.

Прокопенко О.О.

Українська інженерно-педагогічна академія

Антоненко Н.С.

Українська інженерно-педагогічна академія

Гулей О.Б.

Українська інженерно-педагогічна академія

МЕТОД ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ СТАНЦІЇ

У статті розглянуто метод діагностики технічного стану газоперекачувального обладнання, який забезпечує перехід до експлуатації цього обладнання за фактичним станом.

За матеріалами літературного огляду зроблено висновок, що близько 30 % дефектів елементів газоперекачувального обладнання виявляють методами параметричної діагностики, які використовують в якості носіїв діагностичної інформації термодинамічні параметри процесу транспорту газу. Показано, що за теорією газотурбінних двигунів з можливим створення точної математичної моделі діагностики, яка відображає вплив дефектів проточної частини на термодинамічні параметри.

У роботі розглянуто ряд суттєвих питань щодо вдосконалення методики параметричної діагностики стану газоперекачувальних агрегатів. Для цього запропоновано нові діагностичні ознаки, які отримані із співвідношень вихідної математичної моделі процесу та базовані на законах течії газу в елементах обладнання. Інформативність ознак ґрунтується на тому, що вони враховують нові зв'язки та відносини для моделі параметричної діагностики. Умови, за яких ці ознаки є ефективними, відповідають тим, що існують реально при експлуатації газоперекачувального обладнання.

В роботі наведено метод визначення величин витрати, потужності та коефіцієнту технічного стану відцентрового нагнітача у складі газоперекачувального агрегату, а також коефіцієнтів технічного стану елементів газотурбінної установки. Всі ці величини використовують як діагностичні ознаки для методу параметричної діагностики.

Проведено апробацію методу на основі результатів чисельного моделювання параметричної діагностики обладнання, за результатами якого отримано оцінки коефіцієнтів технічного стану елементів обладнання та розраховано похибки цих оцінок.

Ключові слова: *технічний стан, параметр, математична модель, похибка, ознака, вимір, діагностика, транспорт газу, відцентровий нагнітач.*

Постановка проблеми. В умовах старіння і зносу устаткування одним із ефективних шляхів підвищення економічності й надійності транспорту природного газу при обмеженості інвестицій є перехід від традиційної системи експлуатації на ресурсозберігаючу експлуатацію за «фактичним станом» [1], [2], [3]. Суть цього переходу в тому, що експлуатація газоперекачувального обладнання (ГПО) продовжується доти, доки робочі характеристики його відповідають нормативним вимогам. У разі виходу цих характеристик за нормативні вимоги експлуатація ГПО припиняється та вирішується питання щодо проведення відповідних ремонтних робіт. Перехід до цієї системи є можливим тільки на основі розви-

нутої методології, яка забезпечує безперервну діагностику в режимі реального часу.

В роботах [1] [2], [4], [5] розглянуто та охарактеризовано існуючі та перспективні науково-технічні рішення для систем діагностики ГПО газотранспортних мереж «за станом». В роботі [6] наведені оцінки відносної поширеності основних методів діагностики ГПО «за станом». Так, переважна більшість дефектів і несправностей може бути встановлена методами вібродіагностики практично для всіх елементів ГПО. Близько 30 % всіх несправностей ГПО та більшість дефектів проточної частини виявляється аналізом термодинамічних параметрів (параметрична діагностика), і близько 20 % несправностей

(переважно лише пар тертя) реєструються за результатами трибодіагностики.

Але на практиці вібродіагностика пред'являє дуже високі вимоги до апаратного та математичного забезпечення своїх методів, що суттєво ускладнює їхнє застосування в штатних системах діагностики. До того ж експлуатація унікального обладнання систем вібродіагностики потребує високої кваліфікації персоналу [2], [4], [5].

Тому, на наш погляд, доцільно розглянути методи параметричної діагностики, що мають значний досвід використання в авіаційній та у суднобудівній галузях [1], [2], [3], [6]. Основою методу параметричної діагностики є визначення зміни параметрів технічного стану агрегату або його елементів по зміні його технологічних та паливо-енергетичних показників в процесі експлуатації. Для цього на практиці виконується штатний контроль нормованих характеристик процесів і обладнання. Цей контроль виконується незалежними засобами зовнішнього контролю (система вимірювання та контролю) в режимі реального часу. Про зміни технічного стану агрегатів судять по відхиленню робочих характеристик та параметрів цих агрегатів.

Тут слід зазначити, що первинні датчики системи діагностики, одночасно є датчиками штатної системи управління ГПО і початково входять до складу обладнання. Їх робочі характеристики відповідають вимогам технічних та експлуатаційних умов для ГПО. Також особливістю цього методу діагностування є те, що параметри газоперекачувальних агрегатів (ГПА) пов'язані між собою та сигналами первинних датчиків співвідношеннями (математична модель системи керування) з теорії газотурбінних двигунів, яка добре узгоджується з практикою.

Однією з головних проблем при використанні методу є розрахунки систем нелінійних рівнянь алгебри високого порядку, до яких зводяться системи математичних залежностей, що описують газодинамічні процеси в об'єктах ГПО. Враховуючи випадкову природу безпосередніх вимірювань та велику кількість оцінюваних параметрів (велика розмірність моделі), усі проблеми ідентифікованості таких об'єктів тут мають місце.

Також проблемою є метрологічне забезпечення контролю параметрів, тому що в загальному випадку характеристики штатних систем контролю ГПА не збігаються з вимогами, що пред'являються до системи діагностики.

Тому науково-технічне забезпечення розвитку методу параметричної діагностики (ПД) для

розширення його можливостей та сфери застосування є актуальним та безумовним завданням для газової галузі

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі [7] розглянуто проблеми оцінки основних експлуатаційних характеристик, які стосуються надійності, економічності та екологічності роботи ГПО. В підсумку роботи запропонований алгоритм ПД фактичних характеристик ГПА. Алгоритм дозволяє оптимізувати технологічні процеси та підвищити надійність транспортування газу. Вихідні положення алгоритму відповідають методичним вказівкам стандарту України [8], де висвітлено основні положення щодо методики вимірювання й обробки результатів експлуатаційних випробувань газотурбінної установки (ГТУ).

В огляді методик ПД ГТУ в роботі [7] відзначається, що особливістю розглянутих методик є недостатня увага до визначення характеру впливу діючих чинників та параметрів на основні показники експлуатації.

Також недостатньо розглянуті завдання як оцінок похибок безпосередніх вимірів даних величин, так і похибок оцінок параметрів, які отримані безпосередньо за самим методом ПД. Окремим питанням залишається оцінка початкових величин параметрів та еталонних (модельних) значень характеристик ГПА на всіх режимах його роботи.

Тому, на наш погляд, розробка алгоритмів ПД характеристик ГПА з урахуванням максимально наближених до практичних умов та вимог до діагностики «за станом» залишається актуальним завданням.

Постановка задачі дослідження. Створити методику ПД фактичних характеристик ГПА. Провести апробацію методики на основі результатів чисельного моделювання ПД величин витрати, потужності та коефіцієнту технічного стану відцентрового нагнітача (ВЦН) у складі ГПА, а також коефіцієнтів технічного стану ГПА і ГТУ.

Виклад основного матеріалу дослідження. На рис. 1 наведено схему ПД обладнання компресорної станції (ОКС) в системі транспортування газу. Оцінки всіх величин показників в моделі ПД отримані за цією схемою.

Визначення витрати та потужності ВЦН. Нижче наведено метод розрахунку витрат заснований на властивості відносної стабільності характеристик відцентрового нагнітача в координатах «наведена відносна потужність – приведена об'ємна продуктивність». Принциповою основою методу розрахунку фактичної продуктивності ВЦН є положення про те, що єдино можливий

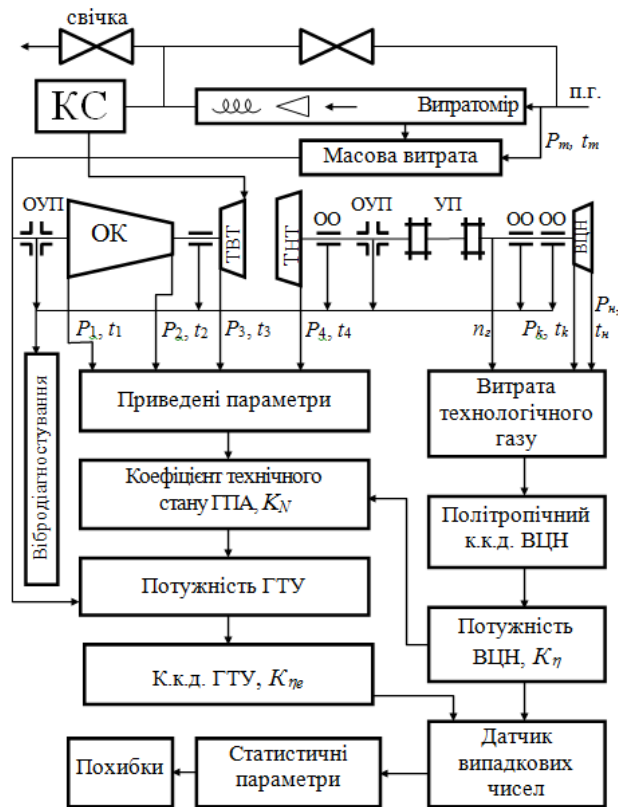


Рис. 1. Схема параметричної діагностики

режим роботи нагнітача формується в точці перетину характеристики мережі з напірною характеристикою компресорної машини.

На підставі цього в [9] обґрунтовано положення, що за умови $\varepsilon_i = \varepsilon_e$; $Q_i = Q_e$; $n_i = n_e$ виконуються співвідношення:

$$[N_n/\gamma_n]_i = [N_n/\gamma_n]_e, \quad (1)$$

де ε – ступень стиснення;

Q – об’ємна витрата;

n – частота обертання ротора;

N_n/γ_n – приведена потужність ВЦН;

індекси i, e відповідають вимірюваному значенню та еталонному.

Використовуючи (1) можна зробити висновок (в рамках даного типу нагнітача) про незмінність в процесі експлуатації характеристики:

$$[N_n/\gamma_n]_{np} = f(Q_e). \quad (2)$$

При заданому числі оборотів робочого колеса n_i і ступеня стиснення ε_i експлуатованого (ідентифікованого) нагнітача об’ємна продуктивність (шукана величина) і наведена потужність пов’язані виразом:

$$[N_n/\gamma_n]_i = h_i Q_i / [6120 \cdot (n_i/n_n)^3]. \quad (3)$$

З урахуванням стабільності характеристики (2) розглянутий режим роботи експлуатованого

нагнітача може бути реалізований за допомогою «еталонного» нагнітача (тобто $\varepsilon_e = \varepsilon_i$; $Q_e = Q_i$) при виконанні умови (1). При цьому $n_e \neq n_i$.

Використовуючи (3), наведемо (1) в наступному вигляді:

$$Q_{np,e} = \frac{6120 \cdot n_i^3}{n_i n_n^2 n_e} (B_0 + B_1 Q_{np,e} + B_2 Q_{np,e}^2 + B_3 Q_{np,e}^3). \quad (4)$$

Повний напір (повна робота, що витрачається на стиснення 1 кг газу, що проходить через всю проточну частину ступені стиснення) визначимо з виразу [10]:

$$h_i = \frac{k_z}{k_z - 1} z_n R_z (T_k - T_n). \quad (5)$$

З урахуванням співвідношення (5) і експериментальних даних [11] отримаємо кубічне рівняння [12] для визначення приведеної витрати $Q_{np} = Q_e n_n / n_e$ через ВЦН.

$$B_3 Q_{np}^3 + B_2 Q_{np}^2 + (B_1 - B_4) Q_{np} + B_0 = 0;$$

$$B_4 = \frac{k_z}{k_z - 1} \cdot \frac{t_n R_z (T_k - T_n)}{6120} \left(\frac{n_n}{n_e} \right)^2. \quad (6)$$

Отримане кубічне рівняння вирішено одним з відомих ітераційних методів [13]. Розрахунок фізичних характеристик газу на вході і виході ВЦН R_z, z_n, k_z проведено за методикою [14], [15]. Політропічний ККД нагнітача є стандартною величиною і визначається за формулою [10]:

$$\eta_n = \frac{\lg(P_k/P_n)}{[k_z/(k_z - 1)] \cdot \lg(T_k z_r / T_n z_n)}. \quad (7)$$

Внутрішню потужність, споживану нагнітачем, «який може бути ідентифікованим», виражено через вагову витрату:

$$N_n = Q_e h_i \gamma_n / (102 \cdot 60). \quad (8)$$

Сумарна потужність, що розвивається ГТУ і споживана ВЦН, визначається за формулою:

$$N_e = N_n + N_m.$$

Щільність природного газу γ_n визначається через щільність газу при нормальних умовах γ_{nc} [10].

Визначення коефіцієнту технічного стану ВЦН. Можливість оцінки стану проточної частини ВЦН, так само як і компресорів ГТУ, обумовлено експериментально виявленим взаємозв’язком зміни ККД нагнітача (компресора) із зсувом його витратно-напірних характеристик. Встановлено [10], що найбільшою чутливістю до несправностей ВЦН володіє залежність ККД від витрати (наведеної витрати). Тоді відповідно введемо коефіцієнт технічного стану ВЦН у такому вигляді:

$$K_\eta = \eta_{\max,i} / \eta_{\max}, \quad (9)$$

де $\eta_{\max,i}, \eta_{\max}$ – політропічні ККД максимальний вимірний та максимальний.

Як базовий параметр, при сталості якого оцінюється зсув характеристик, можна використовувати об'ємну витрату Q_c , умова $Q_c = idem$ є більшою переважною для високонапірних компресорів з крутими характеристиками, для яких несправності проявляються в більшій зміні витрати, ніж ступеня стиснення. Разом з тим, реалізація цієї умови на практиці вимагає організації вимірювання витрати. Повертаючись до моделі параметричного контролю, слід підкреслити, що метод, заснований на використанні моделі (9), є досить простим для експлуатаційного персоналу і не вимагає спеціальних вимірювань. Фактором, що обмежує можливість його використання, є необхідність зміни режиму роботи ГПА для задоволення умові $\varepsilon_n = idem$, що не завжди є можливим з умов роботи КС. Разом з тим, слід мати на увазі, що можливість оцінки технічного стану ВЦН за цим методом потребує вимірювання витрати технологічного газу.

Таким чином, за допомогою залежностей [16] по вимірним значенням ККД і витрати можна перейти до $h_{max,i}$ та отримати оцінку (9). При цьому ККД є діагностичною ознакою стану тракту в цілому, адіабатичний натиск - ознакою ерозії, повний напір - ознакою несправності ущільнення.

Визначення коефіцієнту технічного стану ГПА і ГТУ. Перехід від вимірної потужності і розрахованої (6) витрати до завдань ПД передбачає використання операцій приведення параметрів [11]. Встановлено, що найбільшою чутливістю до несправностей ГПА і ГТУ відповідає залежність наведеної потужності від наведеної температури перед турбіною. Коефіцієнт технічного стану ГПА по потужності K_N в цілому несе інформації про стан проточної частини ГТУ і режимах завантаження ВЦН. Було досліджено вплив витоку і перетікання в компресорі на зрушення характеристики потужності на режимі максимального завантаження ГТУ. В [17] наведено дані про зміни технічного стану газоповітряного тракту ГТУ за напрацюванням, забрудненням, ремонту та чистках компресора. Дані контрольних випробувань підтверджують стабільність показань за часом. Використовуючи наведені характеристики потужності і температури перед турбіною високого тиску (ТВТ) для еквівалентності порівняння аналогічно [16], отримуємо:

$$K_N = N_{e,np} / \{ N_{e,n} [1 - K_a \cdot (1 - T_{1np}) \cdot T_{1np}] \}. \quad (10)$$

Наведену температуру перед ТВТ обчислюють при використанні абсолютних температур, вимірних перед ТВТ і осьовим компресором (ОК),

а для обчислення наведеної потужності використовують додаткові виміри барометричного тиску, абсолютної температури перед ОК і паспортні дані по номінальним параметрам температури перед ОК, барометричного тиску і потужності ГТУ. Для встановлення коефіцієнтів технічного стану ГТУ по ККД скористаємося відомим виразом [18] для ККД:

$$\eta_e = 860 N_e / (Q'' G_{m2}). \quad (11)$$

Для обчислення залежності ККД від наведеної температури перед ТВТ або іншого параметра необхідно вимірювати більшу кількість величин і змінювати режим робіт ГТУ. Переходячи від η_e аналогічно [10] до коефіцієнта технічного стану, отримуємо загальний вигляд моделі параметричного контролю ГТУ:

$$K_{\eta_e} = \eta_{e,u} / \eta_{e,max}. \quad (12)$$

Щоб не допустити помилок коефіцієнт K_{η_e} необхідно обчислити при значеннях наведеної температури перед ТВТ, яка дорівнює одиниці. Коефіцієнт технічного стану ГТУ залежить від витоку, перетікання і забруднення компресору [17] аналогічно K_N . Відмінність полягає в інформації про використання продуктів згоряння і ефективної роботи ГТУ. Зокрема, нормують показники, які не допускають перепалювання продуктів згоряння. Тут для використання формули (12) необхідно вимірювати витрати паливного газу. Вимірювання витрати паливного газу передбачено в обов'язки штатної системи вимірювань, а нижча теплота згоряння відома.

Похибки методів параметричної діагностики. Розроблено програму для ЕОМ визначення об'ємної та масової витрати технологічного газу, потужності ГТУ за параметрами ВЦН, політропічного ККД і коефіцієнта технічного стану ВЦН. Для визначення продуктивності відцентрового нагнітача є необхідною така вихідна інформація:

- тиск газу на вході P_H і на виході P_K нагнітача (кг/см²);
- температура газу на вході t_H і на виході t_K нагнітача (°К);
- частота обертання валу ТНДТ (об / хв);
- газова постійна газу, що транспортується R_g (кгм/кг·К) або відносна питома вага газу по повітрю.

Для отримання зазначеної вихідної інформації проводилися контрольні заміри відповідно до рекомендацій [15]. Вимірювання тиску проводилося тарованими зразковими манометрами класу точності 0,4 з похибкою 0,4 %, температура газу вимірювалася лабораторними термометрами з ціною поділки $\pm 0,1^\circ\text{C}$ і похибкою вимірювань

$\pm 0,3$ %. Частота обертання валу ТНД вимірювалася частотоміром з класом точності 0,5 і погрішністю $\pm 0,5$ %.

Оцінка похибки проводилася на ЕОМ за допомогою математичної моделі імовірнісного експерименту за допомогою генератора випадкових чисел, який використовувався для отримання випадкових значень вимірюваних параметрів з нормальним законом розподілу і похибкою відповідних метрологічних характеристик зазначених вище зразкових приладів. За допомогою випадкових значень вимірюваних параметрів проводились розрахунки витрат, потужності і ККД. Отримані масиви випадкових значень витрати, потужності і ККД статистично оброблялися: розраховувалися математичне очікування, дисперсії, коефіцієнти варіації.

Результати розрахунків показали, що максимальна випадкова похибка при одноразовому вимірі штатними приладами становить відповідно по потужності ± 13 %, при обчисленні витрати – ± 20 %, при обчисленні ККД нагнітача – ± 26 %.

При контрольних вимірах за допомогою зразкових приладів похибка при одноразовому вимірі становить: по витраті – 2,8 %; по потужності – 2,6 %; за ККД – 0,5 %.

Крім приладів вимірювання первинних параметрів по ВЦН і G_{TT} додатково є необхідною така інформація:

- абсолютні температури перед ТВТ і ОК (К),
- барометричний тиск (мм.рт.ст);
- нормативні паспортні параметри ГТУ.

Вимірювання температури перед ОК проводилося ртутним зразковим термометром, з похибкою $\pm 0,3$ %. Вимірювання температури перед

ТВТ здійснювалося зразковою термопарою з діапазоном вимірювання 1100 °С і похибкою $\pm 0,5$ %.

Застосування зразкових приладів по визначенню показників ВЦН і паливного газу спільно з зразковими термометрами по ГТУ дає такі похибки: коефіцієнт технічного стану за ККД – $K_{Ne} = \pm 2$ %, коефіцієнт технічного стану по потужності $K_N = \pm 1.8$ %.

Результати розрахунків показали, що похибки оцінок потужності, витрати та ККД ВЦН при одноразовому вимірі штатними приладами відповідають даним для ВЦН, наведеним вище.

Висновки

У роботі розглянуто ряд суттєвих питань щодо вдосконалення методики параметричної діагностики фактичного стану ГПА. Для цього запропоновано нові діагностичні ознаки, які отримані із співвідношень вихідної математичної моделі процесу та базуються на законах течії газу в ГПО. Інформативність ознак ґрунтується на тому, що вони враховують нові зв'язки та відносини для вже наявної моделі ПД. Умови, за яких ці ознаки є ефективними, відповідають реалізованим в практиці експлуатації ГПО.

В роботі обґрунтовано метод визначення величин витрати, потужності та коефіцієнту технічного стану ВЦН у складі ГПА, а також коефіцієнтів технічного стану ГПА і ГТУ. Всі наведені величини використовуються як діагностичні ознаки для методу ПД.

Проведено апробацію цього методу на основі результатів чисельного моделювання пароаметричної діагностики обладнання. За результатами цього моделювання отримані оцінки коефіцієнтів технічного стану елементів обладнання та розраховані похибки цих оцінок.

Список літератури:

1. Зарицкий С.П. Основные направления работ по разработке и внедрению в отрасли методов, средств и систем технической диагностики оборудования КС. *Диагностика оборудования и трубопроводов*. 1995, № 1. С. 3–17.
2. Прокопенко О.О., Антоненко Н.С., Гулей О.Б. Аналіз проблем організації контролю технічного стану газотранспортного обладнання та напрямки їх вирішення. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Серія: технічні науки*. 2022. Т. 33(72), № 1. С. 182–188.
3. Ильченко Б. С. Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів: монографія. Харків : ХНАМГ, 2011. 228 с.
4. Горобійчук М.І., Когутяк М.І., Скрипка О.А. Контроль технічного стану газоперекачувальних агрегатів. *Методи та прилади контролю якості*. 2005. № 13. С. 18–19.
5. Акимов В. И. Влияние неоднородности и колебаний эксплуатационных параметров работы ГПА на техническое состояние узлов газотурбинного привода): дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13. Уфа, 2020. 24 с.
6. Купреев Е. И. , Карницкий Н. Б. Параметрическая диагностика газоперекачивающих агрегатов. *Энергия и менеджмент*. 2016. № 3. С. 12-18.
7. Варламов Г. Б., Приймак К. О. Алгоритм параметричної ідентифікації фактичних характеристик газоперекачувального агрегату компресорної станції. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2011. № 12 (94). С. 10–14.

8. СОУ 60.3-30019801-011:2004. Компресорні станції. Контроль теплотехнічних та екологічних характеристик газоперекачувальних агрегатів; чинний від 22.12.2004. Вид. офіц. Київ: ДК Укртрансгаз, 2004. 117 с.
9. Халландовский В.Н., Рязанцева З.И., Куликова В.В. Определение производительности центробежных нагнетателей по данным нормальной эксплуатации. *Исследования в области эксплуатации газотранспортного оборудования*. Москва: ВНИИГАЗ, 1983. — С. 13-15.
10. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Москва: Недра, 1987. 197 с.
11. Шуровский В.А., Корнеев В.И. Обобщенные характеристики газотурбинных установок с разрезным валом, используемых для привода нагнетателей природного газа. *Транспорт и подземное хранение газа*. 1974. № 2. С. 8-19.
12. Васильев Ю.Н., Белоброва О.Р., Игуменцев Е.А. Метод определения расхода ЦБН с помощью ЭВМ. *Автоматизация, телемеханизация и связь в газовой промышленности*. 1990. № 7. С. 118-119.
13. Васильев Ю.Н., Игуменцев Е.А., Белоброва О.Р. Определение производительности центробежных нагнетателей по данным эксплуатации с помощью ЭВМ. *Сборник научных трудов. Улучшение эксплуатационных и экономических параметров газотранспортного оборудования*. Москва: ВНИИГАЗ. 1988. С. 3-10.
14. Доброхотов В.Д., Клубничкин А.К., Шуровский В.А. Термодинамика сжатия природного газа и характеристики нагнетателей для компрессорных станций магистральных газопроводов. Москва: ВНИИ-Газпром. 1974. С. 13-18.
15. Инструкция по определению эффективности работы и технического состояния газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных газопроводов: Утв. Мин. газ. пром. 03.01.75. Москва: ВНИИГАЗ. 1975. 45 с.
16. Белоброва О.Р., Игуменцев Е.А. Определение фактической мощности ГТУ с помощью ЭВМ. Харьков, 1988. 4 с. (Препр. Харьковский МТ ЦНТИ подразделение оперативной полиграфии).
17. Бесклетный М.Е., Игуменцев Е.А., Бесценная Р.Д. Влияние воздействия очистительной крошки на уровень напряженности лопаток турбокомпрессора ГТ-750-6. *Газовая промышленность. Серия «Транспорт и хранение газа»*. 1980. № 4. С. 10-16.
18. Вихровий витратомір природного газу: пат. 100483 Україна, МКІ G 01 F 1/32. заявл. 18.02.2015; опубл. 27.07.2015. Бюл. № 14. 4 с.

Prokopenko O.O., Antonenko N.S., Huley O.B. METHOD OF PARAMETRIC DIAGNOSIS OF GAS-COMPRESSOR EQUIPMENT OF COMPRESSOR STATION

The article considers the method of diagnostics of the technical condition of gas-pumping equipment, ensuring the transition to operation of this equipment on the actual condition.

Based on the materials of the literature review, it has been concluded that about 30% of defects of gas pumping equipment elements are revealed by methods of parametric diagnostics, which use thermogas-dynamic parameters of the gas transportation process as the diagnostic information carriers. It has been shown that according to the theory of gas turbine engines it is possible to create an exact mathematical model of diagnostics, reflecting the influence of defects of the flow-type part on thermal-gas-dynamic parameters.

The paper covers a number of substantive issues concerning improvement of the parametric diagnostics method of the gas pumping units state. For this purpose new diagnostic features have been offered, obtained from the correlation of the initial mathematical model of the process and based on the laws of the gas flow in the elements of the equipment. The information value are based on the fact that they take into consideration new connections and relationships for the parametric diagnostics model. The conditions under which these signs are effective correspond to those that exist in actual operation of gas pumping equipment.

The method of consumption sizing, capacities and ratio of technical condition of centrifugal load in composition of gas pumping unit, as well as factors of technical condition of gas turbine installation elements have been presented in the article. All of these values are used as diagnostic features for the parametric diagnostic method.

The method has been tested on the basis of the outputs of numerical modeling for parameter diagnostics of the equipment, which resulted in the estimation of the factors of the equipment elements technical condition and the uncertainties of these estimates have been calculated.

Key words: *technical condition, parameter, mathematical model, error, feature, measurement, diagnostics, gas transport, centrifugal blower.*

Чередніков В.М.

ТОВ «КБ «Аерокоптер»

Череднікова О.В.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ПІДГОТОВКА ДО ВИПРОБУВАНЬ З СТВОРЕННЯМ ПРОГРАМИ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ГЕЛІКОПТЕРА НА ЛАБОРАТОРНОМУ СТЕНДІ

У статті розглядається питання перевірки роботоздатності та надійності двигуна внутрішнього згорання гелікоптера. Двигуни, які використовуються на літальних апаратах, повинні проходити більш ретельну перевірку усіх характеристик, ніж двигуни, які встановлюються на наземних транспортних засобах. Також такі двигуни під час своєї роботи будуть більш навантажені. Важливою є і енергетична ефективність, економічність двигуна, але щоб її покращити, спочатку потрібно дослідити характеристики роботи двигуна при різних режимах, а потім провести аналіз з метою підвищення економічності двигуна без втрат його експлуатаційної надійності. Усі дослідження виконуються на випробувальному стенді «PRO 800 DYNAMOMETER». В статті наведені чотири основні етапи, з яких складається процес випробування двигуна. На цих етапах перевіряються швидкісні характеристики двигуна, характеристики холостого ходу та рівномірність роботи двигуна. Всі дослідження проводяться при різних положеннях дросельної заслінки. Показники, які вимірюються, порівнюються з вимогами до цих величин. Програма випробувань вміщує в себе усі показники, які потрібно зафіксувати та граничні відхилення їх від заданих значень в вимірюваних діапазонах. В ході експерименту стенд дозволяє фіксувати необхідні показники в графічному вигляді протягом усього часу дослідження. До основних показників відноситься потужність двигуна, крутний момент, частота обертання колінчастого валу, витрата палива, температура охолоджувальної рідини, відпрацьованих газів, тиск оливи та напруга живлення. В статті описуються вимоги до обладнання, оточуючого середовища та палива, яке використовується під час дослідів. Наступним етапом наукової роботи буде безпосередньо проведення лабораторного випробування на основі створеної програми підготовки до випробувань та виконання повного аналізу роботи двигуна.

Ключові слова: потужність двигуна, витрата палива, частота обертання, температура відпрацьованих газів, коефіцієнт корисної дії.

Постановка проблеми. Сучасні наукові напрями у сфері розвитку двигунів транспортних засобів зосереджені на пошуку найбільш енергоєфективних та економічних двигунів. Найбільшого розповсюдження набувають гібридні двигуни та електродвигуни для автомобільного транспорту. В авіаційній галузі постають більш жорсткі вимоги до двигунів, які встановлюються на літальних апаратах, особливо, якщо це не безпілотні літальні засоби, в яких від надійності двигуна залежить життя людей. У випадку малого авіаційного транспорту застосування електричних двигунів обмежено умовами нестабільності роботи таких пристроїв. Тому використання двигунів внутрішнього згорання залишається актуальним та виникає необхідність перевірки таких двигунів в лабораторних умовах, проведення режимів обкатки та визначення усіх критичних параметрів. Малогабаритні гелі-

коптери користуються попитом в сферах сільського господарства та для комерційного використання. Для встановлення двигуна на літальний апарат потрібно спочатку провести в наземних випробуваннях перевірку його роботи в різних можливих режимах, для підтвердження його безпечності роботи. Поки є необхідність в застосуванні таких типів двигунів, актуальність їх досліджень з метою визначення усіх ключових параметрів їх роботи не зникає.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вчені в Україні Гащук П.М., Нікіпчук С.В., Сичевський М. І., Домінік А. М. займаються питаннями корисної роботи машин з двигунами внутрішнього згорання, їх ефективності та досконалості роботи [1], [2]. Вони також вдало досліджують теплообмінні процеси, які протікають в двигунах внутрішнього згорання, моделюють окремі

процеси та цикли роботи двигунів [3], [4]. Найбільш перспективні з енергетичної та екологічної точки зору дослідження роботи двигунів, які працюють на водневому паливі, тому дослідження процесів згорання водневого палива займають значний спектр наукових досліджень закордонних вчених [5]. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. описують та досліджують процеси теплопередачі, які проходять від циліндрів до систем охолодження двигунів [6, 7]. Пристосування двигунів внутрішнього згорання до роботи в різних кліматичних умовах, шляхом підвищення системи охолодження, присвячені статті [8, 9]. Використання транспортних засобів працюючих на вуглеводневому паливі має значний вплив на оточуюче середовище. Не останніми актуальними темами є вплив енергетичної ефективності двигунів на екологічні аспекти, бо від цього залежить майбутнє усієї планети [10, 11].

Постановка завдання. Робота двигуна внутрішнього згорання в автомобілі дещо відрізняється від режимів роботи в літальному апараті. В літальних апаратах умови експлуатації та параметри більш критичні. Метою проведення натурних наземних випробувань гелікоптера є визначення усіх можливих параметрів його роботи для підтвердження ефективності та безперебійності роботи двигуна в різних режимах. Отримані дані в результаті випробувань повинні надати можливість аналізувати роботу двигуна для визначення більш чітких меж його використання. Тому першим етапом досліджень роботи двигуна є розроблення програми випробувань, яка буде охоплювати достатній спектр параметрів для виконання подальшого аналізу.

Основний матеріал дослідження. Об'єктом випробувань є двигун EJ25, який встановлюється на малогабаритному літальному апараті – гелікоптері.

Випробування склалися з чотирьох основних етапів:

- обкатка двигуна проводиться в три ступені при положеннях дросельної заслінки: 1 ступінь – 3%; 2 ступінь – 6%; 3 ступінь – 9%;
- визначення та оцінки швидкісних характеристик двигуна 4 ступені при положеннях дросельної заслінки: 1 ступінь – 25%; 2 ступінь – 50%; 3 ступінь – 75%; 4 ступінь – 100%;
- визначення та оцінка характеристики холостого ходу;
- визначення та оцінка рівномірності роботи двигуна.

Випробування передбачається проводити на стенді для двигунів DYNO.800 (рис.1).

Перед проведенням випробувань потрібно заміряти:

- теплові зазори в механіці приводу впускних та випускних клапанів;
- об'єм залитої в двигун оливи;
- компресійний тиск у циліндрах наприкінці такту стиснення на прогрітому двигуні;
- прогин ремня генератора;

До проведення випробувань потрібно обчислити різницю компресійного тиску в циліндрах та перевірити:

- відповідність різниці компресійного тиску в циліндрах згідно вимог ТУ;
- повноту відкриття (закриття) дросельної заслінки;
- якість палива, що використовується.

На всіх етапах проведення випробувань контролюються тиск палива в паливній системі, величина якого повинна дорівнювати $(2,7 \pm 0,4)$ кгс/см² ((38 ± 5) PSI), і параметри навколишнього середовища.

Умови проведення випробувань:

Випробування проводять у спеціально обладнаному приміщенні на стенді DYNO.800 за наступних умов:

- температура повітря на вході у двигун від -18 до +35°C;
- відносна вологість повітря не більше 95%;
- барометричний тиск повітря у приміщенні (95 ± 15) кПа.

Якщо температура виходить за вказані межі, її необхідно довести до заданих умов випробувань.

Випробування допускається проводити в приміщеннях, де можливе регулювання та підтримання його температури.

Паливо, яке використовується при випробуваннях, повинно мати документ, що свідчить про якість палива і описує його параметри.

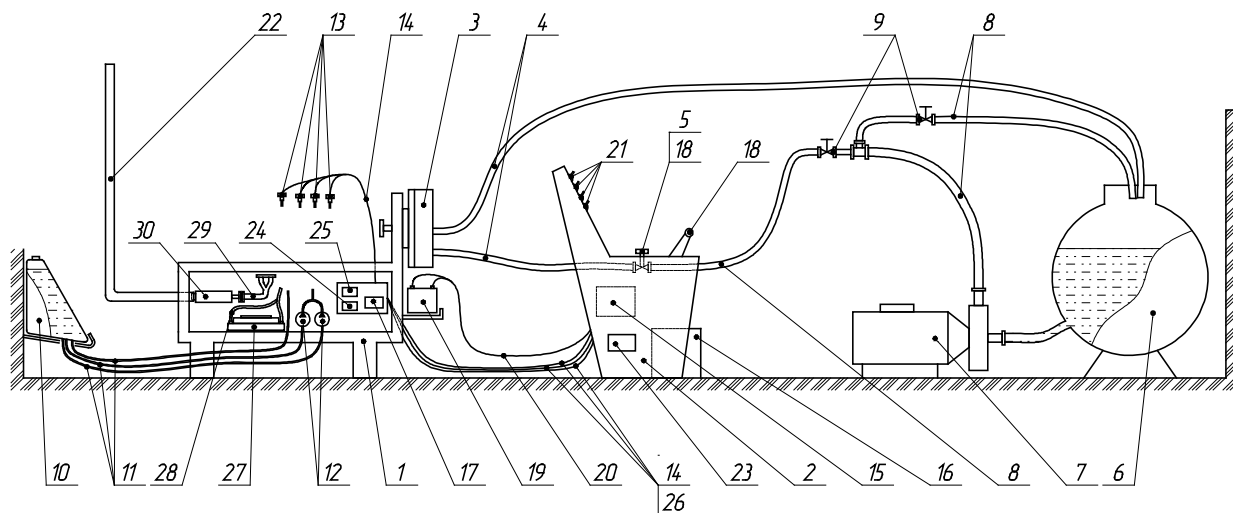
Після закінчення випробувань:

- потрібно заміряти:
 - теплові зазори в механіці приводу впускних та випускних клапанів;
 - об'єм зливої оливи (для визначення витрати оливи);
 - прогин ремня генератора;
 - компресійний тиск у циліндрах наприкінці такту стиснення на прогрітому двигуні;

Обчислити:

- годинну витрату оливи;
 - різницю компресійного тиску по циліндрах;
- Перевірити відповідність різниці компресійного тиску в циліндрах згідно вимог ТУ.

Параметри двигуна, що підлягають контролю та оцінці на етапах випробувань, вказані в таблицях 1-5.



- | | | |
|----------------------------|---|--|
| 1 – моторама | 14, 20, 26 – електричні джгути | 22 – трубопровід відведення відпрацьованих газів |
| 2 – консоль управління | 15 – пристрій збору та обробки інформації з підсистемою автоматичного керування електронними пристроями | 23 – ел.система керування двигуном |
| 3 – гідравлічне гальмо | 16 – персональний комп'ютер | 24 – блок запобіжників |
| 4, 8 – трубопроводи | 17 – погодна станція | 25 – блок реле |
| 5 – регулятор навантаження | 18 – виконавчі пристрої | 27 – радіатор із вентиляторами |
| 6 – бак для води | 19 – акумулятор | 28 – патрубки системи охолодження |
| 7 – водяний насос | 21 – вимикачі | 29 – випускний колектор |
| 9 – регулююча апаратура | | 30 – глушник |
| 10 – паливний бак | | |
| 11 – паливопроводи | | |
| 12 – паливні насоси | | |
| 13 – датчики | | |

Рис. 1. Випробувальний стенд «PRO 800 DYNAMOMETER»

Таблиця 1

Параметри двигуна, що підлягають контролю та оцінці на етапі обкатки

№ п/п	Найменування параметру	Од. вим.	1-а ступінь		2-а ступінь		3-я ступінь	
			Вимоги	Гран. відхилення	Вимоги	Гран. відхилення	Вимоги	Гран. відхилення
Параметри, що контролюються								
1	Положення дросельної заслінки	%	3	±0,5	6	±0,5	9	±0,5
2	Крутний момент на колінчастому валу	НЧ	21	±1	35	±1	44	±1
3	Частота обертання колінчастого валу	об/хв	2000	±200	2500	±200	3000	±200
4	Потужність двигуна	к.с (кВт)	6 (4,4)	±1 (±0,8)	12 (8,9)	±1 (±0,8)	19 (14,1)	±1 (±0,8)
Параметри, що оцінюються								
5	Витрата палива	л/год	≤6	–	≤7	–	≤8,5	–
6	Температура охолоджувальної рідини	°	≤+105	–	≤+105	–	≤+105	–
7	Температура відпрацьованих газів	°	≤+730	–	≤+730	–	≤+730	–
8	Тиск оливи	кгс/см ²	5	±1	5	±1	5	±1
9	Кут випередження запалення		18,5°	±1°	20,5°	±1	24°	±1°
10	Напруга живлення	В	14,3	±0,7	14,3	±0,7	14,3	±0,7

Таблиця 2

Параметри двигуна, що підлягають контролю та оцінці на етапі визначення та оцінки швидкісних характеристик двигуна

№ п/п	Найменування параметру	Од. вим.	1-я ступінь		2-я ступінь		3-я ступінь		4-я ступінь	
			Вимоги	Гран. відхилення	Вимоги	Гран. відхилення	Вимоги	Гран. відхилення	Вимоги	Гран. відхилення
Параметри, що контролюються										
1	Положення дросельної заслінки	%	25	±0,5	50	±0,5	75	±0,5	100	-0,5
Параметри, що оцінюються										
2	Максимальний крутний момент на колінчастому валу	НЧ	≥150	–	≥180	–	≥205	–	≥223	–
3	Частота обертання колінчастого валу при максимальному крутному моменті	об/хв	1800	±300	3500	±1000	3600	±1000	3600	±1000
4	Потужність двигуна при максимальному крутному моменті	к.с (кВт)	≥30 (≥23)	–	≥64 (≥47)	–	≥74 (≥55)	–	≥80 (≥60)	–
5	Максимальна потужність двигуна	к.с (кВт)	≥50 (≥37)	–	≥124 (≥92)	–	≥140 (≥105)	–	≥156 (≥115)	–
6	Частота обертання колінчастого валу за максимальної потужності двигуна	об/хв	4000	±800	5500	±500	5500	±500	5500	±500
7	Максимальна частота обертання колінчастого валу	об/хв	≥4800	–	≥5600	–	≥6000	–	≥6000	–
8	Максимальна витрата палива	л/год	≤20	–	≤35	–	≤40	–	≤42	–
9	Температура охолоджувальної рідини	°	≤+105	–	≤+105	–	≤+105	–	≤+105	–
10	Температура відпрацьованих газів	°	≤+880	–	≤+880	–	≤+880	–	≤+880	–
11	Тиск оливи	кгс/см ²	5	±1	5	±1	5	±1	5	±1
12	Напруга живлення	В	14,3	±0,7	14,3	±0,7	14,3	±0,7	14,3	±0,7

Таблиця 3

Параметри двигуна, що підлягають контролю та оцінці на етапі визначення та оцінки характеристик холостого ходу двигуна

	Од. вим.	Частота обертання колінчастого валу двигуна, об/хв				
		1000*+650	2000±100	2500±100	3000±100	3500±100
Витрата палива	л/год	≤2,5	≤3,5	≤5,5	≤7,6	≤10,0

* Відповідає повністю закритій дросельній заслінці

**Параметри двигуна, що підлягають контролю та оцінці
на етапі визначення нерівномірності роботи двигуна**

№ п/п	Найменування параметру	Од. вим.	Вимоги	Гран. відхилення
Параметри, що контролюються				
1	Максимальний крутний момент на колінчастому валу	НЧ	≥223	–
2	Частота обертання колінчастого валу двигуна при максимальному моменті, що крутить, і всіх працюючих циліндрах	об/хв	3600	±1000
3	Потужність двигуна при максимальному крутному моменті і всіх працюючих циліндрах	л.с (кВт)	≥80 (≥60)	–
Параметри, що оцінюються				
4	Умовний механічний ККД	–	≥0,37	–
5	Коефіцієнт рівномірності роботи циліндрів	–	≥0,95	–

Таблиця 5

**Параметри двигуна, що оцінюються додатково
перед початком випробувань та після їх завершення**

№ п/п	Найменування параметру	Од. вим.	Вимоги	Гран. відхилення
1	Загальний час етапів випробувань (обкатки та розгонів)	год	23	±0,5
2	Витрата оливи	л/год	≤0,065	–
3	Компресійний тиск у циліндрах в кінці такту стиснення	кгс/см ²	12	±1
4	Різниця компресійного тиску по циліндрах	кгс/см ²	≤0,5	–
5	Повнота відкриття закриття дросельної заслінки	%	0...100	–
6	Прогин ремня генератора при зусиллі (5±0,1) кгс	мм	10	±1
7	Теплові зазори в механізмі приводу впускних та випускних клапанів: впускних випускних	мм	0,20 0,25	±0,02 ±0,02

Для зручності проведення випробувань на стенді та скорочення часу на монтаж та демонтаж двигун встановлюється без паливного бака, насосів, фільтру, паливопроводів паливної системи; без радіатора, вентиляторів, трубопроводів системи охолодження; без вихлопних труб та глушника випускної системи, без контролера електронної системи керування.

На час проведення випробувань демонтуються виробы та замість них встановлюються наступні:

1) Встановлюється Витратомір повітря Dupo Airflow Meter 6.5", Part #430-806, Land&Sea Inc. замість фільтра повітряного AutoSport B-005, P/N 06733;

2) Датчик тиску Autometer Pressure Transducer, 100 PSI, Product #2246 замість датчик тиску АК1-3.17.02.00.00.146;

3) Датчик тиску 0-150 PSI Pressure Sensor, Part #435-150, Land&Sea Inc. замість Масляна пробка Subaru 11024AA141.

При проведенні випробувань використовуються такі види контрольно-вимірювальної апаратури та пристроїв:

– моторний випробувальний стенд DYNO-MAX Auto Test Stand, Land and Sea, USA.

– мотор-тестер S7000;

– пристрій для перевірки рівня охолоджуючої рідини в розширювальному бачку M7-003;

– мірна лінійка H5-001.00.

Результати даних роботи моторного стенду, вимірів, розрахунків, проведених робіт у процесі випробувань заносять до протоколу.

До протоколу входять:

– таблиця вимірів параметрів роботи двигуна (таблиця 5)

– швидкісна характеристика двигуна (роздруківка) (рис. 2).

Датчики та покажчики, що встановлюються на двигун та паливну систему:

– датчик тиску 1-го насоса місце встановлення паливний насос;

– датчик тиску 2-го насоса – паливний насос;

– датчик засмічення фільтра – паливний фільтр;

– датчик рівня палива – паливний бак;

– датчик температури ОР (двигуна) – двигун (головка права) д/стенду;

– датчик тиску оливи – двигун д/стенду;

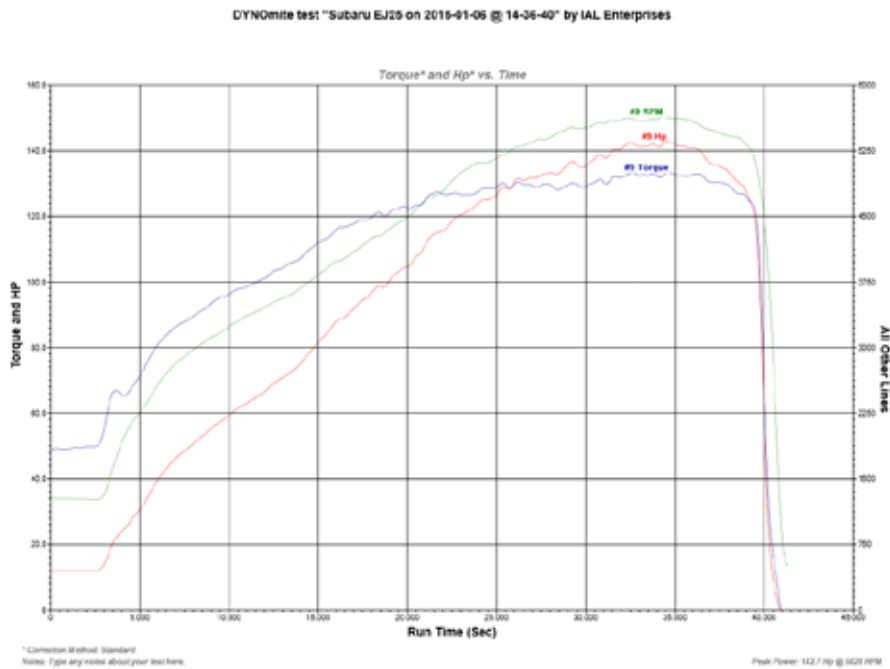


Рис. 2. Швидкісна характеристика двигуна (зразок)

Таблиця 5 (початок)

Таблиця вимірів параметрів роботи двигуна (зразок)

Розгін (Час виміру)	Параметри, що заміряються					
	Крутний момент, Н*м	Потужність двигуна, кВт	Частота обертання колінчастого валу, об/хв	Кількість витраченого палива, кг	Температура охол. рідини, °С	Температура оливи, °С
Вимоги	85...95	50...60	2995...3015		70...95	
1 (14:31)	191,3	111,2	4124		75	
2 (14:35)	194,1	109,5	3955		85	
3 (14:36)	175,2	142,8	5627		87	

Розгін (Час виміру)	Параметри, що заміряються									Виявлена несправність та час простою стенду	
	Температура палива, °С	Температура відпрацьованих газів, °С	Температура атм. повітря на вході у двигун, °С	Тиск оливи, кг/см ³	Температура оливи, °С	Барометричний тиск, кПа	Відносна вологість, %	Кут випередження запалення, град	Тиск у впускному тракті, кПа		арядка акумулятора, V
Вимоги	-18...+40	500...850	-18...+35	4,5...6,0	3,5...5,0					11,6...15,5	
1 (14:31)	16	876	26,1	5,7	4	101,6	20,6			14,4	
2 (14:35)	16	867	32,2	5,5	4	101,5	18,2			14,5	
3 (14:36)	16	876	42,2	5,7	4	101,7	15,5			14,6	

Мінімальна частота обертання, об/хв – 4000;
 Максимальна частота обертання, об/хв – 5627;
 Максимальний крутний момент при n=5600 об/хв (з діаграми), Н*м – 175,2;
 Потужність при максимальному крутному моменті, к.с. – 142,8.;

- датчик несправності двигуна – береться з контролера;
- датчик температури та тиску повітря – двигун;
- датчик температури охол. рідини – двигун (водяна сорочка);
- датчик положення колін валу – двигун;
- датчик положення дросельної заслінки – двигун (впускний колектор);
- датчик детонації – двигун;
- датчик кисню – вихлопний колектор.

Висновки. В процесі створення програми випробування двигуна внутрішнього згорання, який використовується в малогабаритних літальних апаратах, визначенні основні чотири етапи характерні для роботи двигуна. Також для кожного етапу визначені параметри, які контролюються та оцінюються, встановлені величини цих параме-

трів, тобто вимоги до їх значень та граничні відхилення та форми внесення їх значень. Програма має достатній об'єм параметрів для проведення повного аналізу роботи двигунів.

Перспективи подальших досліджень, полягають в тому, що всі наведені в статті заходи сприяють визначенню основних характеристик роботи двигуна внутрішнього згорання з достатньою точністю та можливості подальшого повного аналізу його придатності для роботи в літальних апаратах. Програма випробувань це основний етап для підготовки до серії випробувань на різних режимах роботи двигуна. Подальші дослідження полягають в проведенні серії таких випробувань та в напрямку можливого підвищення ефективності роботи двигуна внутрішнього згорання після проведенні більш детального аналізу даних, які отримані в процесі випробувань.

Список літератури:

1. Гашук П.М., Сичевський М.І., Домінік А.М. Про зміст поняття «Коефіцієнт корисної дії автомобіля». *Зб. наук. пр. «Вісник ЛДУ БЖД»*. 2016. № 14. С. 152–175.
2. Гашук П.Н. Энергетическая эффективность автомобиля. Львов: Свит, 1992. 208 с.
3. Гашук П.М., Нікіпчук С.В., Богачик Ю. Натурно-машинні засоби в моделюванні термодинамічних процесів, що перебігають у двигунах внутрішнього згорання. *Вісник Державного університету «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів»*. 1998. № 354. С. 3–9.
4. Гашук П.М., Нікіпчук С.В. Застосування hard-soft-технології моделювання робочого процесу в двигуні внутрішнього згорання. *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту: міжнародна науково-практична конференція. 16–19 жовтня 2018 р.*: наукові праці. Харків, 2018. С. 259–261.
5. Liu F. CFD-study on hydrogen engine mixture formation and combustion. *Göttingen: Cuvillier Verlag*, 2004. 123 p.
6. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: підручник. Київ: Арістей, 2006. 476 с.
7. Гашук П.М., Нікіпчук С.В. Особливості теплотворення в двигуні внутрішнього згорання. *Автомобільний транспорт*. Харків, 2018. № 42. С. 12–21. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2018.42.0.12.
8. Чередніков В.М., Череднікова О.В. Моделювання, конструювання та випробування системи охолодження ДВЗ з метою підвищення її ефективності. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* Харків: УкрДУЗТ, 2021. Вип. 198. С. 66–81. DOI: 10.18664/1994-7852.198.2021.256607
9. Чередніков В.М., Череднікова О.В., Гузик Д.В. Випробування вентилятора системи охолодження двигуна внутрішнього згорання гелікоптера в умовах жаркого клімату. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник*. 2021. Вип. 39. С. 54–61. DOI: 10.32347/2409-2606.2021.39.53-60
10. Gronowicz J. Ochrona środowiska w transporcie lądowym. *Szczecin: Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej*, 1996. 301 s.
11. Merksiz J. Ekologiczne aspekty stosowania silników spalinowych. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, 1995. 367 s.

Cherednikov V.M., Cherednikova O.V. PREPARATION FOR TESTS WITH THE CREATION OF A PROGRAM FOR DETERMINING THE CHARACTERISTICS OF HELICOPTER INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON THE LABORATORY STAND

The article deals with the task of checking the operability and reliability of the internal combustion engine of a helicopter. Engines which used in aircraft must be tested with a more complex verification of all characteristics than engines installed in ground vehicles. Also, aircraft engines will be more loaded during their operation and people's lives depend on the reliability of these engines. Energy efficiency and engine efficiency are also important. But in order to improve it, first you need to study the performance characteristics of the engine in different modes, and then make an analysis in order to increase the economy of the engine without losing its operational reliability. All tests will be done on the «PRO 800 DYNAMOMETER» test stand. The article describes the four main stages of the engine test process. At these stages, the speed characteristics of the engine, the characteristics of engine

idle speed and the regularity of engine operation are checked. Engine characteristics are studied at several throttle positions. The indicators of the devices that are measured are compared with the requirements for these values. The test program contains all the indicators that need to be recorded and their maximum deviations from the specified values in the measured ranges. During the experiment, the stand is recorded the necessary indicators in graphic form. The main characteristics are included such as engine power, torque, crankshaft speed, fuel consumption, coolant temperature, exhaust gas temperature, oil pressure and supply voltage. The article is described the requirements for the equipment, environment and fuel which used during experiments. Laboratory testing is planned as the next stage of scientific work. Tests will be based on the test preparation program and then engine operation parameters will be analyzed.

Key words: *engine power, fuel consumption, rotation frequency, exhaust gas temperature, engine efficiency.*

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 621.74:669

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/35>

Босий М.В.

Центральноукраїнський національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАТВЕРДІВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ ПРИ ІНТЕНСИВНОМУ ТЕПЛООБМІНІ

Показано, що особливо актуальною проблемою є дослідження термічного режиму затвердіння та охолодження алюмінієвого виливка при інтенсивному теплообміні. У статті розглядається модель затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву при інтенсивному теплообміні в залежності від умов відведення теплоти через металеву форму, а також теплообміну з навколишнім середовищем і описується диференціальними рівняннями теплопровідності Фур'є. Процес теплообміну в межах форми, по-перше, залежить від умов теплопередачі теплопровідністю і, по-друге, від теплопередачі із зовнішньої поверхні, яка відбувається природною конвекцією. Тому, необхідно оцінити швидкості охолодження по перетину сплаву, що затвердіває, визначити необхідні умови теплообміну на границі між сплавом і формою та вплив цих умов на процес затвердіння. Підбір матеріалів, розмір і умови охолодження та форми, які забезпечують необхідні швидкості охолодження та затвердіння сплаву визначаються теплопереносом, як по виливку, так і по формі, фазовим переходом в процесі затвердіння, фізичними властивостями сплаву, який затвердіває, і форми, розмірами, початковими та граничними умовами. Найкращим методом вирішення цих питань є створення фізико-математичної моделі, яка б описувала фізичне протікання процесів теплопереносу та затвердіння з швидкістю охолодження в період формування структури сплаву. Отже, актуальним питанням на даний час є математичне моделювання процесу затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву при інтенсивному теплообміні. Поставлена задача розв'язується визначенням швидкості охолодження алюмінієвого сплаву в процесі затвердіння при перетині температури ліквідуса та інтенсивному відводі теплоти з його поверхні. Вирішення даного завдання необхідно для визначення технологічних режимів, граничних і початкових умов, при яких можуть бути отримані нові сплави з мікрористалічними структурами. Наведено необхідні кінцево-різницеві рівняння, описаний алгоритм з використанням відомих експериментальних даних, проведено тестування наведеної моделі. Розглянуто вплив розмірів виливка і коефіцієнта теплопередачі на швидкість охолодження алюмінієвого сплаву при температурі ліквідусу.

Ключові слова: модель затвердіння, охолодження алюмінієвого сплаву, швидкість охолодження, коефіцієнт теплопередачі, метод кінцевих різниць.

Постановка проблеми. Лиття є найпоширенішим і найпростішим методом отримання готових деталей із сплавів. В залежності від складових виливка та режимів його охолодження можна отримати продукт різної якості та структури. Якість виливка залежить від багатьох факторів. Наприклад, при нагріванні та змішуванні різних сплавів властивості сплаву змінюються. При правильному підборі пропорцій домішок можна отримати сплав певної якості. Для цього потрібно знати, які хімічні перетворення відбуваються при змішуванні різних компонентів сплаву, а також повинні володіти інформацією про режими охолодження заданого сплаву, адже різні домішки реа-

гують по-різному на певні режими охолодження, внаслідок чого можна отримати виливок різної міцності та якості [1].

Процес виробництва виливків можна умовно поділити на два етапи. Перший етап: рідкий сплав із ковша розливається у форми. Другий етап отримання виливка – це затвердіння рідкого сплаву в формі. На цьому етапі важливо отримати однорідний за хімічним складом, механічними і фізичними властивостями сплав [1].

Формування структури відбувається в двофазній зоні, яка являє собою гетерогенну зону із ростом кристалів з оточуючим розплавом металу. Середній розмір кристалів прямопропорційний

ширині цієї зони, яка в свою чергу зворотньопропорційна відведеному потоку теплоти. Теплофізичні явища, які відбуваються в двофазній зоні включають процеси тепломасопереносу, фільтрації розплаву в міждендритному просторі та формування кристалів сплаву [2].

Представимо, що теплота кристалізації виділяється в середині інтервалу кристалізації, який обмежено рівноважними значеннями температур ліквідуса і солідуса, які відповідають початковому вмісту розчиненої домішки в розплаві, а швидкість кристалізації знаходять із рівноважної діаграми стану сплаву [2].

Процес формування виливка складається з фізико-хімічних явищ. Основу цього процесу складає затвердіння сплаву, що супроводжується переходом розплаву з рідкого стану в твердий. Найбільш ефективно процес твердіння сплаву може бути вивчений шляхом розгляду умов теплообміну між виливком і формою. Умови охолодження виливка зв'язують параметри підготовчого етапу технологічного процесу з основними параметрами процесу формування виливка, а отже, і з його якісними характеристиками. Методи дослідження кристалізації виливків поділяються на експериментальні і теоретичні. Найбільш розповсюдженим і, в той же час, точним експериментальним методом є метод виміру температури в об'ємі виливка за допомогою термопар. Цей метод дає можливість скласти повне уявлення про термічний режим затвердіння виливка. Однак його застосування можливе, але зі значними труднощами. Поряд з цим практикується метод вимірювання товщини (кірки) сплаву, який затвердів. Товщина (кірка) сплаву, яка затвердіває може бути визначена методом «обмацування», тобто періодичним зануренням зверху в розплав виливка щупу. По положенню щупа щодо нерухомої форми судять про товщину твердої кірки у даний момент часу. Теоретичні методи дослідження поділяються на аналітичні методи і методи моделювання. При аналітичному вивченні поставленої задачі складаються необхідні диференціальні рівняння, а потім знаходяться їх рішення. Отримані формули зв'язують між собою відповідні параметри процесу затвердіння виливка. Методи моделювання базуються на вивченні, наприклад, затвердіння виливка. З усіх теоретичних методів найбільший інтерес представляє аналітичний метод дослідження, тому що його кінцевим результатом є розрахункові формули, що можуть бути ефективно застосовані для вибору технологічного процесу лиття [2-4, 6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В таких роботах [4-7] відомо, що структура

литого виробу залежить від характеру протікання процесу затвердіння, коли закладаються основні фізико-хімічні властивості виливка. Формування макроструктури виливка визначається технологічними режимами заливки і охолодження розплаву металу в формі, а також конструктивні особливості виробу. Оскільки експериментальні дослідження процесів затвердіння виливків трудомісткі, вартісні, то широке розповсюдження отримали методи математичного моделювання з використанням комп'ютерної технології і чисельних методів розв'язку [8-11].

В роботі [11] вивчена конвекція в рідкому розплаві металу і при утворенні литої структури. Модель заснована на кристалізації багатокомпонентного сплаву з врахуванням конвекції, з розв'язком рівнянь, які описують процес тепломасопереносу в твердій, твердорідкій і рідкій фазах. Досліджено вплив вільної конвекції на температурні поля в розплаві металу і якість литої структури при затвердінні (кристалізації) великого зливка.

В статті [12] наведені результати аналізу процесів термо- та масопереносу в розплаві металу, який перебуває в рідко-твердому стані. Представлені результати експериментальних досліджень, що свідчать про фрактальний характер затвердіння притаманній більшості ливарних сплавів. Наведений математичний апарат опису процесу затвердіння з позиції тепло- та масопереносу в двофазній зоні та дифузії у фрактальних середовищах.

Приведена також математична модель затвердіння виливків в піщаній формі і алгоритм розрахунку нестационарних температурних полів в системі виливок-форма-зовнішнє середовище [13].

У процесі затвердіння формується первинна структура сплаву, яка визначає його механічні властивості. При цьому важливе значення має швидкість охолодження в процесі затвердіння. У разі низької швидкості відбувається формування монокристалічної структури сплаву, з підвищенням швидкості спостерігається подрібнення структури і підвищення механічних властивостей [14-17].

Натепер сучасний рівень розвитку технологій дозволяє забезпечувати високі швидкості охолодження при затвердінні і формуванні мікроструктур одночасно з формоутворенням виробів, наприклад з використанням способу лиття під тиском. Процес лиття під тиском полягає в заливанні розплавленого металу в камеру стискування (пресування) ливарної машини і наступному

виштовхуванні його через ливникову систему в порожнину металевої форми, яка заповнюється під тиском. Заповнення порожнини відбувається при високій швидкості впуску розплаву металу. У момент закінчення заповнення форми рух розплаву металу миттєво припиняється. Тиск, який миттєво зростає, притискає метал до робочої поверхні прес-форми та сприяє чіткому формуванню конфігурації виливка. У результаті отримуються точні і з гладкою поверхнею виливки. Крім того, завдяки тісному контакту між прес-формою і виливком зростає інтенсивність теплообміну, яка призводить до прискорення затвердіння виливка. Внаслідок гідравлічного удару поверхневий шар (0,02...0,2 мм) виливка отримується щільним, без газової пористості, бульбашки газу залишаються у внутрішніх шарах виливка або у розчині, що зменшує пористість та підвищує її міцність.

Цим методом можна по-перше мінімізувати за часом процес теплообміну між металом і формою до закінчення її заповнення за рахунок високої швидкості переміщення металу пресуючим поршнем. По-друге, процес дозволяє забезпечити щільний контакт між розплавленим металом і формою по закінченню заповнення за рахунок гідравлічного удару. Щільний контакт зменшує термічний опір на границі метал-форма, збільшує інтенсивність теплообміну і підвищує швидкість охолодження затвердіння металу.

З наведеного вище матеріалу зрозуміло, що для визначення умов формування мікрокристалічної структури лиття під тиском необхідно оцінити швидкості охолодження по перетину металу, який затвердіває. Визначити необхідні умови теплообміну на границі між металом і формою та вплив їх на процес затвердіння. А також підбір матеріалів, розмір і умови охолодження форми, які забезпечують необхідні швидкості охолодження затвердіння металу і визначаються теплореносом, як по виливку, так і по формі, фазовим переходом в процесі затвердіння, фізичними властивостями металу, який затвердіває і форми, розмірами, початковими і граничними умовами. Натепер найкращим методом вирішення цих питань є створення фізико-математичної моделі, яка б описувала фізичне протікання процесів теплопереносу та затвердіння з швидкістю охолодження в період формування структури металу.

Постановка завдання. Метою статті є математичне моделювання процесу затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву при інтенсивному теплообміні.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Рідкий алюмінієвий сплав, який заливають у металеву форму поступово втрачає надлишок теплоти що міститься в ньому, він поступово затвердіває і охолоджується. Теплота від виливка відводиться в форму і через неї в навколишнє середовище. Режим відведення теплоти, особливо в період затвердіння виливка, має дуже велике значення, він впливає на формування структури сплаву, що кристалізується, на його щільність і однорідність. Затвердіння виливка відбувається не відразу по всьому його перетину; воно починається в поверхневому шарі, потім переходить в глибинні шари і закінчується в підживлювачі або, в разі його відсутності, в зонах, які є термічними центрами виливка. При затвердінні чистих металів або евтектичних сплавів утворюється і переміщується фронт кристалізації, що відокремлює твердий метал від рідкого. У виливках, виготовлених зі сплаву, який кристалізується в інтервалі температур затвердіння відбувається в перехідній двофазній області, яка теж поступово переміщується від периферії виливка до центру. За інших рівних умов ширина перехідної області тим більша, чим більша різниця між температурами ліквідуса і солідуса сплаву, що заливається. Разом з тим ширина цієї області залежить також від перепаду температур по перетину виливка. Ці фактори безпосередньо впливають на формування структури сплаву, який кристалізується [2, 3].

Для того, щоб управляти процесом затвердіння виливка і забезпечити розвиток в сплаві оптимальної структури, необхідно, по-перше, використовувати закони кристалізації і, по-друге, навчитися регулювати теплообмін між металом і формою.

Розглянемо математичне моделювання процесу затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву при інтенсивному теплообміні із застосуванням диференціальних рівнянь теплопровідності Фур'є та чисельних методів розв'язку.

Так, як високі швидкості охолодження спостерігаються тільки в тонкостінних виливках, тому розглянемо модель процесу одновимірного теплообміну при затвердінні виливка. Схема моделі затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву наведена на рис. 1.

Математична модель теплопереносу процесу затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву при інтенсивному теплообміні описується диференціальними рівняннями теплопровідності Фур'є [1-3,18,20-22]:

$$\text{для рідкого розплаву: } \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T_1}{\partial x} \right), \\ 0 \leq x \leq x_1(t), T_1 \geq T_l, (1)$$

для розплаву в двофазній зоні:

$$\frac{\partial T_{2,3}}{\partial \tau} = a_{2,3} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T_{2,3}}{\partial x} \right) + \frac{L\rho_3}{c_2\rho_2} \frac{\partial \psi}{\partial \tau}$$

$$x_1(t) \leq x \leq x_{2,3}(t), T_s \leq T_{2,3} \leq T_l, \quad (2)$$

для твердої кірки:

$$\frac{\partial T_4}{\partial \tau} = a_4 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T_4}{\partial x} \right),$$

$$x_{2,3}(t) \leq x \leq x_4(t), T_4 \leq T_s, \quad (3)$$

для металевій формі:

$$\frac{\partial T_5}{\partial \tau} = a_5 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T_5}{\partial x} \right),$$

$$x_4(t) \leq x \leq x_5(t), T_5 \leq T_4 \quad (4)$$

де $T_1(x,t)$, $T_{2,3}(x,t)$, $T_4(x,t)$, $T_5(x,t)$ – температурне поле в рідкому розплаві, двофазній зоні (рідкий метал і метал, який затвердіває), твердій зоні (тверда кірка), металевій формі; $a_1, a_{2,3}, a_4, a_5$ – температуропровідність для рідкого розплаву металу, розплаву металу в двофазній зоні, твердій зоні, в металевій формі; L – питома теплота кристалізації; $\partial\psi/\partial\tau$ – швидкість виділення твердої фази; ψ – відносна кількість твердої фази при затвердінні металу ($0 \leq \psi \leq 1$); $T_l, T_s, T_o, T_n, T_\phi$ – температури: поточна, ліквідус, солідус; $x_o(t)$ – відстань від площини симетрії виливка до його поверхні.

Початкові умови:

Температури рідкого металу, кристалізації металу, твердого металу і форми приймаються сталими:

$$\left. \begin{aligned} T_1(x_1, t) &= T_p = \text{const} \\ T_{2,3}(x_{2,3}, t) &= T_{кр} = \text{const} \\ T_4(x_4, t) &= T_o = \text{const} \\ T_5(x_5, t) &= T_\phi = \text{const} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Граничні умови:

Тепловий потік по площині симетрії відсутній:

$$\lambda_1 \partial T(0, \tau) / \partial x = 0. \quad (6)$$

Теплообмін на границі між виливком і формою визначається коефіцієнтом теплопередачі контактного термічного опору і тепловим потоком від виливка в форму. Теплоємність термічного опору не враховується:

$$-\lambda_4 \partial T(x_o, \tau) / \partial x = \lambda_5 \partial T(x_o + \delta_3, \tau) / \partial x = k_3 (T(x_o, \tau) - T(x_o + \delta_3, \tau)), \quad (7)$$

де λ_4 і λ_5 – теплопровідність твердого металу і матеріалу форми; $k_3 = \lambda_3 / \delta_3$ – коефіцієнт теплопередачі контактного термічного опору (захисного покриття форми); λ_3 – теплопровідність покриття; δ_3 – товщина покриття.

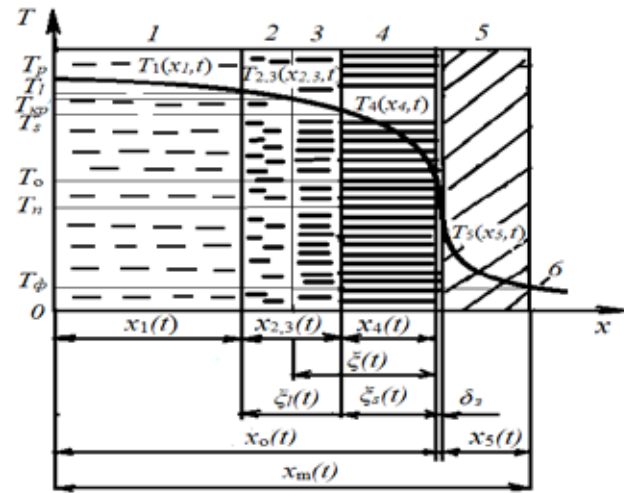


Рис. 1. Схема моделі затвердіння та охолодження алюмінієвого сплаву

1 – рідка фаза металу; 2,3 – двофазна зона (рідкий і твердий метал); 4 – тверда фаза металу; 5 – форма; 6 – розподіл температури по затвердінню металу і по формі; $T_p, T_l, T_s, T_o, T_n, T_\phi$ – температури: рідкого металу, ліквідус, солідус, твердого металу, поверхні форми в середині та поверхні форми з зовні; $x_1(t)$ – координата фронту рідкого металу; $x_{2,3}(t)$ – координата фронту рідкого металу і металу, який затвердіває (двофазна зона виливка); $x_4(t)$ – координата фронту твердого металу; $x_5(t)$ – координата фронту форми; $x_o(t)$ – відстань від площини симетрії виливка до його поверхні; $x_m(t)$ – відстань від площини симетрії виливка до зовнішньої поверхні форми; δ_3 – (зазор) товщина контактної термічної опору; $\xi_l(t)$ – фронт ліквідуса (початок затвердіння металу); $\xi_s(t)$ – фронт солідуса (кінець затвердіння металу); $\xi(t)$ – товщина металу, який затвердіває

Відведення теплоти з зовнішньої поверхні форми не враховується:

$$\lambda_5 \partial T(x_m, \tau) / \partial x = 0. \quad (8)$$

Розв'язок задачі виконуємо методом кінцевих різниць. Реальні розміри виливка і форми можна порівняти, тому використовуємо одновимірну сітку і явну кінцево-різницеву схему з першим порядком апроксимації за часом і з другим порядком по простору $O(\Delta\tau + \Delta x^2)$ [2,4,13,19-22], де $\Delta\tau, \Delta x$ – крок за часом і крок за простором. Якщо виливок має площину симетрії, температура на наступному кроці за часом розраховується за формулою:

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{\Delta\tau}{\Delta x^2} [a_{i+1} (T_{i+1}^j - T_i^j) - a_{i-1} (T_i^j - T_{i-1}^j)], \quad (9)$$

де T_i^{j+1} – температура на черговому часовому і поточному просторовому вузлі; $T_{i+1}^j, T_i^j, T_{i-1}^j$ – температура на попередньому, поточному і наступному просторових вузлах; i, j – поточні вузли за простором і часом.

Якщо виливок має вісь симетрії, використовується формула

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{\Delta\tau}{\Delta x^2} \left[a_{i+1} (i+0,5)(T_{i+1}^j - T_i^j) - a_{i-1} (i-0,5)(T_i^j - T_{i-1}^j) \right]. \quad (10)$$

За умовою відсутності теплового потоку на поверхні симетрії вилівка і на зовнішній поверхні форми $T_{i-1} = T_{i+1}$ звичайні різницеві рівняння для цих вузлів мають наступний вигляд:

для площини симетрії вилівка

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{2\Delta\tau}{\Delta x^2} a_i (T_{i+1}^j - T_i^j), \quad (11)$$

для зовнішньої поверхні форми

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{2\Delta\tau}{\Delta x^2} a_i (T_{i-1}^j - T_i^j). \quad (12)$$

Граничні умови розраховуються за такими кінцево-різницеvim рівняннями [2, 4, 13, 19]:

для зовнішньої поверхні вилівка

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{2\Delta\tau a_{i-1}}{\Delta x^2} \left[(T_{i-1}^j - T_i^j) + \frac{a_3}{\Delta x \lambda_{i+1}} T_{i+1}^j - T_i^j \right], \quad (13)$$

для внутрішньої поверхні форми

$$T_i^{j+1} = T_i^j + \frac{2\Delta\tau a_{i+1}}{\Delta x^2} \left[(T_{i+1}^j - T_i^j) + \frac{a_3}{\Delta x \lambda_{i+1}} T_{i-1}^j - T_i^j \right]. \quad (14)$$

Максимально допустимий крок за часом розраховується за умовою стійкості [2, 4, 20-22]: $\Delta t < \Delta x^2 / (2a)$.

Виділення теплоти кристалізації враховується з використанням схеми компенсації [23]. Особливістю моделі є формування шару (масиву значень вузлів), що містить відносна кількість виділеної твердої фази ψ . Цей масив формується таким чином. Для чергового «тимчасового» шару розраховуються температури вузлів вилівка і форми відповідно до представлених вище звичайних різницевих рівнянь. Потім у вузлах, які досягли температури ліквідуса, виконується перевірка: затвердів вузол чи ні.

Якщо вузол не затвердів (частка твердої фази менше одиниці), визначається різниця температур між поточним і наступним тимчасовим шаром $\Delta T_{ш} = T_i^j - T_i^{j+1}$. Потім розраховується приріст відносної кількості твердої фази в період між «поточним» і «наступним» тимчасовими шарами $\Delta\psi = c_{2,3} \Delta T_{ш} / L$. Далі розраховується реальний приріст температур ΔT_i для «чергового» шару з урахуванням виділення теплоти кристалізації $L_r = \Delta\psi \frac{d\psi}{dT}$, де $d\psi/dT$ – швидкість виділення твердої фази в інтервалі температур затвердіння; тобто, це швидкість кристалізації, яку можна визначати по

діаграмі стану сплаву, а в разі лінійної залежності її можна розрахувати за формулою $d\psi/dT = 1/(T_l - T_s)$.

Залишкова температура у вузлі, який знаходиться нижче температури ліквідуса та ще не затвердів ($\psi < 1$), дорівнює $T_i^{j+1} = T_i^j - \Delta T_r$. Тестування моделі проведено порівнянням з літературним джерелом [24], де наведені графіки зміни температури в центрі віссісиметричного вилівка в процесі його затвердіння при литті з кристалізацією під тиском. В роботі [24] по різкому збільшенню швидкості охолодження після сталої ділянки при температурі затвердіння (збільшення швидкості обумовлено завершенням процесу виділення теплоти кристалізації) час затвердіння становить 19 с. Діаметр вилівка 50 мм, висота 150 мм, матеріал – алюміній. З використанням моделі були отримані результати зміни температури в аналогічних умовах і досліджено вплив коефіцієнта теплопередачі термічного опору на зміну температур.

В роботі [25], встановлено, що при литті під тиском коефіцієнт теплопередачі k_3 може досягати $90 \cdot 10^3 - 119 \cdot 10^3$ Вт/(м²·К). В якості мінімального значення прийнято $k_3 = 1 \cdot 10^3$ Вт/(м²·К), що відповідає литтю в металеві форми з товщиною захисного покриття 0,5 мм. При моделюванні було прийнято, що температурний інтервал затвердіння сплаву дорівнює 2 К.

За допомогою наведеної моделі був виконаний детальний аналіз процесу теплообміну вилівка зі сплаву на алюмінієвій основі, при затвердінні в сталевій формі і при умові інтенсивного теплообміну: $T_l = 654$ °С, $T_s = 643$ °С, $L = 390$ кДж/кг. Характерні розміри вилівка: нижній діаметр – 35 мм, верхній діаметр – 55 мм, висота – 75 мм. Теплофізичні властивості для алюмінієвого сплаву; розплав, двофазна зона, тверда фаза наступні:

- теплопровідність – $\lambda = 85; 91,5; 102$; Вт/(м·К);
- теплоємність – $c = 1268; 1173; 1083$; Дж/кгК;
- густина – $\rho = 2225; 2300; 2550$; кг/м³.

Результати розрахунків і експериментальні дані наведені на рис. 2 і рис. 3 та в табл. 1, де 1,2,3,4,5 варіанти графіків, k_3 і вказано час до закінчення затвердіння вилівка. Видно, що затвердіння відбувається за 16,7 с, якщо k_3 ближче до $4,7 \cdot 10^3$ Вт/(м²·К), що можна порівняти з експериментальними даними [24], де він дорівнює 19 с. Додатково було виконано порівняння результатів представлених розрахунків з результатами вимірів температур при литті під низьким тиском [26]. Діаметр вилівка склав 50 мм, товщина форми 25 мм, k_3 змінювався в діапазоні $1,8 \div 2,3 \cdot 10^3$ Вт/(м²·К),

час затвердіння становить 27 с. Для порівняння з розрахунковими даними ці експериментальні дані внесені до табл. 1.

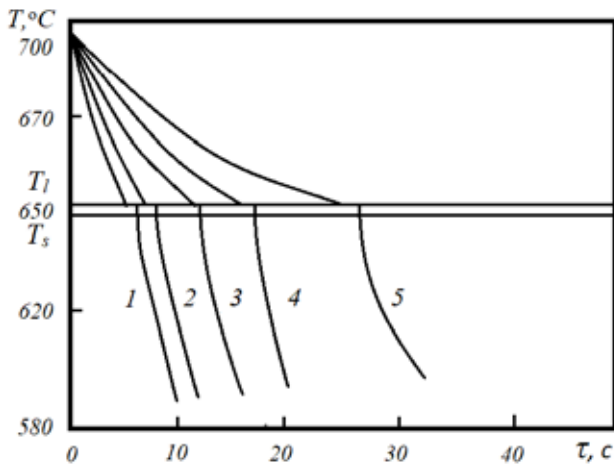


Рис. 2. Залежність зміни температур у виливку з алюмінієвого сплаву від часу до закінчення затвердіння

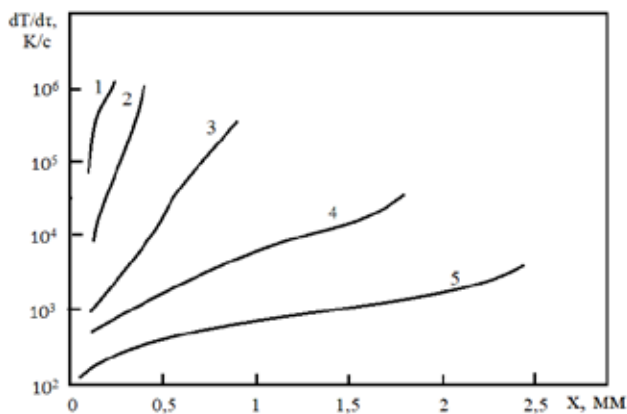


Рис. 3. Вплив відстані від площини симетрії виливка на швидкість охолодження при перетині температури ліквідуса

Значення параметрів в табл. 1 показують відповідність моделі, що використовується, реальному фізичному процесу і демонструють вплив k_3 на процес теплообміну.

Видно, що зміна k_3 в межах реальних значень збільшує час до закінчення затвердіння більш,

ніж в два рази. Слід зазначити, що використані для моделювання значення k_3 близькі до значень, отриманих в [27], де k_3 змінювався в процесі затвердіння від $3,4 \cdot 10^3$ до $0,9 \cdot 10^3$ Вт/(м²·К).

На рис. 2 графіки 1,2,3,4,5 відповідають швидкості охолодження для виливка, де 0,25, 0,5, 1, 1,5, 2 мм – відстані від площини симетрії до охолоджувальної поверхні виливка. Товщина форми в два рази більше товщини виливка. З рис. 2 видно, що в умовах швидкісного затвердіння: різниця в швидкостях охолодження по перетину виливка може відрізнятись майже в декілька разів і відповідно структура і механічні властивості сплаву будуть сильно відрізнятись по перетину; при відстані від площини симетрії до охолоджуваної поверхні понад 2 мм швидкості 10^4 недосяжні навіть на охолоджуваній поверхні. Це дозволяє вважати, що механічні властивості будуть покращені незначно; при відстані від площини симетрії до охолоджуваної поверхні до 1 мм включно можуть бути досягнуті швидкості охолодження, які перевищують 10^4 здебільшого по перетину виливка і досягають 10^6 на поверхні. Для цього діапазону товщини можливе отримання деталей з мікродисперсними структурами і поліпшеними механічними властивостями сплаву.

Більш детальна інформація може бути отримана тільки після проведення натурного експерименту з конкретним сплавом і порівняння розрахованої швидкості охолодження з механічними та структурними характеристиками.

Висновки

1. Використання наведеної моделі дозволяє розраховувати зміну температури з часом в будь-якій точці виливка і форми, визначити швидкість охолодження в процесі формування структури алюмінієвого сплаву, визначити швидкість переміщення руху твердої фази в просторі.

2. Виконано розрахунок теплопереносу методом кінцевих різниць, враховано виділення теплоти кристалізації схемою компенсації і розрахунок швидкості охолодження при перетині температури ліквідуса.

Таблиця 1

Порівняння розрахункових і експериментальних даних

Параметри	Варіанти графіків				
	1	2	3	4	5
Значення k_3 , 10^3 Вт/(м ² ·К)	95	40	8	4,7	2,5
Час до закінчення затвердіння, с	6,5	8,1	11,3	16,5	26,3
Час до закінчення затвердіння, с [24]				19	
Значення k_3 , 10^3 Вт/(м ² ·К) [26]					1,8-2,3
Час до закінчення затвердіння, с [26]					27

3. Оцінка точності результатів проводилася в формі з наявними експериментальними даними, шляхом порівняння розрахункових значень зміни що обґрунтовує достовірність отриманих результатів з задовільною точністю температури і швидкості охолодження виливка

Список літератури:

1. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки: Учебник для вузов. М: Машиностроение. 1998. 360 с.
2. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки: учеб. пособие для вузов. Ч.1. Тепловые основы теории. Затвердевание и охлаждение отливки. М: Машиностроение. 1976. 327 с.
3. Баландин Г.Ф. Основы теории формирования отливки: учеб. пособие для вузов. Ч.2. Формирование макроскопического строения отливки. М: Машиностроение. 1976. 334 с.
4. Лейбензон В.О., Пілюшенко В.Л., Кондратенко В.М., Хричиков В.Є., Недопьокін Ф.В., Білоусов В.В., Дмитрієв Ю.В. Твердження металів і металевих композицій. Підручник. Київ: Науково-виробниче підприємство «Видавництво “Наукова думка” НАН України». 2009. 414 с.
5. Хричиков В.Є., Меняйло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів. Навчальний посібник. Видання друге доопрацьоване. Дніпропетровськ: НМетАУ. 2015. 89 с.
6. Могилатенко В. Г., Пономаренко О.І., Ямшинський М. М., Дроб'язко В. М., Кочешков А. С. Теоретичні основи ливарного виробництва. Навчальний посібник. Харків: НТУ «ХПІ». 2008. 288 с.
7. Ясюков В.В., Лысенко Т.В., Козишкурт Е.Н., Солоненко Л.И. Процессы кристаллизации и затвердевания отливок в разовых литейных формах. *Металл и литье Украины*. 2018. № 11-12. С. 1-8.
8. Токова О.В. Задача побудови комп'ютерної технології моделювання термічних процесів ливарного виробництва. *Control systems and computers*. 2018, № 4. УСиМ. 2018, № 4. С. 84-95.
9. Рафальский И.В., Арабе А.В., Лущик П. Е. Применение компьютерного термического анализа для моделирования процесса затвердевания отливок из алюминиевых сплавов. *Литье и металлургия*. 2010. № 1(54). 2(55). С. 115-121.
10. Гилева Э.А., Соколова О.О., Труфанов Н.А. Численное исследование процесса кристаллизации заготовки превентора. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. № 5.
11. Труфанов Н.А., Шаяхметова Л.Р. Численное исследование влияния конвекции расплава на процесс кристаллизации слитка. *Фундаментальные исследования*. № 1. 2016. С. 72-78.
12. Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Иванова Л.Х. Математичні основи фрактального тепло і масопереносу в двофазній зоні розплаву металу. «Сучасні проблеми металургії». № 25. 2022. С. 35-44.
13. Мамишев В.А., Шинский О.И., Соколовская Л.А. Физико-математические аспекты затвердевания отливок разной геометрии в песчаной форме. *Металл и литье Украины*. № 11. (258). 2014. С. 21-24.
14. Рафальский И.В., Лущик П.Е. Математическое моделирование процесса затвердевания и разработка технологий изготовления бездефектных отливок из алюминиевых сплавов. *Литейное производство и металлургия*. 2017. С. 127-133.
15. Лущик П. Е. Определение параметров кинетики затвердевания и моделирование литейных процессов при получении отливок из модифицированных силуминов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04. Литейное производство. Минск. 2018. 30 с.
16. Кувыркин Г.Н., Лепешкин А.К. Математическое моделирование процессов затвердевание металлов в условиях высокоинтенсивного охлаждения. *Серия. «Естественные науки»*. 2007. № 3. С. 42-53.
17. Меняйло Е.В. Теплофизическая модель ускоренного затвердевания центральных зон отливок. *Процессы литья*. 2012. № 6 (96). С. 14-21.
18. Буляндра О.Ф., Драганов Б.Х., Федорів В.Г., Бессараб О.С., Міщенко А.В., Слітенко А.Ф. Теплотехніка. Підручник. К: Вища школа. 1998. 334 с.
19. Пелых С.Г., Семесенко М.П. Оптимизация литейных процессов. Киев. «Вища школа». 1977. 192 с.
20. Перестюк М.О., Маринець В.В. Теорія рівнянь математичної фізики. Підручник. Київ: Либідь. 2006. 424 с.
21. Вайсфельд Н. Д., Реут В. В. Рівняння математичної фізики. Навчальний посібник. для спеціальності «Прикладна математика». Одеса: Одеськ. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова. 2018. 194 с
22. Курпа Л.В., Лінник Г.Б. Рівняння математичної фізики. Навчальний посібник. Харків: Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ». 2011. 312 с.
23. Самойлович Ю.А., Кабаков З.А. Расчет затвердевания слитка из двойного сплава на основе «схемы компенсации». *Изв. АН. Сер. Металлы*. 1979. Т. 4. С. 65–67.
24. Кабанов П.Г. Математическое моделирование процесса кристаллизации жидкого металла в условиях внешнего воздействия. *Сиб. журн. индустр. математики*. 2007. Т. 10. № 4(32). С. 55–60.

25. Hamasaiid A., Dour G., Dargusch M.S., Loulou T., Davidson C., Savage G. Heat-transfer coefficient and in-cavity pressure at the casting-die interface during high-pressure die casting of the magnesium alloy AZ91D. *Metallurgical and Materials Trans.* 2008. V. 39, N 4. P. 853–864.
26. Марширов В.В., Тимофеев Г.И., Трифонов Ю.И. Влияние избыточного давления на теплообмен расплава с металлической формой. *Литейное производство.* 1987. Т. 10. С. 21–22.
27. Zhang L., Li L. Determination of heat transfer coefficients at metal/chill interface in the casting solidification process. *Heat and Mass Transfer.* 2013. V. 48, N 8. P. 1071–1080.

Bosyi M.V. MATHEMATICAL MODELING OF THE SOLIDIFICATION AND COOLING OF ALLOY WITH INTENSIVE HEAT EXCHANGE

It is shown that the study of the thermal regime of solidification and cooling of an aluminum casting with intensive heat exchange is a particularly relevant problem. The article considers the model of solidification and cooling of an aluminum alloy with intensive heat exchange depending on the conditions of heat removal through the metal form, as well as heat exchange with the surrounding medium and is described by the differential equations of Fourier thermal conductivity. The process of heat exchange within the mold firstly depends on the conditions of heat transfer by thermal conductivity and secondly on the heat transfer from the outer surface which occurs by natural convection. Therefore, it is necessary to estimate the cooling rate along the section of the solidifying alloy, to determine the necessary heat exchange conditions at the boundary between the alloy and the mold and the effect of these conditions on the solidification process. The selection of materials, the size and cooling conditions of the mold, which ensure the necessary cooling and solidification rates of the alloy, are determined by heat transfer, both in the casting and in the mold, the phase transition during the solidification process, the physical properties of the alloy that solidifies, and the mold, initial and final dimensions conditions. The best method for solving these issues is to create a physical-mathematical model that would describe the physical flow of heat transfer and solidification processes with the cooling rate during the formation of the alloy structure. Therefore, the current issue is the mathematical modeling of the process of solidification and cooling of an aluminum alloy with intensive heat exchange. The task is solved by determining the cooling rate of the aluminum alloy during the solidification process when the temperature of the liquidus is crossed and heat is intensively removed from its surface. Solving this task is necessary to determine technological regimes, boundary and initial conditions under which new alloys with microcrystalline structures can be obtained. The necessary finite-difference equations are presented, the algorithm is described, and the given model was tested using known experimental data. The influence of the dimensions of the casting and the heat transfer coefficient on the cooling rate of the aluminum alloy at the liquidus temperature is considered.

Key words: solidification model, aluminum alloy cooling, cooling rate, heat transfer coefficient, finite difference method.

Куц Г.О.

Інститут загальної енергетики Національної академії наук України

Тесленко О.І.

Інститут загальної енергетики Національної академії наук України

ДОПОВНЕННЯ МЕТОДИЧНИХ ПОЛОЖЕНЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВНОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОДУКЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВИРОБНИЦТВ

У статті проаналізовані методики визначення складових повної енергоємності, як показника енергетичної ефективності виробництва продукції, виконання робіт та надання послуг та які регламентуються національними нормативними документами. Зокрема, ДСТУ 3682-98 «Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг». Однак деякі складові повної енергоємності не враховані у цьому національному стандарті та досі не мають чітких алгоритмів їх визначення. Науковці Інституту загальної енергетики НАН України займаються розвитком цих методик з часу прийняття стандарту. Показано необхідність доповнення цих методик. Автори цієї статті запропонували додатково враховувати такі складові повної енергоємності продукції промислових виробництв: витрати енергоресурсів на комунально-побутові потреби, а також втрати теплової та електричної енергії при їх транспортуванні та розподіленні. На прикладі виробництва сталі з використанням киснево-конверторної технології в металургійній промисловості показано, що витрати паливно – енергетичних ресурсів на комунально – побутові потреби можуть досягати до 0,5% від повної енергоємності сталі (або 3,920 кг у.п./т сталі), а втрати теплової та електричної енергії можуть досягти до 2,8 % від повної енергоємності сталі (або 22,704 кг у.п./т сталі). Розрахунки показують, що з урахуванням додаткових складових повна енергоємність киснево-конверторної сталі з урахуванням утилізації вторинних енергетичних ресурсів дорівнює 807,484 кг у.п./т сталі. Запропоновані доповнення існуючих методик визначення повної енергоємності промислових виробництв можуть бути використані в таких енергоємних виробництвах як чорна металургія, нафтохімічна, переробна та інші галузі.

Ключові слова: енергоємність, складові, енергоресурси, енергоносії, сировина, технологічний процес, промислове виробництво.

Постановка проблеми. Одним із важливих показників в проведенні аналізу ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР), сировини та матеріалів у виробництві продукції є її енергоємність. Порівняно з такими показниками як коефіцієнт корисної дії, коефіцієнт корисного використання енергії, які носять локальний характер по визначенню обсягів витрат енергії на одиницю продукції, енергоємність характеризує рівень інтенсифікації виробництва, розкриває можливі резерви використання енергетичного потенціалу виробничих потужностей підприємств. Проведення розрахунків енергоємності продукції чи послуг дозволяє визначити прямі (безпосередні) та непрямі (опосередковані, матеріалізовані) витрати енергоресурсів у виробничих процесах, що відповідає терміну «повна енергоємність продукції» [1]. Цей показник визначається як відношення прямих витрат ПЕР та енергії,

матеріалізованої у спожитих енергоресурсах, енергоносіях, сировині, матеріалах, основних виробничих фондах, а також витрат енергії при транспортуванні, захисті навколишнього середовища та трудовитрат до обсягу виробництва продукції, виконанню робіт та/або надання послуг (ПРП) у натуральному, умовному чи вартісному виразах. Підвищення ефективності енерговикористання та оптимізація енергоспоживання є актуальним напрямом розвитку сучасних промислових виробництв, виконання робіт та надання послуг, а удосконалення методичних положень визначення енергоємності ПРП цих видів діяльності дозволяє правильно визначати потенційні шляхи енергетичного вдосконалення виробництв, робіт та послуг.

Аналіз останніх досліджень. Розрахунок прямої чи повної енергоємності ПРП базується на показниках технологічних, цехових та загально-

виробничих нормах питомих витрат енергоресурсів на їх виробництво [2], а також витрат в допоміжних технологічних процесах і комунально-побутових потребах (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, освітлення та інше), пов'язаних з основним виробництвом. До складу норм питомих витрат енергоресурсів на одиницю ПРП не включаються їх витрати та втрати, обумовлені відступом від прийнятої технології, режимів роботи устаткування та якості сировини і матеріалів.

Існують різні методологічні підходи до визначення повної енергоємності продукції, огляд яких наведено у [3, 4].

В чинних методиках та нормативних документах визначення повної енергоємності ПРП [1-7] не надано алгоритми розрахунку таких складових, як витрати ПЕР, матеріалів та сировини на комунально- побутові потреби та не враховуються втрати теплової та електричної енергії в технологічних процесах, транспортуванні та розподілу на загальновиробничих та цехових рівнях.

Метою статті є доповнення методичних положень визначення повної енергоємності продукції промислових виробництв для усунення наведених вище недоліків.

Виклад основного матеріалу. Повна енергоємність одиниці ПРП з урахуванням їх складових [4] визначається за наступною формулою з доповненнями авторів щодо врахування витрат енергоресурсів на комунально – побутові потреби та втрат теплової та електричної енергії:

$$E_{n.e} = \{ [B_{o.n} - (B_{z.sp} + B_{m.sp} + B_{n.sp})] - \sum_i \theta_{m,p}^i \cdot N_{m,p}^i + m_{c.m}^j \cdot \sum_j \theta_{c.m}^j \cdot N_{c.m}^j + m_{en}^k \cdot \sum_k \theta_{en}^k \cdot N_{en}^k + \sum_z \sum_p B_{mp}^z \cdot N_{mp}^p + \sum_q K_{o,p}^q \cdot C_{o,p}^q + \sum_q B_{n,c}^q \cdot N_{n,c}^q + \theta_{p,c} \cdot N_{p,c} + \sum_i K_{k,n}^i \cdot N_{k,n}^i + \sum_h K_{amp}^h \cdot N_{amp}^h \} / N_{o.n}, \text{ кг у. п. / одиницю виміру ПРП} \quad (1)$$

Нижче наведено значення кожної складової, яка входить до формули (1), відносно $N_{o.n}$ – обсягу ПРП, вироблених або наданих підприємством, у натуральному, умовному чи вартісному виразах (одиницях виміру).

1.1. Складова $[(B_{o.n} - (B_{z.sp} + B_{m.sp} + B_{n.sp}) / N_{o.n})]$ – енергоємність ПРП на стадії кінцевої технологічної схеми, кг у. п. / одиницю виміру ПРП:

де $B_{o.n}$ – обсяг палива та енергії, використаних на виробництво ПРП, з урахуванням безпосередніх втрат енергоресурсів в технологічному процесі, кг у. п.;

$B_{z.sp} + B_{m.sp} + B_{n.sp}$ – відповідно обсяги вторинних енергоресурсів: горючих, теплових та надлишкового тиску, утилізованих при виробництві ПРП, кг у. п.

1.2. Складова $[\sum_i \theta_{m,p}^i \cdot N_{m,p}^i / N_{o.n}]$ – енергоємність вторинних (супутніх) матеріальних ресурсів, які утворюються в процесі виробництва осно-

вної продукції, кг у. п./одиницю виміру продукції: де i – індекс виду вторинних матеріальних ресурсів; $\theta_{m,p}$ – питомі витрати енергоресурсів при утворенні вторинних матеріальних ресурсів, кг у. п./т; $N_{m,p}^i$ – обсяг вторинних матеріальних ресурсів, т.

1.3. Складова $[m_{c.m}^j \cdot \sum_j \theta_{c.m}^j \cdot N_{c.m}^j / N_{o.n}]$ – енергоємність сировини, матеріалів, напівфабрикатів чи збірних вузлів у натуральному, умовному чи вартісному виразах, кг у. п./ одиницю виміру продукції;

де j – індекс виду сировини, матеріалів, напівфабрикатів чи збірних вузлів;

$\theta_{c.m}^j$ – питомі витрати енергоресурсів на виробництво вищезазначених видів, кг у. п. / одиницю виміру зазначених видів;

$m_{c.m}^j$ – частка обсягу окремих вищезазначених видів;

$N_{c.m}^j$ – обсяги окремих вищезазначених видів у відповідних одиницях виміру (кг, м³, штук, умовні одиниці).

1.4. Складова $[m_{en}^k \cdot \sum_k \theta_{en}^k \cdot N_{en}^k / N_{o.n}]$ – енергоємність окремих видів енергоносіїв, кг у. п./ одиницю виміру енергоносія;

де k – індекс виду енергоносія;

m_{en}^k – частка обсягу енергоносія, використаного безпосередньо у технологічному процесі виробництва продукції;

θ_{en}^k – питомі витрати паливно-енергетичних ресурсів, матеріалізованих у k –тому виду енергоносія, кг у. п./ одиницю виміру енергоносія;

N_{en}^k – обсяг k –того виду енергоносія у одиниці його виміру.

Ця складова враховує енергоємність усіх енергоносіїв, які використовуються безпосередньо у технологічному процесі виробництва продукції: стиснуте повітря, кисень, інертні гази, вода тощо. Для енергоносіїв враховуються тільки витрати енергії (електричної та теплової) на їх видобуток або виробництво без урахування їх енергетичного потенціалу,

1.5. Складова $[\sum_z \sum_p B_{mp}^z \cdot N_{mp}^p / N_{o.n}]$ – енергоємність транспортування продукції, сировини, матеріалів, енергоресурсів, енергоносіїв та інших ресурсів, необхідних для виробництва основних видів продукції, кг у. п./ одиницю обсягу перевезення на визначену відстань, кг у. п./ т·км/одиницю виміру продукції;

де z – індекс виду транспорту;

p – індекс виду транспортованих ресурсів;

θ_{mp} – питомі витрати енергоресурсів на процеси транспортування, кг у. п./ т·км.

N_{mp} – обсяги транспортованих ресурсів, т·км.

За даною складовою розраховується енергоємність тільки для внутрішнього транспортування

виробництва підприємства. За оцінкою стандартів ДСТУ3682-98 та ГОСТ Р 51750-2001 [1, 6] енергоємність внутрішнього транспортування до повної енергоємності виробництва незначна і можна приймати в межах від 0,01% до 0,05%.

1.6. Складова $\left[\sum_q K_{o,\phi}^q \cdot C_{o,\phi}^q / N_{o,n} \right]$ – енергоємність основних виробничих фондів (ОВФ), амортизованих при виробництві продукції, кг у. п./одиночку виміру продукції,

де q – індекс виду ОВФ;

$K_{o,\phi}^q$ – коефіцієнт амортизації q -го виду ОВФ, кг у. п./натуральну одиницю ОВФ;

$C_{o,\phi}^q$ – обсяг ОВФ, які використовуються при виробництві ПРП, в одиницях виміру ОВФ.

В залежності від мети енергетичного аналізу, повну енергоємність ОВФ визначають за весь життєвий цикл промислового об'єкту з виробництва продукції або за станом на певний проміжок часу [8]. Ці два підходи до енергетичного аналізу умовно можна назвати проектним і експлуатаційним підходами. При проектному підході визначення повної енергоємності ОВФ здійснюється на всіх етапах їх створення – від проектування, будівництва споруд, закупівлі обладнання і виконанні ремонтно-профілактичних робіт при експлуатації, аж до виводу з експлуатації та ліквідації (утилізації) промислового об'єкту та його технологічного обладнання. При експлуатаційному підході обмежуються визначенням повної енергоємності ОВФ на поточний час. При проектному підході для оцінки загальної ефективності виробничого об'єкта використовується енергетичний аналіз, а при експлуатаційному – для моніторингу ефективності функціонування існуючого об'єкта енергетичного аналізу виробництва, технології або продукції шляхом порівняння з іншими або з цими ж об'єктами в інші роки. Обсяги ОВФ вимірюються як у вартісних, так і в натуральних показниках. Для виконання енергетичного аналізу необхідно користуватися вартістю ОВФ в натуральних показниках або їх оцінкою, визначеною на підставі інформації про повну початкову вартість.

При розрахунку енергоємності ОВФ важливим показником є коефіцієнт амортизації $K_{o,\phi}$, який безпосередньо залежить від норми амортизації відрахування. Наприклад, за даними [1, 6] величина $K_{o,\phi}$ для ОВФ доменного виробництва дорівнює 2,74 % від повної технологічної енергоємності чавуну та доменного шлаку. У випадку використання імпортного обладнання і матеріалів при виробництві ПРП, повні енерговитрати на їх функціонування необхідно визначати по їхній вартості і енергетичному еквіваленту валюти в рік закупівлі [8].

При подовженні терміну служби ОВФ або при інших змінах, в результаті яких будуть змінюватись повні енерговитрати, ОВФ потребують повторних розрахунків їх енергоємності. Для багатопродуктових виробництв розрахунок ОВФ виконується для кожного розподілу продукції на основну та вторинну (супутню) з подальшим сумуванням у відповідності до технології виробництва.

1.7. Складова $\left[\sum_q B_{n,c}^q \cdot N_{n,c}^q / N_{o,n} \right]$ – енергоємність природоохоронних заходів (технологій), застосованих для захисту навколишнього середовища від негативного впливу при виробництві ПРП, кг у. п. / одиницю виміру ПРП:

де q – індекс безповоротних відходів в навколишнє середовище від виробництва ПРП;

$B_{n,c}^q$ – обсяг прямих витрат енергоресурсів та матеріалізованих в енергоносіях, сировині та інших використаних ресурсах, кг у. п./т шкідливих речовин;

$N_{n,c}$ – обсяги безповоротних шкідливих речовин, утворених при виробництві ПРП, т.

Енергоємність природоохоронних заходів $e_{n,c}$ визначається, як сума трьох складових: енергоємності очищення газоподібних викидів $e_{g,z}$, стічних вод (рідин) $e_{e,p}$ та знешкодження твердих відходів $e_{e,m}$ за формулою [10, 11]:

$$e_{n,c} = e_{g,z} + e_{e,p} + e_{e,m} \quad (2)$$

За оцінкою [10] повна енергоємність природоохоронних заходів у виробництві чавуну складає від 0,34% до 0,65% від повної енергоємності продукції, а при застосуванні технології вдування пиловугільного пилу (ПВП) внаслідок додаткових витрат на очищення газоподібних викидів становить від 0,36% до 0,68% при умовах досягнення європейських екологічних нормативів. При існуючому очисному обладнанні в доменному виробництві зазначені показники відповідають 0,14 – 0,26% та 0,15 – 0,27 %, що відповідає питомим витратам електроенергії на очисне обладнання в доменному виробництві складає 3,7–7,1 кВт год/т чавуну без застосування вдування ПВП та 4,0–7,1 кВт год/т чавуну при застосуванні вдування ПВП.

1.8. Складова $\left[e_{p,c} \cdot N_{p,c} / N_{o,n} \right]$ – енергоємність відтворення робочої сили в кг у. п. / одиницю виміру ПРП:

де $e_{p,c}$ – питомі трудовитрати на виробництво ПРП, з врахуванням оплати праці в галузі, люд·год/одиночку виміру ПРП;

$N_{p,c}$ – повна енергоємність трудовитрат, кг у. п./люд·год.

Визначення показників $e_{p,c}$ і $N_{p,c}$ надано в нормативних документах [1, 6, 9] з наведенням прикладу

розрахунку енергоємності трудових затрат, значення величини якої дорівнює 5,39 кг у. п./люд.·год (158,0 МДж/люд. год). Від повної енергоємності чавуну доменного виробництва зазначений показник складає 21,12 %.

В табл. 1 наведені показники витрат робочої сили для деяких категорій робіт [12].

Таблиця 1
Показники витрат робочої сили
для деяких категорій робіт

Показник живої праці	Одиниці виміру	Значення показника
1. Дуже легка	кг у. п./люд.·год (МДж/люд.·год)	0,02 (0,60)
2. Легка	- " -	0,03 (0,90)
3. Середня	- " -	0,043 (1,26)
4. Тяжка	- " -	0,06 (1,86)
5. Дуже тяжка	- " -	0,085 (2,50)

Враховуючи, що виробництво чорної металургії відноситься до величин показників живої праці тяжких чи дуже тяжких, тоді енергоємність відновлювання робочої сили за зазначеними категоріями праці можна визначати за їх відношенням між показниками, наданих в табл. 1. Приймаючи, що доменне виробництво відноситься до категорії дуже тяжких при значенні показника витрат робочої сили рівним 0,085 кг у. п./люд.·год і має частку від повної енергоємності доменного виробництва 21,12%, тоді для виробництв з категорією дуже легкі, при значенні витрат робочої сили 0,02 кг у.п./ люд.·год, частка енергоємності відновлювання робочої сили від повної технологічної енергоємності даного виробництва буде складати 4,97%, відповідно до виробництв з категорією «легка» – 7,45%, категорією «середня» – 10,68% і категорією «тяжка» – 14,90%.

1.9. Складова $\left[\sum K_{k,n}^i \cdot N_{k,n}^i / N_{o,n} \right]$ – повна енергоємність комунально-побутових потреб (КПП), що пов'язані з виробництвом ПРП, кг у.п./одиницю виміру:

де $K_{k,n}$ – частка обсягу КПП за окремими видами ПРП,-;

$N_{k,n}^i$ – обсяг КПП за окремими видами ПРП, кг у.п.;

t – індекс виду ПРП.

$N_{k,n} = Q_o + Q_g + Q_{z,g} + Q_{n,o} + Q_{en} + Q_{c,m} + E_{el}$; (3)
де $Q_o, Q_g, Q_{z,g}$ – обсяги прямих витрат теплової енергії на здійснення відповідно обігріву, припливно-витяжної вентиляції, гарячого водопостачання, перерахованих в умовні величини, кг у.п.;

$Q_{n,o}$ – обсяг прямих витрат теплової енергії на роботу побутового обладнання, кг у.п.;

Q_{en} – обсяги прямих витрат інших видів енергоносіїв в умовних одиницях, кг у.п.;

$Q_{c,m}$ – обсяг витрат енергії матеріалізованої у сировині і матеріалів в умовних одиницях, кг у.п.;

E_{el} – витрати електроенергії на здійснення зазначених КПП (обігріву, припливно – витяжну вентиляцію, гарячого і питного водопостачання, внутрішнього і зовнішнього освітлення виробничих і допоміжних цехів, адміністративних і комунально-побутових споруд, освітлення зовнішньої території підприємства), кг у.п. (з перерахуванням на витрати первинного палива для виробництва електроенергії в енергосистемі).

Визначення обсягів витрат енергоресурсів та енергоносіїв на КПП проводився за алгоритмами, які приведено нормативній документах: для теплової енергії на обігрів, припливно -витяжну вентиляцію та інші комунально-побутові потреби (заклади харчування, пральні, лазні тощо), освітлення в роботах [13-18].

1.10 Складова $\sum_h K_{emp}^h \cdot N_{emp}^h / N_{o,n}$ – енергоємність енергоресурсів втрачених у заводських теплових і електричних мережах та перетворювачах, кг у.п./одиницю виміру:

де K_{emp} – частка втрат енергоресурсів віднесена до окремого виду ПРП, відповідно;

N_{emp} – обсяг втрат енергоресурсів до окремого виду ПРП, кг у.п.

h – індекс виду енергоресурсу.

Річний обсяг втрат енергоресурсів складається із втрат окремо енергії теплової Q_{emp} і електричної енергії E_{emp} , перерахованого в умовне паливо:

$$N_{emp} = (Q_{emp} + E_{emp}) \cdot \tau, \text{ кг у. п./рік}; \quad (4)$$

де τ – кількість годин роботи заводських електричних мереж і перетворювачів протягом року, год.

Обсяги втрат теплової енергії в розподільчих теплових мережах підприємства визначається у відповідності до норм втрат теплоти трубопроводами [19-21]. Втрати електроенергії в заводських електричних мережах та трансформаторах можуть досягати до 7 % від загального обсягу споживання підприємством, що обумовлює необхідність врахування їх у складі норм витрат електроенергії. Річні втрати електроенергії в розподільчих електричних мережах підприємства визначаються за рекомендаціями [22, 23]. Аналіз статистичних звітів про постачання та витрати енергії в Україні [24] показав, що на підприємствах чорної металургії втрати електроенергії складають в межах від 0,45% до 0,50 % від загального споживання електроенергії, а теплової енергії – до 2,85% від загального споживання енергоресурсів.

Для основних та допоміжних виробничих цехів та споруд, які прирівняні до них, для проведення розрахунків показників витрат ПЕР на обігрів, вентиляцію і освітлення та інших побутових послуг для проведення розрахунків слід користуватись ДСТУ, ДБН і галузевими методичними положеннями, які мають відношення до розглянутих питань [13].

Одержані значення розрахунків відповідають обсягам витрат енергоресурсів і енергоносіїв на

КПП за рік і потребують в подальшому проведення перерахунків до одиниці виміру формули (1).

В цілому внесені доповнення до діючих методик [1, 6] забезпечують загальні принципи розрахунку повної енергоємності продукції на технологічному, цеховому та загальновиробничому (заводському) рівнях виробництва з включенням усіх витрат енергії, а саме безпосередньо енергоресурсів (прямі витрати) та енергії, матеріалі-

Таблиця 2

Показники розрахунку повної енергоємності киснево-конвертерної сталі

Види енергоресурсів енергоносіїв, сировини і матеріалів	Одиниці виміру	Обсяг витрат складових на 1 тону сталі	Повна енергоємність продукції та її складових, кг у.п./т	Частка енергоємності складових до повної енергоємності продукції, %
1. Енергоресурси:			39,1800	5,5
- електроенергія	кВт-год	84,7	32,100	
- паливо	кг у.п.	7,0	7,000	
2. Енергоносії:			23,185	3,4
- стиснуте повітря	куб-м	15,0	0,574	
- вода технічна	- " -	20,0	4,148	
- кисень	- " -	68,2	17,173	
- електроенергія	кВт-год	30,0	1,290	
3. Сировина:			635,368	91,1
- руда залізна	кг	1,0	0,034	
- чавун рідкий	- " -	850,0	578,510	
- сталевий скрап	- " -	270,0	13,500	
- розкислювачі	- " -	13,0	28,215	
- вогнетриви	- " -	13,4	2,582	
- вапно	- " -	60,0	12,288	
Повна технологічна енергоємність сталі	кг у.п./т		697,654	100
Вихід горючих ВЕР	кг у.п.		- 27,0	
Вихід теплових ВЕР	Гкал		- 4,938	
Енергоємність продукції урахуванням утилізації горючих та теплових ВЕР	кг у.п./т		665,716	82,5
4. Енергоємність окремих складових:	кг у.п./т		141,768	17,5
4.1. транспортування	- " -		0,665	
4.2. основних виробничих фондів	- " -		19,950	
4.3. робочої сили	- " -		93,198	
4.4. захисту навколишнього середовища	- " -		1,331	
4.5. комунально- побутових потреб			3,920	(0,5)
4.6. втрати енергії:			22,704	
- електричної			3,634	(2,8)
- теплової			19,070	
5. Повна енергоємність продукції з урахуванням складових за п. 4			807,484	100

зованої в енергоносіях, сировині та матеріалах (непрямі витрати). За даною методикою з врахуванням запропонованих авторами доповнень визначено повну технологічну енергоемність виробництва продукції чорної металургії за всіма ланками технологічного процесу.

Як приклад, в табл. 2 приведено дані розрахунку повної технологічної енергоемності киснево-конвертерної сталі, виплавленої за діючою (класичною) технологією без застосування ковшпечі і машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) з використанням вихідної інформації [25-27]. До повної технологічної зазначеної продукції згідно методики враховано такі складові як енергоемність внутрішнього транспортування, основних виробничих фондів, трудовитрат та захисту навколишнього середовища.

Розрахунки показують, що з урахуванням додаткових складових повна енергоемність киснево-конвертерної сталі з урахуванням утилізації ВЕР дорівнює 807,484 кг у. п./т сталі, у тому числі за складовими, кг у. п./т: енергоресурси – 39,100; енергоносії – 23,185; сировина – 635,368; утилізація ВЕР – 31,938; інші – 141,768. Зокрема, витрати

на комунально – побутові потреби можуть досягати до 0,5% від повної енергоемності сталі (або 3,920 кг у.п./т сталі), а втрати теплової та електричної енергії можуть досягти до 2,8 % від повної енергоемності сталі (або 22,704 кг у.п./т сталі).

Отримані показники демонструють доцільність запропонованих авторами доповнень методичних положень визначення повної енергоемності продукції промислових виробництв.

Висновки

До діючих методик визначення повної енергоемності виробництва продукції внесено доповнення, що дозволило додатково врахувати такі складові, як витрати паливно-енергетичних ресурсів, матеріалів та сировини на комунально- побутові потреби та втрати теплової та електричної енергії в технологічних процесах, транспортуванні та розподілу цих видів енергоресурсів на загально-виробничих та цехових рівнях.

Запропоновані доповнення існуючих методик визначення повної енергоемності промислових виробництв можуть бути використані в таких енергоемних виробництвах як чорна металургія, нафтохімічна, переробна та інші галузі.

Список літератури:

1. ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98) Енергозбереження. Методика визначення повної енергоемності продукції, робіт, послуг. Держстандарт України. Київ. 1998. 11 с.
2. ДСТУ 3740-98. Енергозбереження. Методи аналізу та розрахунку зниження витрат палива та енергії на металургійних підприємствах. Держстандарт України Київ. 1999. 11 с.
3. Панченко Г.Г. Стан і перспективи розвитку енергетичного аналізу. Енергетика, економіка, технології, екологія. 2019. № 4. С. 48 – 56.
4. Маляренко О.Є., Станиціна В.В. Удосконалена методика визначення повної енергоемності продукції для багатопродуктових виробництв. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 2(65). С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.15407/page2021.02.012>
5. Гнідий М.В. Куц Г.О., Терещук Д.А. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції. *Екотехнології та ресурсосбереження*. 1997. № 5. С. 67 – 72.
6. ГОСТ Р 51750-2001. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказания услуг в технологических энергетических системах. М: Госстандарт России. 2002. 24 с.
7. Maliarenko O., Horskiy V., Stanytsina V., Bogoslavskaya O., Kuts H. (2020). An improved approach to evaluation of the efficiency of energy saving measures based on the indicator of products total energy intensity. *Studies in Systems, Decision and Control* 298, 201–216. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-48583-2_13.
8. Панченко Г.Г. Повна енергоемність основних виробничих фондів. Актуальні питання розвитку сучасної економіки, управління та адміністрування: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 28 грудня 2019 р.). Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2019. Ч. 1. С. 101–104.
9. Панченко Г.Г. Повна енергоемність трудовитрат. Актуальні питання розвитку сучасної економіки, управління та адміністрування: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Київ, 28 грудня 2019 р.). Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, 2019. Ч. 2. С. 43–46.
10. Станиціна В.В. Розвиток методу повної енергоемності для визначення показників енергетичної ефективності та потенціалів енергозбереження. Автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.14.01 «Енергетичні системи та комплекси». Інститут загальної енергетики НАН України. К.: 2016. 20 с.
11. Станиціна В.В. Енергоемність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоемності продукції. *Проблеми загальної енергетики*. 2011. № 4 (27). С. 47–52.
12. Лисиенко Н.Г., Щелоков Я.М., Разин С.Е., Дружинина О.Г., Пареньков А.Е. Энергетический анализ, методика и базовое информационное обеспечение. Екатеринбург: Изд. УГТУ-УПИ. 2008. 98 с.

13. КТМ 204 України 244-94 «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. URL: [https://den.com.ua/lodd/book/ktm 204/17-01-0-1723](https://den.com.ua/lodd/book/ktm%204/17-01-0-1723).
14. Методика визначення енергетичної ефективності будівель. Затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України 11 липня 2018 року № 169. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/ru/z0822-18#Text>
15. Зміни до Методики визначення енергетичної ефективності будівель. Затверджено наказом Міністерства розвитку громад та територій України 27 жовтня 2020 року № 261. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20#Text>
16. ДСТУ Б.А. 2.2-12:2015 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, освітленні та гарячому водопостачанні.
17. ДСТУ BEN15251:2011 Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінка енергетичних характеристик будівель по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики.
18. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. К.: Мінрегіон України. 2018. Екатеринбург: Изд. УГТУ-УПИ: [https://Ledeffect.com.ua/images/ – braneling/dbn 2018. pdf](https://Ledeffect.com.ua/images/-braneling/dbn%2018.pdf).
19. ДБН В.2.6.-31-2016 Теплова ізоляція будівель. К.: Мінрегіон України. 2018. URL: <https://gazoleton.org/sites/deloult/files/sites/all/uploads/DBN-V.2.6-2016-Teplota-izolyat-siva-budivel.pdf>.
20. Гольстрем В.А., Кузнецов Ю.Л. Справочник по экономии топливно-энергетических ресурсов. К.: «Техника». 1985. 284 с.
21. Ионин А.А. и др. Теплоснабжение и тепловые сети. М.: Энергоиздат. 1985. 360 с. <http://books.totalarch.com/n/1490>.
22. Кнорринг Г.М., Фадин И.М., Сидоров В.Н. Справочная книга для проектирования электрического освещения, 2-е изд./ Санкт-Петербург: Энергоатомиздат. 1992. 448 с.
23. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / под. ред. Рокотяна С.С. и Шапира И.М. // М.: Энергоатомиздат, 1985. 352 с.
24. Звіт про постачання та витрати енергії. Статистична форма № 11 – МТП (річна). Держкомстат України за 2016-2019 рр.
25. Кудрин В.А. Теория и технологии производства стали: Учебник для вузов. М.: изд-во «Мир». 2003. 528 с.
26. ДСТУ 4369:2005 Енергозбереження. Чорна металургія. Ресурси енергетичні вторинні. Методика визначення показників виходу та використання. К.: Держспоживстандарт України. 2006. 24 с.
27. Паливно-енергетичні ресурси. Статистичний збірник. К.: Держкомстат України. 2016 – 2019 рр. 158 с.

Kuts H.O., Teslenko O.I. ADDITION OF METHODOLOGICAL PROVISIONS FOR DETERMINING THE TOTAL ENERGY INTENSITY OF PRODUCTS OF INDUSTRIAL PRODUCTION

The article analyzes the methods of determining the components of total energy cost as an indicator of the energy efficiency of production, performance of work and provision of services, which are regulated by national regulatory documents. In particular, DSTU 3682-98 " Energy conservation. Methods of determination of total energy cost of goods, labour and services ". However, some components of total energy cost that are not taken into account in this national standard and still do not have precise algorithms for their determination. Scientists of the Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine have been developing these methods since the adoption of this standard. The necessity of supplementing these methods is shown. The authors of this article proposed to additionally take into account the following components of the total energy cost of products of industrial production: consumption of energy resources for communal and household needs, as well as losses of thermal and electrical energy during their transportation and distribution. On the example of steel production using oxygen converter technology in the metallurgical industry, it is shown that the consumption of fuel and energy resources for communal and household needs can reach 0,5% of the total energy cost of steel (3,920 kg c.e. per ton of steel), and the loss of thermal and electrical energy can reach up to 2,8 % of the total energy cost of steel (22,704 kg c.e. per ton of steel). Calculations show that, taking into account additional components, the total energy cost of oxygen-converter steel with the utilization of secondary energy resources is equal to 807,484 kg c.e. per ton of steel. The proposed additions to the current methods of determining the total energy cost of products of industrial production can be used in such energy-intensive industries as ferrous metallurgy, petrochemical, processing and other industries.

Key words: total energy cost, components, energy resources, energy carriers, raw materials, technological process, industrial production.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 667.633

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/37>**Голуб Л.С.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

РОЗРОБКА СКЛАДУ ЛАКОФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ З НИЗЬКОЮ ТОКСИЧНІСТЮ

Розвиток сучасної промисловості спрямований на використання композиційних матеріалів із зв'язуючими, які мають низький ступінь токсичності. Дослідження в галузі синтезу фенолоформальдегідних смол, спрямованих на отримання продуктів синтезу 4,4'-діоксидифенілсульфону з формальдегідом, які мають менший ступінь токсичності порівняно з фенолоформальдегідними смолами, є досить актуальним напрямком. Зменшення токсичності фенолоформальдегідних смол сприятиме зростанню попиту на ці смоли і збільшенню можливостей їх використання в інших галузях промисловості і господарства. Актуальність цієї роботи зумовлена пошуком вирішення вищезазначених проблем за рахунок заміни фенольної складової на 4,4'-діоксидифенілсульфон. З метою розширення асортименту водорозчинних фенольних смол була проведена серія синтезів з конденсацією дифенілолсульфону з формальдегідом. Попередніми дослідженнями була показана можливість одержання водорозчинних фенольних смол двостадійним методом із застосуванням дифенілолпропану. З метою розширення асортименту подібних смол була проведена серія синтезів з конденсацією дифенілолсульфону з формальдегідом. Оскільки реакційна здатність дифенілолсульфону в реакції з формальдегідом значно менша, ніж дифенілолпропану, умови конденсації були жорсткішими. Шляхом конденсації 4,4'-діоксидифенілсульфону з формальдегідом у мольному співвідношенні 1:4 у присутності еквівалентної кількості гідроксиду натрію при температурі 80-90°C було отримане поліметилольне похідне діоксидифенілсульфону. Частина його після виділення шляхом нейтралізації розчину сірчаною кислотою і висушування була досліджена у якості протистарильника гуми, інша частина шляхом етерифікації бутиловим спиртом була приведена у максимально бутанолізований дифенілолсульфоформальдегідний олігомер у вигляді толуольного розчину. Лакофарбове покриття на основі бутанолізованого дифенілолсульфону на склі має високу твердість, але й високі внутрішні напруження, в процесі дослідження протягом двох-трьох днів спостерігається розтріскування і відшаровування від підкладки. На основі проведених досліджень одержано максимально бутанолізований олігомер на основі поліметилольного похідного 4,4'-діоксидифенілсульфону у вигляді толуольного розчину із сухим залишком 33,9%. На його основі були виготовленні лакові покриття в суміші із стиролалкідним олігомером і епоксидіановою смолою ЕД-20. Встановлено, що твердість і водостійкість покриттів на основі чистого бутанолізованого олігомеру вищі, ніж у модифікованих покриттів, але модифікація потрібна для зменшення крихкості отвердженого полімеру.

Ключові слова: фенолоформальдегідна смола, поліметилольне похідне 4,4'-діоксидифенілсульфону, фізико-механічні показники, лакофарбове покриття, модифікуючі добавки.

Постановка проблеми. Оскільки розвиток сучасної промисловості спрямований на використання композиційних матеріалів із зв'язуючими, які мають низький ступінь токсичності, тому дослідження в галузі синтезу фенолоформальдегідних смол, спрямованих на отримання продуктів синтезу 4,4'-діоксидифенілсульфону з формальдегідом, які мають менший ступінь токсичності порівняно з фенолоформальдегідними смолами, є досить актуальним напрямком. Зменшення токсичності фенолоформальдегідних смол сприятиме

зростанню попиту на ці смоли і збільшенню можливостей їх використання в інших галузях промисловості і господарства. Актуальним шляхом вирішення вищезазначених проблем є заміна фенольної складової на 4,4'-діоксидифенілсульфон.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що конденсація 4,4'-діоксидифенілсульфону з формальдегідом протікає аналогічно конденсації фенолу і його гомологів з формальдегідом через стадію фенолоспиртів і приводить до утворення похідних діоксидіарилметану.

4,4'-діоксидифенілсульфон має чотири реакційноздатних положення в молекулі. Він може утворювати з формальдегідом різні продукти конденсації в залежності від умов проведення реакції, кількісного співвідношення реагентів і вибору каталізатору. З метилольного похідного 4,4'-діоксидифенілсульфону були одержані продукти його метилування і ацетилювання: 4,4'-диметокси-3-метоксиметилдифенілсульфон – безбарвні кристали голчатого типу з температурою плавлення 121°C і 4,4'-діацетокси-3-ацетоксиметилдифенілсульфон – безбарвні голки з температурою плавлення 131°C. При окисленні гідроксиметильного похідного 4,4'-діоксидифенілсульфону марганцевокислим калієм був одержаний 4,4'-діокси-3-карбоксидифенілсульфон з температурою плавлення 231°C [1]. Процес поліконденсації проходить під тиском. В якості каталізаторів першої стадії можливе застосування соляної, сірчаної, фосфорної кислот, гідроксиду натрію, аміаку, а також сульфату натрію. Використання останнього є найбільш зручним, оскільки він застосовується в якості реагенту в другій стадії. Каталіз здійснюється не тільки за рахунок дії власне сульфату натрію, але і за рахунок утворюваного луку. Поліконденсацію проводять 4 години при температурі 120°C. Співвідношення 4,4'-діоксидифенілсульфону і формальдегіду становить 0,5:1, що дозволяє отримати добре розчинний кінцевий продукт [2].

Попередніми дослідженнями була показана можливість одержання водорозчинних фенольних смол двостадійним методом із застосуванням дифенілолпропану. З метою розширення асортименту подібних смол була проведена серія синтезів з конденсацією дифенілолсульфона (ДФС) з формальдегідом. Оскільки реакційна здатність ДФС в реакції з формальдегідом значно менша, ніж дифенілолпропану, умови конденсації були жорсткішими.

Напершій стадії на 3 активні атоми водню у молекулі 4,4'-діоксидифенілсульфону (т. пл. 248°C) брали 0,87 моль формальдегіду і 0,1 мл соляної кислоти. Для кращої гомогенізації додатково вводили певну кількість води. Суміш витримували при кипінні протягом 30 хвилин. Після охолодження суміші до 50°C додавали їдкий натр у кількості 10 г на 1 еквівалент гідроксильних груп у вигляді 40%-го водного розчину і другу порцію формальдегіду у кількості 1,13 моль на 3 активні атоми водню. Одержану однорідну суміш витримували при 85°C протягом 13 годин. Отримали смолу із сухим залишком 39,6% (ДФС-1).

Аналогічним способом була одержана смола на основі технічного діоксидифенілсульфону (т. пл. 221°C) – ДФС-2.

Була одержана також смола шляхом конденсації ДФС з формальдегідом у присутності їдкого натру у кількості 20 г його на 1 еквівалент гідроксильних груп діоксидифенілсульфону шляхом витримки суміші при 85°C протягом 13 годин (одностадійним методом) – ДФС-3.

Отримана також смола в умовах двостадійного синтезу шляхом конденсації суміші ДФС і фенолу (у співвідношенні 50:50 за масою) – ДФС-Ф.

З урахуванням закономірностей утворення фенолоформальдегідних олігомерів резольного типу в присутності лугів розроблені багатостадійні технологічні процеси отримання продуктів з низьким вмістом мономерів. Ці процеси включають стадію формування основної ланки олігомерів при підвищеній температурі, зниженому вмісті каталізатора та співвідношенні формальдегід:фенол. За такими технологічними схемами отримують смоли марок СФЖ-3013, СФЖ-3014, СФЖ-3061, СФЖ-3066 [3,4].

Залишковий вміст фенолу і формальдегіду в цих смолах складає 0,1-0,5% при високій (7-8%) кількості лужного каталізатора, який забезпечує водорозчинність продуктів поліконденсації [5].

Практично всі описані в літературі методи синтезу смол з низьким вмістом фенолу є тільки модифікацією двостадійного методу. Температурний режим при цьому може бути різноманітним. Можна проводити реакцію спочатку при більш низькій температурі, а потім – після додавання другої порції формальдегіду – при більш високій. Частіше навпаки першу стадію проводять при більш високій температурі, а другу – при більш низькій.

Існує тристадійний спосіб конденсації фенолу з формальдегідом з постадійним введенням додаткової кількості формальдегіду і їдкого натру так, щоб в загальній кількості на моль фенолу припадало два моля формальдегіду і практично моль їдкого натру, а температуру підвищують з 65°C на першій стадії до 75°C на другій та до 80°C на третій [4].

Процес може проводитися і одностадійно при 85°C або при температурі кипіння суміші в присутності великої кількості їдкого натру або при температурі 30-68°C в присутності 3,5-7% СаО або Са(ОН)₂ або при температурі 65-85°C в присутності основного каталізатора, який містить катіон лужного металу, кількість каталізатора не перевищує 1% від маси реакційної суміші. У всіх випадках обов'язкова присутність великої кількості формальдегіду. Жорсткі умови синтезу дозволяють отримати смоли з невеликим вмістом фенолу [6].

Таким чином, основний шлях зниження фенолу в продуктах конденсації – застосування надлишку формальдегіду у великій кількості. Один із шляхів зниження вмісту формальдегіду – застосування великої кількості каталізатора. У ряді випадків і цього буває замало, тому в реакційну суміш вводять речовини, які зв'язують надлишковий формальдегід. В якості такої речовини застосовують резорцин. Можна також вводити в кінці реакції поліконденсації карбамід.

Фенолоформальдегідні смоли з низьким вмістом непрореагованого фенолу отримують поліконденсацією фенолу з формальдегідом в присутності лужного каталізатора [3-5].

Вченими ДВНЗ УДХТУ було розроблено малотоксичні фенолоформальдегідні смоли із залишковим вмістом фенолу менше 1%, які отримані двостадійним методом – шляхом конденсації фенолу з формальдегідом спочатку в умовах новолачної конденсації в присутності кислого каталізатора, а потім в умовах резольної конденсації в присутності лужного каталізатора. Були визначені оптимальні умови конденсації, що дозволяють отримати малотоксичні смоли [7].

В ході досліджень було встановлено, що кількість вільного фенолу в смолі нижче 1% можлива при співвідношенні формальдегід:фенол 1,9:1 та кількості лужного каталізатора 5 г на 1 моль фенолу. Збільшення співвідношення формальдегід:фенол приводить до зменшення вмісту вільного фенолу, але приводить до значного збільшення вмісту вільного формальдегіду. Зі збільшенням в реакційній суміші співвідношення формальдегід:фенол і вмісту в ній їдконого натру не суттєво зменшується сухий залишок смоли, тобто збільшується кількість введеної з формальдегідом води.

Для порівняння показників отриманих зразків водорозчинних фенолоформальдегідних смол був виконаний синтез смоли в одну стадію.

При порівнянні зразків смол, синтезованих в дві стадії, було відзначено, що маючи близький за значенням сухий залишок, зразок смоли, синтезованої в одну стадію, містить вільних мономерів в два рази більше, ніж зразок смоли, синтезованої в дві стадії при однаковому співвідношенні вихідних сполук. Смола, отримана одностадійним способом, має низьку в'язкість, низьку частку не розчинної в воді фракції, високий вміст метилольних груп, тобто являє собою фактично лужний розчин метиллолфенолів на відміну від зразків смол, отриманих двостадійною технологією [7].

Перевагою отриманих смол є низький вміст в них фенолу та відсутність в них токсичних та

горючих розчинників, які можуть бути використані в якості зв'язуючого в різноманітних матеріалах.

Постановка завдання. Оскільки вимоги, які пред'являються до сучасного розвитку промисловості, зумовлюють використання екологічно чистих матеріалів, пошук вирішення проблеми наявності надлишкового фенолу є необхідністю для сучасної хімічної промисловості. Зменшення токсичності фенолоформальдегідних смол сприяло б зростанню попиту на ці смоли і використання їх в інших галузях промисловості і господарства. Актуальність цієї роботи зумовлена пошуком вирішення вищезазначених проблем за рахунок заміни фенольної складової на 4,4'-діоксидифенілсульфон.

Виклад основного матеріалу дослідження. З метою розширення асортименту водорозчинних фенольних смол була проведена серія синтезів з конденсацією дифенілолсульфону (ДФС) з формальдегідом. Оскільки реакційна здатність ДФС в реакції з формальдегідом значно менша, ніж дифенілолпропану, умови конденсації були жорсткішими.

На першій стадії на 3 активні атоми водню у молекулі 4,4'-діоксидифенілсульфону (т. пл. 248°C) брали 0,87 моль формальдегіду і 0,1 мл соляної кислоти. Для кращої гомогенізації додатково вводили певну кількість води. Суміш витримували при кипінні протягом 30 хвилин. Після охолодження суміші до 50°C додавали їдкий натр у кількості 10 г на 1 еквівалент гідроксильних груп у вигляді 40%-го водного розчину і другу порцію формальдегіду у кількості 1,13 моль на 3 активні атоми водню. Одержану однорідну суміш витримували при 85°C протягом 13 годин. Отримали смолу із сухим залишком 39,6% (ДФС-1).

Аналогічним способом була одержана смола на основі технічного діоксидифенілсульфону (т. пл. 221°C) – ДФС-2.

Була одержана також смола шляхом конденсації ДФС з формальдегідом у присутності їдконого натру у кількості 20 г його на 1 еквівалент гідроксильних груп діоксидифенілсульфону шляхом витримки суміші при 85°C протягом 13 годин (одностадійним методом) – ДФС-3.

Отримана також смола в умовах двостадійного синтезу шляхом конденсації суміші ДФС і фенолу (у співвідношенні 50:50 за масою) – ДФС-Ф.

Фізико-хімічні показники синтезованих смол у порівнянні зі смолами на основі дифенілолпропану (ДФШ-С) та фенолу (УК-3-30) наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники досліджених смол у порівнянні із смолами ДФС-С та УК-3-30

Марка смоли	Сухий залишок, %	Вміст лугу, %	Вміст формальдегіду, %	Вміст метилольних груп, %		Час желатинізації, с
				у смолі	у сухому залишку	
ДФС-1	39,6	1,90	4,89	1,64	4,14	52
ДФС-2	42,5	2,15	5,06	3,00	7,06	56
ДФС-3	41,7	4,28	2,85	5,59	13,40	123
ДФС-Ф	45,3	1,25	5,00	7,93	17,50	154
ДФШ-С	43,8	1,78	0,71	9,60	21,90	72
УК-3-30	49,6	1,61	3,50	10,80	20,8	78

Шляхом конденсації 4,4'-діоксидифенілсульфону з формальдегідом у мольному співвідношенні 1:4 у присутності еквівалентної кількості гідроксиду натрію при температурі 80-90°C було отримане поліметилольне похідне діоксидифенілсульфону.

Частина його після виділення шляхом нейтралізації розчину сірчаною кислотою і висушування була досліджена у якості протистарильника гуми [8].

Інша частина шляхом етерифікації бутиловим спиртом була приведена у максимально бутанолізований дифенілсульфоформальдегідний олігомер у вигляді толуольного розчину концентрацією 33,9%.

Бутанолізований лак був використаний для модифікації стиролалкідного лаку.

Бутанолізований ДФС у толуольному розчині погано суміщається із стирольним лаком. На лаковому покритті спостерігаються нерівності висадженого продукту бутанолізації. Вплив кількості бутанолізованого продукту на твердість стиролалкідного покриття наведений в таблиці 2.

Лакофарбове покриття на основі бутанолізованого ДФС на склі має високу твердість, але

й високі внутрішні напруження, в процесі дослідження протягом двох-трьох днів спостерігається розтріскування і відшаровування від підкладки. З метою модифікації цього покриття до його складу вводилась епоксидіанова смола ЕД-20.

Таблиця 2

Властивості покриття на основі стиролалкідного лаку, модифікованого бутанолізованим ДФС

Склад суміші	Твердість
Чистий стиролалкідний лак	0,75
Стиролалкідний лак і 4,3% МБДФСФ	0,61
Стиролалкідний лак і 12,7% МБДФСФ	0,58
Стиролалкідний лак і 7,7% МБДФСФ	0,70
Чистий МБДФСФ	0,66

Склад і результати випробувань покриттів наведені в таблиці 3 і на рисунках 1 і 2.

Модифікація покриття на основі бутанолізованого ДФС епоксидіановою смолою приводить до зменшення твердості і водостійкості покриття, але значно підвищує його еластичність, про що свідчить міцне тримання на склі протягом тривалого часу.

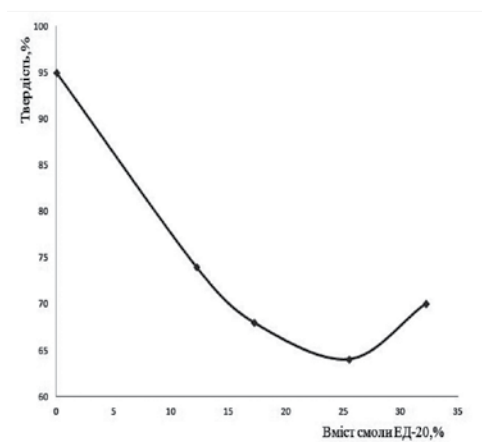


Рис. 1. Залежність твердості покриття від вмісту епоксидної смоли

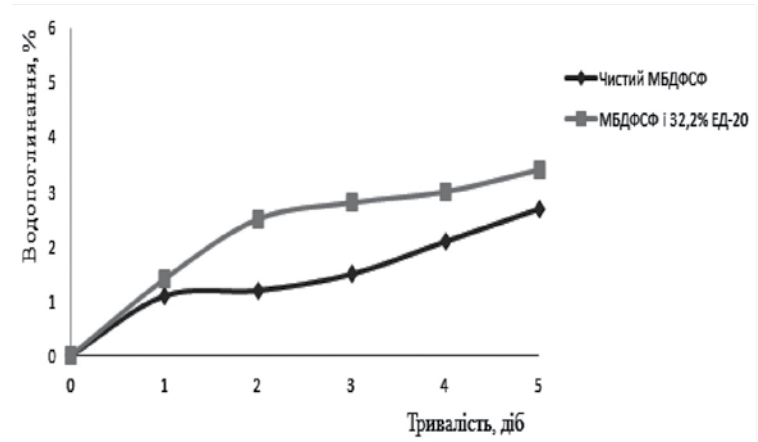


Рис. 2. Залежність водопоглинання покриття від кількості днів випробування

Таблиця 3
Склад покриттів на основі МБДФСФ і ЕД-20 і результати випробувань

Вміст ЕД-20 у суміші	Твердість	Водопоглинання, %		
		протягом 1 доби	протягом 2 діб	протягом 5 діб
0	0,96	1,1	1,2	2,7
12,2	0,74	1,8	4,2	2,3
17,2	0,68	4,2	11,7	4,3
25,5	0,65	1,5	1,1	3,0
32,2	0,71	1,4	2,5	3,4

Висновки і пропозиції. Таким чином, на основі проведених досліджень одержано максимально бутанолізований олігомер на основі поліметилольного похідного 4,4'-діоксидифенілсульфону у вигляді толуольного розчину із сухим залишком 33,9%. На його основі були виготовленні лакові покриття в суміші із стиролалкідним олігомером і епоксидіановою смолою ЕД-20. Встановлено, що твердість і водостійкість покриттів на основі чистого бутанолізованого олігомеру вищі, ніж у модифікованих покриттів, але модифікація потрібна для зменшення крихкості отвердженого полімеру.

Список літератури:

1. Беркман Я.П., Шутер Л.М. О строении продуктов конденсации 4,4'-диоксидифенилсульфона с формальдегидом. *Журнал общей химии*. 1961. Т. 31, № 11. С. 3675-3678.
2. Беркман Я.П., Шутер Л.М. Изучение реакций конденсации 4,4'-диоксидифенилсульфона с формальдегидом и сульфитом натрия. *Научные записки Львовского политехнического института*, Львов: Химия, 1956. С. 116 – 119.
3. Азаров В.И., Цветов В.Е. Технология связующих и полимерных материалов. М.: Лесная промышленность, 1985. 216 с.
4. Николаев А.Ф. Технология пластических масс. Л.: Химия, 1977. 368 с.
5. Темкина Р.З. Синтетические клеи в деревообработке. М.: Лесная промышленность, 1970. 288 с.
6. Братичак М.М., Гетьманчук Ю.П. Хімічна технологія синтезу високомолекулярних сполук. Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. 416 с.
7. Кобельчук Ю.М., Кучерук Ю.Н. Исследование влияния состава реакционной смеси на свойства водорастворимых фенолоформальдегидных смол и использование их в качестве связующего для древесных пластиков. *Вопросы химии и химической технологии*. 2000. № 1. С. 148-152.
8. Кобельчук Ю.М., Ващенко Ю.М., Голуб Л.С. Застосування 4,4'-дигідроксидифенілсульфону та його поліметилольної похідної як добавок у складі еластомерних матеріалів. *Питання хімії та хімічної технології*. № 4, Дніпро: ДВНЗ УДХТУ. 2021. С. 66-72.

Holub L.S. DEVELOPMENT OF COMPOSITION OF PAINT COATING WITH LOW TOXICITY

The development of modern industry is aimed at the use of composite materials with binders that have a low degree of toxicity. Research in the field of synthesis of phenol-formaldehyde resins aimed at obtaining synthesis products of 4,4'-dioxydiphenylsulfone with formaldehyde, which have a lower degree of toxicity compared to phenol-formaldehyde resins, is a very relevant direction. Reducing the toxicity of phenol-formaldehyde resins will help to increase the demand for these resins and increase the possibilities of their use in other branches of industry and economy. The relevance of this work is determined by the search for a solution to the above-mentioned problems by replacing the phenolic component with 4,4'-dioxydiphenylsulfone. In order to expand the range of water-soluble phenolic resins, a series of syntheses was carried out with the condensation of diphenylolsulfone with formaldehyde. Previous studies have shown the possibility of obtaining water-soluble phenolic resins by a two-stage method using diphenylolpropane. In order to expand the range of similar resins, a series of syntheses was carried out with the condensation of diphenylolsulfone with formaldehyde. Since the reactivity of diphenylolsulfone in the reaction with formaldehyde is much lower than that of diphenylolpropane, the condensation conditions were stricter. By condensation of 4,4'-dioxydiphenylsulfone with formaldehyde in a molar ratio of 1:4 in the presence of an equivalent amount of sodium hydroxide at a temperature of 80-90°C, a polymethylol derivative of dioxydiphenylsulfone was obtained. Part of it, after isolation by neutralization of the solution with sulfuric acid and drying, was studied as an anti-aging agent for rubber; the other part by esterification with butyl alcohol was reduced to the maximally butanolized diphenylsulfonformaldehyde oligomer in the form of a toluene solution. Paint coating based on butanolized diphenylolsulfone on glass has high hardness, but also high internal stresses, cracking and peeling from the substrate is observed during the research process for two to three days. On the basis of the conducted research, a maximally butanolized oligomer based on the polymethylol derivative of 4,4'-dioxydiphenylsulfone was obtained in the form of a toluene solution with a dry residue of 33.9%. Lacquer coatings were made on its basis in a mixture with styrene alkyd oligomer and ED-20 epoxy resin. It was found that the hardness and water resistance of the coatings based on the pure butanolized oligomer are higher than those of the modified coatings, but the modification is required to reduce the brittleness of the cured polymer.

Key words: phenol-formaldehyde resin, polymethylol derivative of 4,4'-dioxydiphenylsulfone, physical and mechanical parameters, paint coating, modifying additives.

Єфімова В.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Пилипенко Т.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ЗМІНИ СИРОВИНИ НА ЯКІСТЬ ТВЕРДОГО ТУАЛЕТНОГО МИЛА

В результаті проведених досліджень встановлено, що на формування якості та споживчих властивостей туалетного мила впливають такі чинники: сировинні матеріали, технологія виготовлення. У якості основної сировини для виготовлення туалетного мила використовують природні жири тваринного та рослинного походження, синтетичні жирні кислоти, луѓи та допоміжні компоненти. Оцінка якості туалетного мила проводилася відповідно до органолептичних і фізико-хімічних показників згідно з діючими нормативними документами. Отримані результати органолептичних досліджень показали, що всі досліджувані зразки відповідають ДСТУ 4537:2006.

В роботі показано, що жири морських тварин та риб у миловарінні використовуються у гідрогенізованому вигляді. При обробці їх воднем ненасичені жирні кислоти, що входять до складу жиру, відновлюються до насичених кислот, а консистенція рідкого жиру перетворюється на тверду.

Дослідженнями встановлено, що для отримання всіх видів мила на більшості підприємств використовуються не жири, а жирні кислоти, які отримують в результаті розщеплення жирів та олій.

В роботі показано, що на більшості миловарних заводів жири розщеплюють безреактивним методом в автоклавах, при цьому жирні кислоти майже не темніють, а вихід гліцерину підвищується.

Встановлено, що синтетичні жирні кислоти широко використовують у миловарінні для заміни природних жирів фракцією C_{10} - C_{16} (C_{12} - C_{16}) (кокосову) застосовують у рецептурах мил, замість кокосової олії, фракцією C_{17} - C_{20} (саломасна) – замість твердих жирів. Синтетичні жирні кислоти одержують шляхом окислення нафтового парафіну. При гарному очищенні від супутніх домішок вони можуть бути повноцінною сировиною, що замінює жирні кислоти з природних жирів.

Показано, що саломасна фракція часто містить підвищену кількість різних домішок, у тому числі таких, які надають кислотам, а отже і милу неприємний запах; очищення синтетичних жирних кислот від цих домішок досить складне. У якості лужних речовин, що необхідні для омилення нейтральних жирів та нейтралізації жирних кислот застосовують в основному їдкий натрій та кальциновану соду.

Доведено, що з натуральних жирів використовують тваринні жири (баранячий, яловичий жири та свиняче сало), гідрогенізовані (насичені воднем), жири морських тварин і риб, рослинні олії (бавовняна, кокосова та соєва).

На даний час, сировинний ринок твердого туалетного мила насичений продуктами виробництва Малайзії – пальмової олії та пальмового стеарину. Склад жирних кислот закордонних «ядрових» жирів різко відрізняється від традиційного тваринного жиру, вмістом пальмітинової, стеаринової та олеїнової кислот.

Ключові слова: туалетне мило, титр, синтертичні жирні кислоти, саломас, гліцерин, жирокислотний склад.

Постановка проблеми. Належна якість туалетного мила залежить від таких складових як правильності рецептури, якості вихідної речовини, якості проведення технологічних етапів.

Планування та розробка складу туалетного мила припускає встановлення визначених, в тому числі нових, вимог до його якості.

Туалетне мило має багатокомпонентний склад, окремі компоненти можуть взаємодіяти між

собою, по різному впливати на шкіру людини, що повинно бути враховане при розробці складу.

З цією метою нами було проведено дослідження якості шести зразків твердого туалетного мила. Проведено аналіз впливу зміни складу сировини на якість твердого туалетного мила. Дані досліджень можуть бути використані як рекомендації для виробників туалетного мила, що реалізують тверде туалетне мило.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На сьогоднішній день виробництво косметичної гігієнічної продукції перейшло новий рівень розвитку. Поряд із відомими зарубіжними фірмами-виробниками в останні роки з'явилися і українські лінії виробництва гігієнічної косметики.

Вітчизняні косметичні компанії усвідомили важливість цієї продукції та почали випускати нові косметичні серії.

Проблеми розвитку споживчого ринку туалетного мила нині – висока конкурентоспроможність серед іноземних фірм із виробництва досліджуваного продукту [4]. Успіхи в галузі фізико-хімічних технологій поверхнево-активних речовин, а також розвиток промисловості нафтохімічного синтезу призвели до створення та організацію масового виробництва синтетичних миючих засобів, що мають значні переваги перед жировими милами [1-3].

Аналіз та оцінка асортименту та якості мило свідчать про те, що в інформаційних джерел досить висвітлено питання, що стосуються досліджуваних проблем. Проте викладені дослідження та розробки проведено у країнах ЄС [2-5]. В Україні цьому питанню не було приділено достатньої уваги. Тому виникає питання проведення інтенсивних досліджень у напрямках розширення асортименту та підвищення якості мила, особливо її туалетних сортів.

За даними роботи [3] туалетне мило готують шляхом спеціальної обробки ядрового мила, звареного з найкращих за якістю жирів, нейтральних чи розщеплених. Таке ядрове мило отримують переважно непрямим методом. Втім, для забезпечення відповідних умов можливе застосування також і прямого методу варіння. Ядрове мило, що при цьому отримується, являє собою мильну основу туалетного мила.

Проблеми якості та безпечності складу особливо важливі для людей, що мають алергію та шкірні захворювання.

Постановка завдання. Метою даного дослідження було вивчення основних споживчих властивостей туалетного мила та особливостей формування його асортименту в сучасних економічних умовах в Україні.

Реалізація поставленої мети здійснювалась шляхом вирішення наступних завдань:

- аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку ринку туалетного мила в Україні;
- вивчення методологічних підходів до оцінки якості туалетного мила;
- визначення об'єктів та методів дослідження;

– дослідження фізико-хімічних показників туалетного мила.

Виклад основного матеріалу досліджень.

Темпи зростання миловаріння були обмежені через нестачу сировини. Сировинна проблема була вирішена тільки після опанування процесу гідрування рідких рослинних жирів та рослинних олій та створення гідрогенізаційної промисловості.

В останні роки більшість фірм – виробників мила Procter and Gabel (США), Mazzoni (Італія), Lurgi (Німеччина) перейшли на безперервні технології варіння мила. Ці технології мають низьку перевагу у порівнянні з котловим способом. Безперервна технологія дозволяє постійно отримувати продукт високої якості, зменшує в десятки разів тривалість виробничого циклу, знижують енергозатрати та підвищують екологічну безпеку.

Разом з цим споживчі властивості та якість товарних мил залежать від якості та асортименту жирової сировини. Зниження якості жирової сировини для мил призвело до погіршення споживчих властивостей мил, що виробляються за традиційною технологією.

Відомо, що тверде туалетне мило являє собою сіль натрієвих жирних кислот, що ароматизовані парфумерною віддушкою, незабарвлені або пофарбовані в різні кольори. Для виготовлення туалетного мила використовують натуральні жири та синтетичні жирні кислоти, луги, корисні добавки, віддушки та барвники.

При виготовленні мила найбільше застосування знаходять яловичий, баранячий, свинячий та кістковий топлени жири. У них міститься від 40 до 60% насичених жирних кислот, з них близько 50% пальмітинової та від 36 до 55% олеїнової кислот, завдяки чому ці жири є гарною і майже взаємозамінною сировиною для миловаріння, проте найкращою з них вважається яловичий жир.

Ці жири отримують витоплюванням екстрагуванням і пресуванням з будь-якого виду жировмісної сировини не придатної для харчових цілей. Темні сорти технічних тваринних жирів використовують лише після ретельного очищення реагентами.

Барвники додають в туалетне мило для поліпшення його товарного виду. Для цього використовують сухі білила (пігменти) і барвники (водо- і жиророзчинні).

Барвники застосовують для фарбування мила в різні кольори: родамін (червоний), метаніл (жовтий), бірюзовий світло міцний (блакитний), флуоресцеїн (лимонний), коричневий прямий

(коричневий). Зазвичай для фарбування у різні кольори користуються сумішшю двох або більше барвників. Добре впливають на колір світлих сортів мила додавання до мильної стружки оптичних відбілювачів у кількості 0,1 – 0,3%.

Віддушки (парфумерні композиції) – це складні суміші ефірних олій та синтетичних запахових речовин, що гармонійно поєднуються між собою і утворюють оригінальний букет – запах, що передається милу. Запах може бути квітковий, фантазійний.

Для запобігання псуванню мила в нього додають стабілізатори (силікат натрію, антал, антал П-2 (пластіболь)).

Корисні добавки, що вводяться в туалетне мило, умовно ділять на три марки: пережирюючі, дезінфікуючі та лікувально-профілактичні.

Дезінфікуючі добавки прискорюють та посилюють антисептичну властивість мила (це гексахлорофен, борна, карболова кислоти, саліциламід, березовий дьоготь, триклозан).

Лікувально-профілактичні добавки вводять у мило, яке має мати лікувально-профілактичні властивості проти деяких захворювань шкіри.

Вміст стеаринової кислоти в пальмовому стеарині в 5 разів менше, ніж у яловичому жирі. При цьому вміст пальмітинової кислоти майже вдвічі вищий, ніж у яловичому жирі.

У зв'язку з цим науковий та практичний інтерес представляє вивчення взаємозв'язку зміни жирнокислотного складу сучасних твердих туалетних мил та їх споживчих властивостей.

Критерієм оцінки обрано параметри «еталонного мила», що складається з 80% (85%) яловичого жиру та 20% (15%) кокосової олії, споживчі властивості якої відповідають стандартам якості.

Для проведення дослідження нами було відібрано зразки твердого туалетного мила основних вітчизняних та зарубіжних товаровиробників:

зразок № 1 мило туалетне «Шик Жасмин» – компанія «Kanc – koshik» Україна;

зразок № 2 мило косметичне «Лаванда» – компанія «Marigold Natural» Україна;

зразок № 3 туалетне мило «Дитячий крем» – компанія «Домашній доктор» Україна;

зразок № 4 туалетне мило «Чистюля» – компанія «Яка» Україна;

зразок № 5 туалетне мило «Самау» з ароматом яблук – Procter & Gamble (Великобританія);

зразок № 6 туалетне мило «Самау» з ароматом помаранча – Procter & Gamble (Великобританія).

Результати дослідження жирнокислотного складу досліджуваних зразків твердого туалетного мила наведено у таблиці 1.

З даних таблиці 1 випливає, що склад жирних кислот і величина титру сучасних виробничих рецептур твердих туалетних мил (зразки 2, 4, 5, 6) різко відрізняються від еталонного складу.

Вміст пальмітинової кислоти збільшився від 23 – 24% до 36,9 – 47,0%. Вміст олеїнової кислоти зменшився і становить 25,0 – 32,8% проти 36 – 32% у класичній рецептурі. У рецептурах твердих туалетних мил вміст пальмітинової кислоти в кілька разів перевищує вміст стеаринової кислоти при приблизно рівному співвідношенні у класичній рецептурі.

Тестування товарного мила в процесі його використання проводили за методикою «Використання мила в офісі», згідно з якою учасники в кількості 8 осіб користувалися одним і тим же шматком мила, що досліджувався протягом експерименту.

Зразки мила перебували у «вологих» і «сухих» мильницях, що ідентично умовам використання мила в побуті. Тривалість експерименту складала від 40 до 80 діб. Середньодобова кількість використання одного шматка становила від 2,1 до 6,6 разів. При дослідженні показників враховувалися об'єм та структура піни, миюча дія кожного досліджуваного зразка.

Крім вивчення показників та отримання результатів, враховували думку кожного учасника при оцінці об'єму та структури піни, а також миючої дії кожного досліджуваного зразка мила. Одночасно було досліджено миючу дію зразків.

Результати дослідження споживчих властивостей та миючої дії зразків туалетного мила представили до таблиці 2.

Дані досліджень, що наведені у Таблиці 2 показують, що збільшення в рецептурі масової частки пальмітинової кислоти до 36,9 – 41,8% при одночасному зниженні масової частки стеаринової кислоти до 4,9 – 8,6% не призводить до зниження миючої дії мила.

Миючий ефект визначається величинами одного порядку і становить 243 – 284%. Але при цьому досить сильно збільшилася витрата шматка.

Швидкість витрачання мила, виготовленого за сучасними рецептурами (зразки 2, 4, 5) становить 0,45 – 0,60 на одне намилювання, що майже в півтора рази перевищує швидкість витрачання мила, приготовленого за рецептурами, близькими до еталонного складу.

Склад жирних кислот та величина титру сучасних виробничих рецептур твердих туалетних мил (зразки 2, 4, 5, 6) різко відрізняються від еталонного складу.

Таблиця 1

Жирнокислотний склад зразків туалетного мила, що досліджувалися

Індекс та найменування жирної кислоти	Еталонна рецептура	Вміст жирної кислоти у зразку мила, %					
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5	Зразок 6
C ₈ Каприлова	1,1-2,0		1,7	0,8	1,5	14,9	1,3
C ₁₀ Капринова	1,0-2,0	0,9	1,0	1,0	1,2	1,5	1,3
C ₁₂ Лауринова	7-12	4,3	9,7	9,0	5,6	7,3	7,9
C ₁₄ Миристинова	5-7	5,5	5,0	4,6	3,7	5,5	4,7
C ₁₆ Пальмітинова	24-23	26,1	21,8	47,0	36,9	38,9	41,8
C ₁₈ Стеаринова	20-17	23,2	18,0	7,0	8,9	8,6	4,9
C16 ¹⁼ Пальмітолеїнова	-	3,6	3,0	0,3	-	1,2	1,3
C18 ¹⁼ Олеїнова	36-32	30,8	31,9	25,0	32,9	28,9	30,6
C18 ²⁼ Лінолева	1-3	3,9	7,9	5,8	10,0	6,7	8,5
C18 ³⁼ Ліноленова	-	-	-	-	-	-	-
Сума насичених жирних кислот, %	59-64	59,0	60,0	68,0	56,9	61,9	60,3
Сума ненасичених жирних кислот, %	41-37	41,0	41,9	-	-	-	-
Неідентифіковані жирні кислоти, %	-	-	3,8	-	-	-	-
	100	-	-	-	-	-	-
Фізико-хімічні показники							
Титр, 39°C	39	42,6	46,6	46,8	42,1	45,0	37,0
Йодне число, J ₂ , мг	37,1	39,9	33,7	37,8	42,3	44,6	80,5
Число омилення	211,0	201,7	210,2	219,9	206,2	211,2	192,3

Таблиця 2

Споживчі властивості та миюча дія дослідних зразків туалетного мила

Показник	Найменування зразка					
	Зразок 2 класична рецептура	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5	Зразок 6	Дослідний зразок
Масова доля жирних кислот	86,1/86,8	76,2/82	75,0/86,2	77,0/83,0	79,1/83,2	76,7/83,4
Титр, °С	42	38,5	38	38	39,9	38,2
Спроможність до набухання, % до маси за 3 години	21,3	23,3	24,2	23,0	24,4	32,2
24 години	54,2	74,2	68,0	65,0	89,0	80,0
Тривалість досліджень, доба	52	81	67	39	55	38
Колір, запах, форма	Світло-зелений однорідний, запах віддушки	Білий прямокутний, одно-рідний, запах відсутній	Білий прямокутний, одно-рідний, запах відсутній	Жовтий, овальний, запах відсутній	Білий, овальний, одно-рідний, запах віддушки	Зелений, овальний, однорідний, запах свіжості мила
Маса шматка, г	91,75/11,3	135,6/14,7	90,0/4,0	88,8/7,0	96,6/8,0	26,4/2,45
Кількість змилювань, фактичні витрати шматка, г	251 80	235 119	172 86	136 81	183 88	78 23,6
Миючий ефект порівняно до еталону, %	279	261	257	263	243	284
Витрати мила на одне намилювання, г/ж.к.	0,31 0,24	0,5 0,38	0,49 0,37	0,5 0,46	0,45 0,35	0,2 0,22

Висновки і пропозиції

Отримані дані дають можливість надати інформацію про те, що збільшення питомої витрати шматка мила призводить до зниження його економічності при використанні та як наслідок, погіршення його споживчих властивостей.

Результати дослідження допомогли визначити рівень споживчих властивостей досліджуваних

зразків туалетних мил, отриманих за зміненою сировинною базою.

Експериментальні дані довели, що зменшення масової частки, стеаринової кислоти в рецептурі мила при одночасному збільшенні масової частки пальмітинової кислоти викликає суттєве збільшення витрати під час його використання.

Список літератури:

1. Ostrikov A.N., Zheltoukhova E.YU., Kopylov M.V., Bolgova I.N., Lobacheva N. N. Development of toilet soap production technology for therapeutic and prophylactic purposes. 2021. The 17th international symposium on solid oxide fuel cells (SOFC – XVII). Bristol. P. 78-85.
2. Draelos Z., Cosmeceuticals: What's Real, What's Not. 2019. Dermatologic Clinics. № 1. P. 107-115.
3. Puglia C., Santonocito D. 2019. Cosmeceuticals: Nanotechnology-Based Strategies for the Delivery of Photocompounds. Current Pharmaceutical Design. Vol.25 (21). P. 2314-2322
4. Xie P. J., Huang L. X., Zhang C. H., Ding S. S., Deng Y. J., Wang X. J. 2018. Skin-care effects of dandelion leaf extract and stem extract: Antioxidant properties, tyrosinase inhibitory and molecular docking simulations. Industrial crops and products. № 11. P. 238-246.
5. Goik U., Goik T., Zaleska I., 2019. The Properties and Application of Argan Oil in Cosmetology. European Journal of Lipid Science and Technology. № 4. P. 78-91.

Yefimova V.G., Pilipenko T.M. THE INFLUENCE OF CHANGES IN RAW MATERIALS ON THE QUALITY OF SOLID TOILET SOAP

As a result of the conducted researches it is established that the formation of quality and consumer properties of toilet soap is influenced by the following factors: raw materials, manufacturing technology. Natural fats of animal and vegetable origin, synthetic fatty acids, alkalis and auxiliary components are used as the main raw materials for the production of toilet soap. Evaluation of the quality of toilet soap was carried out in accordance with organoleptic and physicochemical parameters in accordance with applicable regulations. The obtained results of organoleptic researches have shown that all investigated samples correspond to DSTU 4537: 2006.

The paper shows that the fats of marine animals and fish in soap making are used in hydrogenated form. When treated with hydrogen, unsaturated fatty acids that are part of the fat are reduced to saturated acids, and the consistency of liquid fat is converted into solid.

Studies have shown that most companies do not use fats to produce all types of soap, but fatty acids, which are obtained by breaking down fats and oils.

The paper shows that in most soap factories fats are broken down by non-reactive method in autoclaves, while fatty acids almost do not darken, and the yield of glycerin increases.

It was found that synthetic fatty acids are widely used in soap making to replace natural fats fraction C10-C16 (C12-C16) (coconut) is used in soap recipes, instead of coconut oil, fraction C17-C20 (fatty) – instead of solid fats. Synthetic fatty acids are obtained by oxidation of petroleum paraffin. With good purification from associated impurities, they can be a full-fledged raw material that replaces fatty acids from natural fats.

It is shown that the fat fraction often contains an increased amount of various impurities, including those that give acids, and therefore soap, an unpleasant odor; purification of synthetic fatty acids from these impurities is quite difficult. Caustic soda and soda ash are mainly used as alkaline substances necessary for saponification of neutral fats and neutralization of fatty acids.

It is proved that animal fats (lamb, beef fats and lard), hydrogenated (hydrogen-saturated) fats of marine animals and fish, vegetable oils (cotton, coconut and soybean) are used.

Currently, the raw material market for solid toilet soap is saturated with Malaysian products – palm oil and palm stearin. The composition of fatty acids of foreign "core" fats differs sharply from traditional animal fat, the content of palmitic, stearic and oleic acids.

Key words: toilet soap, titer, synthetic fatty acids, salomas, glycerin, fatty acid composition.

УДК 691.175.2

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/39>**Лебедєв В.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Кривобок Р.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Черкашина Г.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Близнюк О.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Лісачук Г.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Волощук В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

РОЗРОБКА ТА ОДЕРЖАННЯ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ПОГЛИНАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

У статті показані дослідження щодо розроблення полімерних композитів для поглинання електромагнітного випромінювання. Проведено глибокий літературний огляд з питань одержання сучасних матеріалів та композитів для створення ефективних матеріалів для поглинання електромагнітного випромінювання. На основі літературного огляду встановлено, що найбільш ефективні широкодіапазонні полімерні композити для поглинання електромагнітного випромінювання зазвичай містять змішані наповнювачі, які забезпечують різні механізми втрат електромагнітної енергії. Переваги термопластичних полімерних композитів для поглинання електромагнітного випромінювання полягає у поєднанні високої хімічної стійкості, задовільних механічних властивостей із технологічністю переробки та низькою вартістю. В роботі досліджені полімерні композитні матеріали на основі полімерної матриці у вигляді поліаміду 6 та карбиду кремнію SiC, які були отримані шляхом екструдювання попередньо підготовленої сировини в одношнековому лабораторному екструдері. В результаті проведених досліджень встановлено, що оптимальними вмістом карбиду кремнію в розроблених полімерних композитах з точки зору їх міцностних характеристик є 5 % мас. В рамках дослідження розроблених полімерних композитів на автоматизованому скалярному аналізаторі спектру P2-65 у діапазоні частот 26–37,5 ГГц визначено, що їх спектр коефіцієнта передачі T є відносно однаковий у всьому діапазоні частот, а отримані значення SWR вказують на досить великий коефіцієнт відбиття Γ для розроблених полімерних композитів. Відмічено, що розрахований коефіцієнт відбиття Γ полімерних композитів на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбід кремнію вказує на досить високе значення діелектричної проникності, при цьому її значення та значення тангенсу діелектричних втрат можна отримати при вимірюванні на аджіленті, але для цього треба дослідити зразки більшої товщини.

Ключові слова: полімерні композити, поглинання, електромагнітне випромінювання, поліамід, карбід кремнію.

Постановка проблеми. Важливе значення у сучасному полімерному матеріалознавстві займають полімерні композити для поглинання електромагнітного випромінювання [1]. Широку область застосування таких полімерних композитів впродовж багатьох років викликали значний інтерес для них застосування у технологіях Стелс, гамма композиційних матеріалів, комуні-

кації та обробки інформації [2]. Найбільш перспективними за технологічними, експлуатаційними та економічними критеріями є полімерні композити для поглинання електромагнітного випромінювання на основі термопластичних матриць з додаванням неорганічних наповнювачів. Такі матеріали не тільки поєднують властивості компонентів, які входять до них, але

й набувають нових властивостей, які не притаманні окремим компонентам.

Достатньо перспективним виглядає створення полімерних композитів для поглинання електромагнітного випромінювання на основі термопластичних матриць та карбиду кремнію, який характеризується унікальними властивостями з точки зору поглинання різнотипного електромагнітного випромінювання. Однак на сьогодні немає будь яких даних стосовно використання матеріалів для поглинання електромагнітного випромінювання саме на основі термопластичних матриць та карбиду кремнію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з літературними даними, типовими матеріалами для поглинання електромагнітного випромінювання є [3]:

1) електропровідні порошкоподібні матеріали (вугілля, сажа, графіт, метали – сталь, чавун, залізо, алюміній, кобальт, свинець, цинк, олово, мідь та ін., солі металів) зі сферичною, циліндричною, лускатою та ін. формою частинок;

2) провідні вуглецеві, металеві та металовуглецеві волокна, вуглетканини, металеві нитки, пластинки, смужки фольги, обрізки дроту, сітки складної форми, решітки, резонансні елементи у вигляді хрестоподібних диполів або замкнутих провідників (кілець) та ін. [4, 5, 6];

3) металізовані вуглецеві та полімерні волокна, тканини, плівки та макросфери;

4) магнітні наповнювачі – ферити різного хімічного складу (переважно магнітно-м'які), а також магнітні порошки металів та аморфних сплавів Fe, сплави Fe-Co-Ni; пермалою та ін.);

5) дисперсні напівпровідники – оксиди, карбід та сульфід металів, карбід кремнію, сегнетокераміка, обвуглені кремнійорганічні тканини та волокна;

6) діелектрики, зокрема, легко поляризовані органічні речовини (солі ретинілу Шиффа), біополімери (хітін) і т.п.

В роботі [7] описано використання графену як речовини для поглинання електромагнітного випромінювання при одержанні матеріалів високо-ефективного ослаблення електромагнітних хвиль. Відмічаються важливість для забезпечення ефективного поглинання електромагнітного випромінювання за рахунок раціонального дизайну мікроструктури чистого графену та регулювання його хімічної взаємодії з полімерами, магнітними металами, феритами, керамікою та багатокомпонентними композитами [8]. Загалом графен викликав великий інтерес дослідників завдяки своїм

відмінним фізичним властивостям і унікальному потенціалу застосування для поглинання електромагнітних хвиль, однак обробка стабільного великомасштабного графену та магнітних частинок на провідній основі мікрометрової товщини є серйозною проблемою для досягнення високих втрат на відбиття та узгодження імпедансу між поглиначем і вільним простором [9].

Більш технологічними матеріалами для поглинання електромагнітного випромінювання є матриці на основі сумішей термопластів, порошоків фериту або карбонільного заліза [10, 11]. Такі суміші наносять на поверхню, що захищається пензлем або розбризкуванням у вигляді лакофарбового покриття або наклеюють у вигляді листів. Принципово нові можливості при створенні матеріалів для поглинання електромагнітного випромінювання відкриває порівняно новий клас речовин: сегнетомагнетики, сегнет – , антисегнетоїлі сегнетіелектричні – властивості яких поєднуються з феро-, антиферо– або феромагнітними властивостями і взаємопов'язані в деякому інтервалі температур в одній речовині. Наприклад, сьогодні-електрики мають дуже високу діелектричну проникність, яка зберігається аж до діапазону низькочастотного електромагнітного випромінювання. На сантиметрових хвилях у сегнетокераміці має місце діелектрична дисперсія, в результаті якої дійсна частина діелектричної проникності знижується до кількох сотень, а тангенс кута діелектричних втрат зазнає максимуму.

В ряді досліджень [12, 13] встановлено, що карбід кремнію є достатньо ефективним діелектричним поглиначем за рахунок його власної електричної дипольної поляризації, яка поєднується з можливістю експлуатації в жорстких робочих середовищах з високими характеристиками поглинання електромагнітного випромінювання завдяки його низькому тепловому розширенню, гарній стійкості до теплового удару, високій міцності та гарній хімічній інертності [14]. Крім того, модифікація поверхні карбиду кремнію іншими діелектричними або магнітними матеріалами може внести множинні поляризації та підвищити діелектричні властивості, щоб покращити характеристики поглинання електромагнітного випромінювання [15, 16].

Постановка завдання. Отже, метою статті є розробка та дослідження полімерних композитів для поглинання електромагнітного випромінювання на основі термопластичного поліаміду та карбиду кремнію.

Завдання статті:

– виявлення впливу модифікації карбідом кремнію на комплекс міцностних властивостей полімерних композитів на основі поліаміду,

– визначення ступеня поглинання електромагнітного випромінювання полімерними композитами на основі поліаміду та карбиду кремнію.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Полімерні композитні матеріали одержували на основі полімерної матриці у вигляді поліаміду 6 марки Durethane (Bayer, Німеччина), карбиду кремнію SiC з питомим об'ємним опором ρ_v , Ом·м, високим значенням температури топлення 2700 °С та температурним коефіцієнтом лінійного розширення $5-7 \alpha \cdot 10^6, K^{-1}$.

Полімерні композитні матеріали на основі термопластичного поліаміду та карбиду кремнію були отримані шляхом екструдювання попередньо підготовленої сировини в одно шнековому лабораторному екструдері при температурі 170–200 °С та швидкості обертання шнеку 30–100 об / хв.

Дослідження ударної в'язкості та руйнівної напруги при вигині зразків полімерних композитних матеріалів проводили на маятниковому копрі при температурі 20 °С згідно до ISO 180 та ISO 178, відповідно.

Вимірювання зразка на предмет коефіцієнта передачі T та коефіцієнта стоячої хвилі по напрузі КСВН проводилося на автоматизованому скалярному аналізаторі спектру P2-65 у діапазоні частот 26–37,5 ГГц. Спектр оцифровувався та виводився на екран комп'ютера за допомогою програми LabVIEW фірми National Instruments. Зразок заповнював повністю переріз хвилеводу 7,2 x 3, 4 мм².

Первинні дослідження були направлені на вивчення впливу введення часток карбиду кремнію на комплекс міцностних властивостей композицій поліаміду 6 – табл. 1.

Таблиця 1

Вивчення впливу введення часток карбиду кремнію на комплекс міцностних властивостей композицій поліаміду 6

Карбід кремнію, % мас.	Ударна в'язкість, МПа	Руйнівна напруга при вигині, МПа
0	31	100
2.5	38.00	160.00
5.0	42.00	200.00
7.5	40.00	180.00

З результатів, наведених у таблиці 1 видно, що модифікація поліаміду 6 за допомогою карбиду кремнію дозволяє отримувати композитні

матеріали з високою міцністю, тоді як оптимальний вміст карбиду кремнію становить 5 % за масою.

Далі, в рамках дослідження розроблених полімерних композитів на автоматизованому скалярному аналізаторі спектру P2-65 у діапазоні частот 26–37,5 ГГц було визначено, що їх спектр коефіцієнта передачі T є відносно однаковий у всьому діапазоні частот, а отримані значення SWR вказують на досить великий коефіцієнт відбиття Γ для розроблених полімерних композитів. Отримані значення SWR полімерних композитів на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбиду кремнію вказують на їх досить великий коефіцієнт відбиття Γ (рис. 1), використовували формулу залежності коефіцієнта відбиття Γ від SWR. Далі визначали здатність одержаних полімерних композицій на ступінь поглинання електромагнітного випромінювання, при цьому значення коефіцієнта поглинання A наведено на рис. 2.

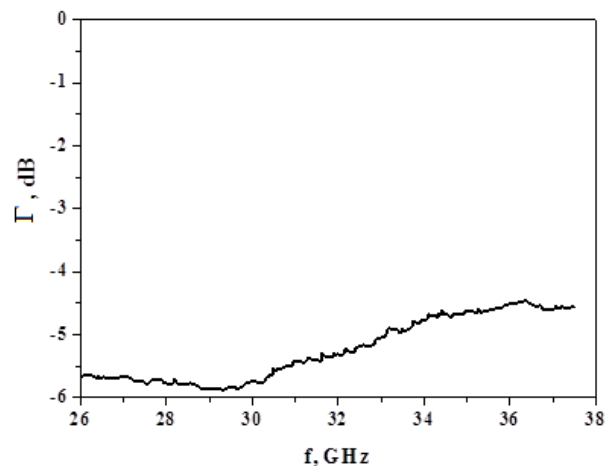


Рис. 1. Спектральна залежність розрахованого коефіцієнта відбиття Γ полімерних композитів на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбиду кремнію

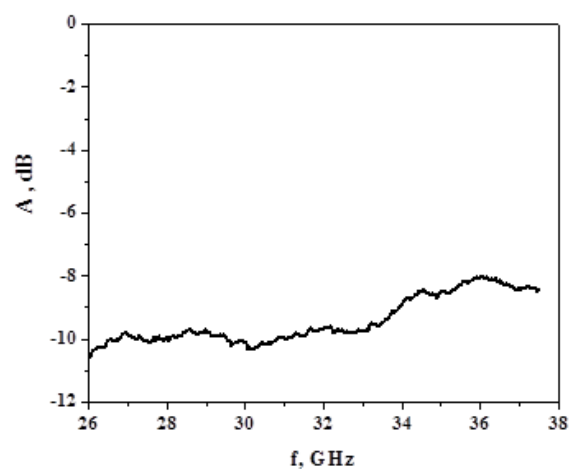


Рис. 2. Спектральна залежність розрахованого коефіцієнта поглинання A полімерних композитів на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбиду кремнію

В результаті отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що полімерні композити на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбїду кремнію є відносно прозорими у міліметровому діапазоні частот (приблизно 3 дБ, це ослаблення в 2 рази) та мають невелике значення коефіцієнта поглинання. Розрахований коефіцієнт відбиття Γ полімерних композитів на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбїду кремнію вказує на досить високе значення діелектричної проникності, при цьому її значення та значення тангенсу діелектричних втрат можна отримати при вимірюванні на аджіленті, але для цього треба виготовити зразок товщиною приблизно 5 мм.

Висновки. Таким чином, у наведеному дослідженні були одержані полімерні композити для поглинання електромагнітного випромінювання на основі поліаміду 6 та карбїду кремнію. Показано, що оптимальними вмістом карбїду кремнію в розроблених полімерних композитах з точки зору їх міцностних характеристик є 5 % мас. Відмічено, що розрахований коефіцієнт відбиття Γ полімерних композитів на основі поліаміду 6 та 5 % мас. карбїду кремнію вказує на досить високе значення діелектричної проникності, при цьому її значення та значення тангенсу діелектричних втрат можна отримати при вимірюванні на аджіленті, але для цього треба дослідити зразки більшої товщини.

Список літератури:

1. Tong X. Advanced materials and design for electromagnetic interference shielding. Boca Raton.: CRC Press, 2009. 340 p.
2. Chen L., Ong C., Neo C., Varadan V., Varadan V. Microwave electronics: measurement and materials characterization. West Sussex.: John Wiley and Sons, 2005. 552 p.
3. Pozar D. Microwave engineering. New York.: John Wiley and Sons, 2005. 736 p.
4. Lebedev V., Mirosnichenko D., Xiaobin Z., Pyshyev S., Savchenko D. Technological Properties of Polymers Obtained from Humic Acids of Ukrainian Lignite. *Petroleum and Coal*. 2021. Vol. 63 (3). P. 646-654.
5. Lebedev V., Mirosnichenko D., Xiaobin Z., Pyshyev S., Savchenko D., Nikolaichuk Y. Use of Humic Acids from Low-Grade Metamorphism Coal for the Modification of Biofilms Based on Polyvinyl Alcohol. *Petroleum and Coal*. Vol. № 63 (4). P. 953-962.
6. Lv R., Kang F., Gu J., Gui X., Wei J., Wang K. Carbon nanotubes filled with ferromagnetic alloy nanowires: lightweight and wide-band microwave absorber. *Applied Physics Letters*. 2008. Vol. 93. P. 223105
7. Menga F., Wanga H., Huang F., Guo Y., Wanga Z., Hui D., Zhou Z. Graphene-based microwave absorbing composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*. 2018. Vol. 137. P. 260-277.
8. Ayub S., Guan B., Ahmad F., Oluwatobi Y., Nisa Z., Javed M., Mosavi A. Graphene and Iron Reinforced Polymer Composite Electromagnetic Shielding Applications: A Review. *Polymers*. 2021. Vol. 13(15). P. 2580.
9. Li J., Lu W., Suhr J., Chen H., Xiao J., Chou T. Superb electromagnetic wave-absorbing composites based on large-scale graphene and carbon nanotube films. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. P. 2349.
10. Li Y., Yang H.J., Yang W.G., Hou Z.L., Li J.B., Jin H.B., Yuan J., Cao M. Structure, ferromagnetism and microwave absorption properties of la substituted BiFeO₃ nanoparticles. *Materials Letters*. 2013. Vol. 111. P. 130-133.
11. Krenke T., Duman E., Acet M., Wassermann E.F., Moya X., Manosa L., Planes A. Inverse magnetocaloric effect in ferromagnetic Ni-Mn-Sn. *Alloys Nature Materials*. 2005. Vol. 4. P.450-454.
12. Kumar A., Agarwala V., Singh D. Effect of milling on dielectric and microwave absorption properties of SiC based composites. *Ceramics International*. 2014. Vol. 40, P. 1797-1806.
13. Zhu H., Bai Y., Liu R., Lun N., Qi Y., Han F., Bi J. In situ synthesis of one-dimensional MWCNT/SiC porous nanocomposites with excellent microwave absorption properties. *Journal of Materials Chemistry*. 2011. Vol. 21. P. 13581.
14. Dou Y., Li J., Fang X., Jin H., Cao M. The enhanced polarization relaxation and excellent high-temperature dielectric properties of N-doped SiC. *Applied Physics Letters*. 2014. Vol. 104. P. 052102.
15. Lisachuk G., Kryvobok R., Voloshchuk V., Lapuzina O., Zakharov A. Study of Technological Features of Celsius Ceramics Creation. *Proceedings of the 2021 IEEE 11th International Conference "Nanomaterials: Applications and Properties"*, NAP 2021.
16. Liang C., Liu C., Wang H., Wu L., Jiang Z., Xu Y., Shen B., Wang Z. SiC-Fe₃O₄ dielectric-magnetic hybrid nanowires: controllable fabrication, characterization and electromagnetic wave absorption. *Journal of Materials Chemistry A*, 2014. Vol. 2. P. 16397-16402.

Lebedev V.V., Kryvobok R.V., Cherkashina G.M., Bliznyuk O.V., Lisachuk G.V. DESIGN AND RESEARCHING POLYMER COMPOSITES TO ABSORB ELECTROMAGNETIC RADIATION

The article shows research on the development of polymeric composites for the absorption of electromagnetic radiation. A deep literary review was conducted on the production of modern materials and composites to

create effective materials for the absorption of electromagnetic radiation. On the basis of literary review, it is established that the most effective wide -range polymeric compositions for the absorption of electromagnetic radiation usually contain mixed fillers that provide different mechanisms of electromagnetic energy losses. The advantages of thermoplastic polymeric composites for the absorption of electromagnetic radiation are to combine high chemical stability, satisfactory mechanical properties with processing processing and low cost. The work investigated polymer composite materials based on polymer matrix in the form of polyamide 6 and SIC silicon carbide were obtained by extruding of pre -prepared raw materials in one auger laboratory extruder. As a result of the studies, it was found that the optimal content of silicon carbide in the developed polymer compositions in terms of their strength characteristics is 5 % of masses. As part of the study of the developed polymeric composites on the automated scalar analyzer of the spectrum P2-65 in the frequency range of 26-37.5 GHz it is determined that their spectrum of the transmission coefficient T is relatively the same throughout the frequency range, and the obtained SWR values indicate a fairly high reflection coefficient for developed polymer composites. It is noted that the reflection coefficient of D polymer composites based on polyamide 6 and 5 % of masses. Silicon carbide indicates a sufficiently high value of dielectric permeability, with its value and the value of the dielectric loss tangent can be obtained by measuring on the adzhilent, but for this purpose it is necessary to examine samples of greater thickness.

Key words: *polymer composites, absorption, electromagnetic radiation, polyamide, silicon carbide.*

Мовчанюк О.М.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ШВИДКІСТЬ ПРОСОЧЕННЯ ВІДХОДІВ ПАКОВАННЯ ПЮР-ПАК

Стаття присвячена актуальній проблемі – переробленню ламінованої вторинної волокнистої сировини, що важко розпускається. Зазначено причини таких технологічних складнощів. Головною причиною називається обмежена площа контакту з водою картону, що знаходиться між шарами полімеру. Основною задачею у подоланні проблем перероблення ламінованої макулатури є процес відокремлення шарів полімеру від волокнистого шару картону. Наведено приклади сучасних технологій, які пов'язані з використанням хімічних речовин неорганічного і органічного походження та суміші різних речовин. Зазначено, що суттєвим недоліком використання хімічних речовин є те, що вони, разом з продуктами їх хімічної взаємодії, залишаються в готовому папері та картоні, а також накопичуються в оборотній воді, чим створюють інші проблеми. Тому розроблення ефективних технологій відокремлення полімерних шарів без використання хімічних речовин є актуальною задачею.

Для дослідження була вибрана макулатура з використаної упаковки Пюр-Пак, що широко використовується для зберігання рідких молочних продуктів. Метою даного дослідження було визначення впливу температури води на ефективність просочення відходів використання такого пакування.

Досліджено вплив температури води в діапазоні 15 – 60 °С на ефективність просочення ламінованої макулатури впродовж 150 хв. Отримано та проаналізовано залежності між тривалістю просочування зразків і показником водопоглинання за різних значень температури. Доведено, що збільшення температури води сприяє інтенсифікації процесу просочування. Найменше значення водопоглинання зафіксовано за температури 15 °С, найбільше – за 60 °С. За результатами досліджень отримано математичні моделі. Встановлено, що збільшення температури води під час просочування зразків макулатури з 15 до 60 °С дозволить підвищити ефективність процесу до 8 разів.

Отримані результати допоможуть підвищити ефективність процесу розпускання ламінованої макулатури та удосконалити технологію її перероблення.

Ключові слова: ламінована макулатура, упаковка Пюр-Пак, технологія перероблення, температура води, швидкість просочення.

Постановка проблеми. Вторинна сировина сьогодні широко використовується в багатьох галузях промислового виробництва. Паперова промисловість не є виключенням. В Україні використання вторинної волокнистої сировини має особливе значення як з економічної, так і з екологічної точки зору, оскільки більшість вітчизняних паперових підприємств виробляють свою продукцію з макулатури. Зважаючи на таку ситуацію, чітко прослідковуються такі стійкі тенденції як дефіцит макулатури в країні і погіршення її якості, що, в свою чергу, призводить до зниження якості готової картонно-паперової продукції, що виробляється.

Зазначені вище проблеми змусили виробників паперової галузі звернути увагу на ті марки макулатури, які через технологічні складнощі їх перероблення довго залишалися поза увагою і які згідно чинного державного стандарту [1, с. 2] віднесені до групи Г і характеризуються тим, що важко розпускаються.

Особливо привабливою і для дослідників, і для виробників залишається макулатура марки МС-12Г (відходи виробництва, перероблення та використання паперу та картону металізованого, з поліетиленовим покриттям (з алюмінієвою фольгою або без неї) [1, с. 4]. Основною причиною цього є цінне целюлозне волокно одного циклу перероблення, що міститься в такій макулатурі. До цієї марки макулатури відноситься і відходи пакування для тривалого і нетривалого зберігання рідких та пастоподібних харчових продуктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні вже проведено багато досліджень і розроблено велику кількість технологій перероблення такої макулатури. В основу багатьох з них покладено використання індивідуальних неорганічних речовин або їх сумішей, наприклад, суміші сульфату натрію, сульфату натрію та гідроксиду натрію або суміші у складі сульфатів натрію і калію, сульфату натрію та гідроксиду натрію.

Такі суміші не розчиняють ні пластик, ні картонний шар, але розчиняють алюміній і клей, тим самим руйнуючи зв'язки між картонним шаром і полімерною плівкою [2, с. 4].

Відомі також технології, коли шари полімерні шари відокремлюють за допомогою оброблення ламінованої макулатури органічною кислотою або сумішшю органічних кислот (мурашиної, оцтової, пропіонової, бутанової кислот та інших аналогічних летких органічних речовин). Оброблення здійснюють за високої температури (80°C), що перевищує температуру спалаху оцтової кислоти. Це не лише потребує великої кількості енергії, але також збільшує загрозу безпеці. Суміш, що використовується, є дуже агресивною у зв'язку з високою концентрацією (80%) оцтової кислоти. Суміш буде атакувати алюмінієві компоненти та призведе до утворення водню, а також до втрати алюмінію [3, с. 5].

Але незалежно від виду використовуваних хімічних речовин, всі продукти їх хімічного впливу, як і компоненти вихідної суміші в результаті частково залишаються в готовому папері (картоні), а переважно опиняються в оборотній воді, створюючи вторинні проблеми. І це без урахування економічної складової, адже всі ці речовини коштують немало. Тому розроблення технологій відокремлення полімерних шарів від картону без використання хімічних речовин є актуальною задачею.

Метою даного дослідження було визначення впливу температури води на ефективність просочення відходів використання ламінованого пакування Pure-Pak для рідких молочних продуктів.

Виклад основного матеріалу. Основною проблемою у технології перероблення ламінованої макулатури є процес відокремлення полімерних шарів від волокнистого шару картону. Традиційно при зволоженні сухої макулатури вода в результаті фізико-хімічних процесів проникає в пори аркуша, послаблює водневі зв'язки між сусідніми волокнами, розсуває їх та в подальшому викликає набухання. Відбувається розрив водневих зв'язків між волокнами та заміщення цих зв'язків слабкими водними містками. У випадку ламінованої макулатури, коли з обох сторін картонний аркуш вкритий полімерним шаром, відбувається обмежений контакт з водою, лише через торцеві поверхні, що мають незначну площу контакту. Тому швидкість просочення картону водою буде залежати від капілярних сил, в результаті дії яких вода від торців зразка буде транспортуватися у середину картонного шару [4, с. 72].

На рисунку 1, б зображено упаковку Pure-Pak із двосхилим верхом компанії Elopak, що залишається однією з найпопулярніших у світі упаковок для молока та сокових продуктів. Вторинна упаковка Pure-Pak (рис. 1, а) забезпечує надійну доставку продукції до споживача [5].

Поглинання рідких серед целюлозним волокном переважно здійснюється шляхом капілярного всмоктування рідини в міжволоконні простори і люмени волокон; на цій стадії, що протікає з великою швидкістю, значення сорбції досягають сотень відсотків [6, с. 48]. Активація сорбції води волокнами картонного шару може суттєво пришвидшити процес деламінування під час розпускання, що призведе до зниження витрат електроенергії та втрат волокна.



Рис. 1. Пакування Pure-Pak компанії Elopak
а – вторинне; б – первинне

Для дослідження використовували відходи пакування Pure-Pak компанії Elopak для нетригального зберігання рідких молочних продуктів (шар фольги відсутній). Слідкували за тим, щоб підготовлені зразки розміром 30x50 мм не мали пластикових фрагментів та механічних пошкоджень (згинів та заломів). Для просочення зразків використовували скляну ємність з дистильованою водою. Для підтримання постійної температури води під час всього часу просочування (150 хвилин) використовували термостат.

Раніше аналогічні дослідження були виконані для асептичного пакування (з шаром фольги) [7]. Дослідження проводилися за цією ж методикою. Водопоглинання картонного шару оцінювали за відносним приростом маси зразка ($q, \%$) після певного часу просочування і визначали за формулою:

$$q = \frac{m_k - m_n}{m_n} \cdot 100,$$

де m_n і m_k – маса зразка до і після просочення, г, відповідно

Результати досліджень представлено на рис. 2.

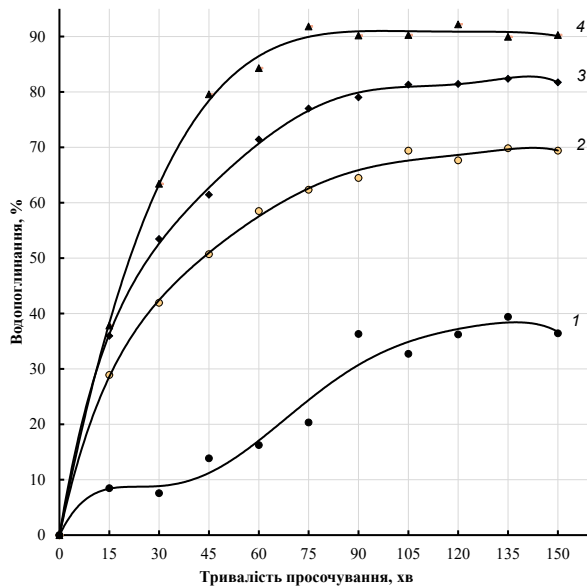


Рис. 2. Залежність вологопоглинання від тривалості просочення за різних значень температури води
1, 2, 3, 4 – температура води 15, 35, 45, 60°C

Аналіз графічних даних демонструє чітку залежність швидкості вологопоглинання від температури води під час просочування зразків. Збільшення температури води сприяє інтенсифікації процесу просочення. Найменші значення вологопоглинання отримано за температури 15°C, найбільші – за температури 60°C. Так для досягнення

водопоглинання 30 % за температури 15°C знадобилося 87 хв, за 35°C – 16 хв, а за 45 і 60°C виявилось достатнім 11 хв просочування, тобто ефективність процесу в останньому випадку збільшилася майже у 8 разів. На дослідженій ділянці часу 90 % водопоглинання вдалося досягти лише за температури просочування 60°C, для цього знадобилося 75 хв. Просочення ж за температури 15°C не дозволило досягти значення водопоглинання у 40 %.

За допомогою функції «Лінія тренда» програми MS Excel 2010 було виконано апроксимацію експериментальних залежностей. Отримані однофакторні математичні моделі для досліджених значень температури представлено в таблиці 1. Всі моделі є поліноміальними функціями, що адекватно описують залежності водопоглинання від загального часу просочування зразків, зі ступенем апроксимуючого полінома 6.

Висновки. Таким чином, проведені дослідження довели ефективність температурного чинника. Збільшення температури води під час просочування відходів пакування Pure-Pak з 15 до 60°C дозволить підвищити ефективність процесу до 8 разів.

Подальші дослідження планується провести у напрямку вивчення впливу температури води для попереднього просочування зразків на ефективність процесу відокремлення полімерної плівки під час розпускання.

Таблиця 1

Результати апроксимації

Температура, °C	Математична модель	Достовірність апроксимації, (R ²)
15	$y = -2E-10x^6 + 9E-08x^5 - 2E-05x^4 + 0,0016x^3 - 0,0673x^2 + 1,2594x - 0,0399$	0,9682
35	$y = -1E-10x^6 + 6E-08x^5 - 1E-05x^4 + 0,0013x^3 - 0,0734x^2 + 2,7579x$	0,9984
45	$y = -2E-10x^6 + 1E-07x^5 - 2E-05x^4 + 0,002x^3 - 0,1056x^2 + 3,6213x$	0,9994
60	$y = -1E-09x^5 - 9E-08x^4 + 0,0002x^3 - 0,0368x^2 + 3,0637x$	0,9985

Список літератури:

1. ДСТУ 3500:2019. Макулатура паперова і картонна. Технічні умови. – На заміну ДСТУ 3500:2009; чинний від 2020–07–01. – ДП «УкрНДНЦ», 2019. 14 с. (Державний стандарт України).
2. Patent WO 2011/077450 A2, C08J 11/06 (2006/01). Process for delamination of laminated packaging / Mukhopadhyay Ashutosh. – Publ. 30.06.11. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/ed/e6/6d/cc295ed04934bb/WO2011077450A2.pdf>
3. Пат № 2759556 C2 RU., МПК В32В 38/10, В32В 38/16, В32В 43/00. Способ и устройство переработки упаковочного материала / Ф. Ловис, М. Шульце (DE). – Оpubл. 15.11.21, Бюл. № 32. URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/63/2e/72/e48ad3fefeb8e0/RU2759556C2.pdf>
4. Ванчаков М.В., Кулешов А.В., Александров А.В., Гаузе А.А. Технология и оборудование переработки макулатуры: учебное пособие/ ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2019. Часть I. 107 с.
5. ELOPAK. Secondary packaging. URL: <https://www.elopak.com/distribution/>

6. Коваль А. М., Мовчанюк О. М. Інтенсифікація розпускання відходів асептичного пакування // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». – 2021. – № 18 (118). С. 47–50.

7. Movchanyuk O., Koval A. The rate of absorption of liquid by the fibrous layer aseptic packaging // Results of modern scientific research and development. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. Barca Academy Publishing (12–14 december 2021, Madrid, Spain). Pp. 206–211.

Movchaniuk O.M. INFLUENCE OF WATER TEMPERATURE ON THE RATE OF IMPREGNATION OF PURE-PAK PACKAGING WASTE

The article is devoted to an actual problem – the processing of laminated secondary fibrous raw materials that are difficult to dissolve. The reasons for such technological difficulties are indicated. The main reason is the limited area of contact with water of the cardboard between the polymer layers. The main task in overcoming the problems of recycling laminated waste paper is the process of separating polymer layers from the fibrous layer of cardboard. Examples of modern technologies associated with the use of inorganic and organic chemical substances and mixtures of various substances are given. It is noted that a significant drawback of using chemicals is that they, together with the products of their chemical interaction, remain in the finished paper and cardboard, and also accumulate in circulating water, which creates other problems. Therefore, the development of effective technologies for the separation of polymer layers without the use of chemicals is an urgent task.

Waste paper from used Pure-Pak packaging, which is widely used for storing liquid dairy products, was selected for the study. The purpose of this study was to determine the effect of water temperature on the efficiency of impregnation of waste using such packaging.

The effect of water temperature in the range of 15-60 °C on the efficiency of impregnation of laminated waste paper for 150 minutes was investigated. The dependences between the duration of seepage of the samples and the water absorption index at different temperature values were obtained and analyzed. It has been proven that an increase in water temperature contributes to the intensification of the seepage process. The lowest value of water absorption was recorded at a temperature of 15 °C, the highest at 60 °C. Based on the research results, mathematical models were obtained. It has been established that increasing the water temperature during soaking of waste paper samples from 15 to 60 °C will increase the efficiency of the process up to 8 times.

The obtained results will help increase the efficiency of the process of dissolving laminated waste paper and improve the technology of its processing.

Key words: laminated waste paper, Pure-Pack packaging, processing technology, water temperature, impregnation rate.

Сухий К.М.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Фролова Л.А.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Шунькін І.С.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМПОЗИТІВ ПОЛІВІНІЛОВИЙ СПИРТ- α -FeOОН

Полівініловий спирт (ПВС) – це нетоксичний і неканцерогенний полімер, який здатний до повного біологічного розкладання, з високою хімічною стійкістю і низькою вартістю. Але плівки з полівінілового спирту мають певні недоліки, наприклад, невисокі механічні, оптичні і пароізоляційні властивості, вологостійкість.

Для вирішення цих проблем, синтезуються нанокомпозитні матеріали, при цьому здатність до біологічного розкладання залишається незмінною. Останнім часом виконані роботи для поліпшення індивідуальних властивостей плівок ПВС, таких як оптичні властивості, механічні характеристики і водостійкість. Тим не менш, немає достатньої інформації про вплив оксигідроксидів та оксидів феруму на властивості нанокомпозитів полівінілового спирту, які можна використовувати як пакувальні матеріали. Наприклад перспективним є використання частинок α -FeOОН.

В роботі розглянуто попередньо синтезовані гетит та композитні плівки полівініловий спирт-гетит. Характеристики вихідних речовин та композиту проводили за допомогою методів скануючої електронної мікроскопії, оптичної мікроскопії, рентгенофазового аналізу. За стандартними методами визначали механічні властивості композитів.

Встановлено, що механічні характеристики композиту полівініловий спирт- α -FeOОН, що виготовлений за допомогою обробки в бісерному млині, покращуються. Синтезовані композити полівініловий спирт-гетит, що містять 3 мас.% гетиту показали покращення максимальної міцності на розтяг на 20 % порівняно з ПВС.

Рентгенофазовий аналіз показав, що особливість хімічної будови гетиту, де присутні гідроксильні групи, дає змогу отримувати дуже міцний зв'язок з полімерною матрицею. Це ефективно сприяє механічному зміцненню полімеру завдяки хімічній взаємодії наночастинок і матриці з гідрофільними фрагментами на полімерних ланцюгах завдяки водневому зв'язку.

Ключові слова: ПВС, гетит, композит, рентгенофазовий аналіз.

Постановка проблеми. Протягом останніх років завдяки значному забрудненню довкілля пластиковими відходами і зменшенню природних ресурсів, розробка і застосування «екологічних полімерів» приваблює дослідників [1–3]. Широко розробляються склади біорозкладних полімерів з метою замінити перш за все поліетилен, який не піддається повному біологічному розкладанню і утворює вторинне забруднення нанополіетиленом [4, 5]. Серед добре вивчених біорозкладних полімерів особливе місце займає полівініловий спирт (ПВС).

Постановка завдання. ПВС – це полімер, який здатний до повного біологічного розкладання на безпечні вуглекислий газ і воду за допомогою селективних бактерій ґрунту. Крім того, ПВС як нетоксичний і неканцерогенний полімер з над-

звичайною характеристикою плівкоутворення, високою хімічною стійкістю, низькою вартістю вважається одним з найбільш перспективних біорозкладних матеріалів. Але ПВС має певні недоліки, наприклад, невисокі механічні, оптичні і пароізоляційні властивості, вологостійкість [6].

Для вирішення цієї проблеми, одним із найефективніших способів є розробка складів нанокомпозитних матеріалів, при цьому здатність до біологічного розкладання залишається незмінною [7]. Останнім часом виконані роботи для поліпшення індивідуальних властивостей плівок ПВС, таких як оптичні властивості, механічні характеристики і водостійкість [8]. Тим не менш, немає достатньої інформації про вплив оксигідроксидів та оксидів феруму на властивості нанокомпозитів ПВС, які можна використовувати як пакувальні матеріали для різноманітної продукції.

Гетит (α -FeOOH) є оксигідроксидом феруму(III), що має специфічну голчасту структуру з високим коефіцієнтом анізотропії форми [9]. Наноголчасті частинки α -FeOOH зустрічаються як неорганічний компонент у композитах різної природи. Особливість хімічної будови гетиту, де присутні гідроксильні групи, дає змогу отримувати дуже міцний зв'язок з полімерною матрицею. Це ефективно сприяє механічному зміцненню полімеру завдяки хімічній взаємодії наночастинок і матриці з гідрофільними фрагментами на полімерних ланцюгах завдяки міцному водневому зв'язку. Тобто можливо передбачити значне покращення механічних властивостей ПВС. Крім того гетит володіє рядом специфічних властивостей, що дає змогу отримати полімерні матеріали зі спеціальними застосуваннями. Відомо, що гетит має заборонену зону в діапазоні 1,8-1,9 eV, має привабливе жовте забарвлення, проявляє фотокаталітичну активність. Крім того, невелике значення енергії забороненої зони, зумовлює сильне поглинання видимої частини електромагнітного спектру, внаслідок чого можуть утворюватися радикали, що покращують властивості композиту [10]. Різноманітність підходів, які були розроблені для покращення властивостей ПВС описувались в обзорах [11,12]. Один з найбільш перспективних методів – це модифікація ПВС наночастинами, що привертає все більшу увагу дослідників. Проте у даному випадку, коли голчасті частинки дисперговані в полімері, співвідношення компонентів і природа наповнювача можуть мати значний вплив на механічні властивості композитів на полімерній основі.

Основною метою даної роботи є синтез композитів ПВС-гетит та дослідження їх властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження

Методика проведення дослідів

Гетит отримано в лабораторних умовах шляхом осадження з модельних розчинів сульфатів заліза каустичною содою. Осадження проводили в тригорлій колбі.

Колбу встановлювали на плиту, обладнану ртутним термометром і водяним холодильником. Під час досліду в тригорлу колбу поміщали необхідну для експерименту кількість сульфату металу з концентрацією 0,5 моль/л, додавали різні кількості гідроксиду натрію і суміш перемішували магнітною мішалкою.

Протягом всього експерименту в колбу додавали азот і підтримували температуру близько 30-45°C. Значення рН вимірювали рН-метром.

У момент, коли температура і рН середовища досягали номінальних значень, змішування припиняли. Потім підключили компресори для окислення суміші киснем. Час окислення 1,5-2 години. Суміш фільтрували, отриману пасту висушували

і подрібнювали. Фільтрат аналізували на наявність катіонів і ОН-груп за відомими методиками.

Морфологію композиту характеризували за допомогою скануючого електронного мікроскопа JSM-6390 LV (JEOL, Японія).

Фазовий склад висушених порошків визначали за допомогою рентгенівського аналізу (ДРОН-2.0, Со-Ка випромінювання).

Оптичну мікроскопію виконували за допомогою мікроскопа мікротвердоміра ПМТ-3:

Спектри поглинання UV/VIS вимірювали в діапазоні довжин хвиль від 200 до 900 нм з використанням спектрофотометра UV 5800 PC.

Плівки з ПВС, з додаванням різної кількості гетиту, готували литтям, з попереднім змішуванням компонентів у бісерному млині.

Зразки опромінювали УФ лампою при $\lambda = 254$ нм за кімнатної температури.

Механічні властивості плівок визначали на розривній машині РТ-250М.

Результати та їх обговорення

Рентгенограму отриманих частинок α -FeOOH показано на рис. 1. Синтезовано гетит (α -FeOOH), що відповідає картці (ICDD 04-015-2899). Спостерігаються різкі дифракційні піки α -FeOOH, що вказують на кристалічну речовину з відсутністю на рентгенограмах піків домішок оксидів та гідроксидів феруму(III).

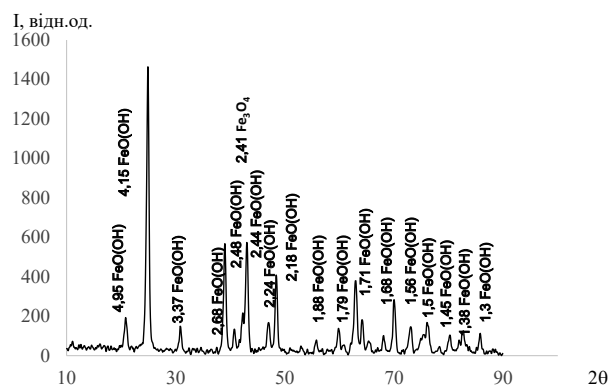


Рис. 1. Рентгенівська дифрактограма гетиту

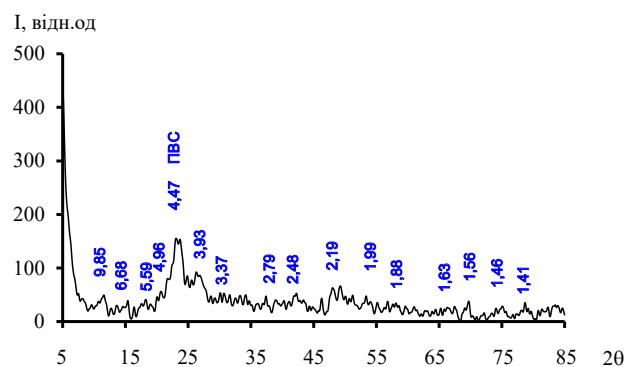


Рис. 2. Рентгенівська дифрактограма ПВС

З іншого боку, рентгенограма ПВС (рис. 2) показує більш аморфну структуру з відсутністю яскраво виражених піків. Крім того, рентгенограма нанокompозитів ПВС-гетит (рис. 3) демонструє, що кристалічна структура отриманого гетиту не зберігається, а інтенсивність невелика і відповідає аморфному матеріалу.

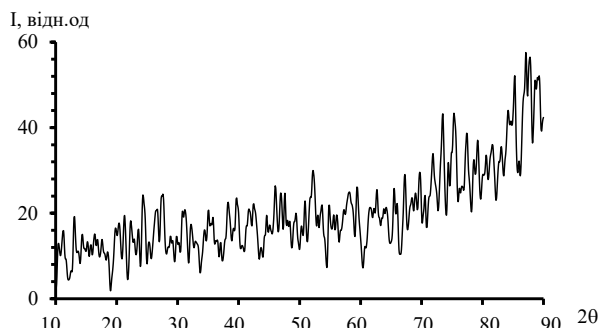


Рис. 3. Рентгенівська дифрактограма плівки ПВС-гетит

Мікροструктурні особливості синтезованого α -FeOOH досліджено методом СЕМ (рис. 2). Наночастинки гетиту мають анізотропну форму з довжиною близько 500 нм, діаметром від 20 до 15 нм і співвідношенням сторін до 15. Аморфна структура отриманого композиту вказує на утво-

рення хімічного зв'язку за рахунок наявних гідроксильних груп.

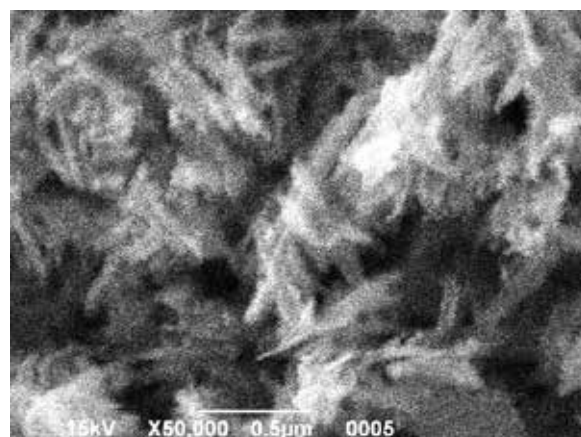


Рис. 4. СЕМ фотографії гетиту

На рисунку 5 показано максимальну міцність на розрив та подовження при розриві для композитних плівок гетит-ПВС.

Якщо початкове значення подовження при розриві для композитних плівок та ПВС практично співпадало, то під дією УФ-випромінювання воно значно знижувалось порівняно з відносним подовженням при розриві для плівки з чистого ПВС. Композитні плівки показали збільшення міцності, майже 20% вище ніж для плівки з чистого ПВС.

Вливу УФ-випромінювання на структуру плівок показано на рисунку 6. З плином часу спостерігається збільшення шорсткості поверхні, що корелює зі значенням подовження на розрив.

Для плівки ПВС спостерігається на першому етапі опромінювання її помутніння внаслідок структурування і через 180 хвилин невеликий прояв збільшення шорсткості.

Висновки. В роботі розглянуто синтез гетиту та композиту ПВС-гетит з покращеними оптичними, механічними, властивостями. Зразки виготовлені методом лиття з розчину з попередній змішуванням компонентів у бісерному млині. У порівнянні з чистим ПВС композитна плівка ПВС-гетит (3%) показала покращення механічних характеристик на 20%.

Поліпшення характеристик пояснюється гомогенною структурою композиту, за рахунок рівномірного розподілу гетиту в полімерній матриці та сильній взаємодії між гідроксильними групами полівінілового спирту та гетиту, що підтверджується даними рентгенофазового аналізу.

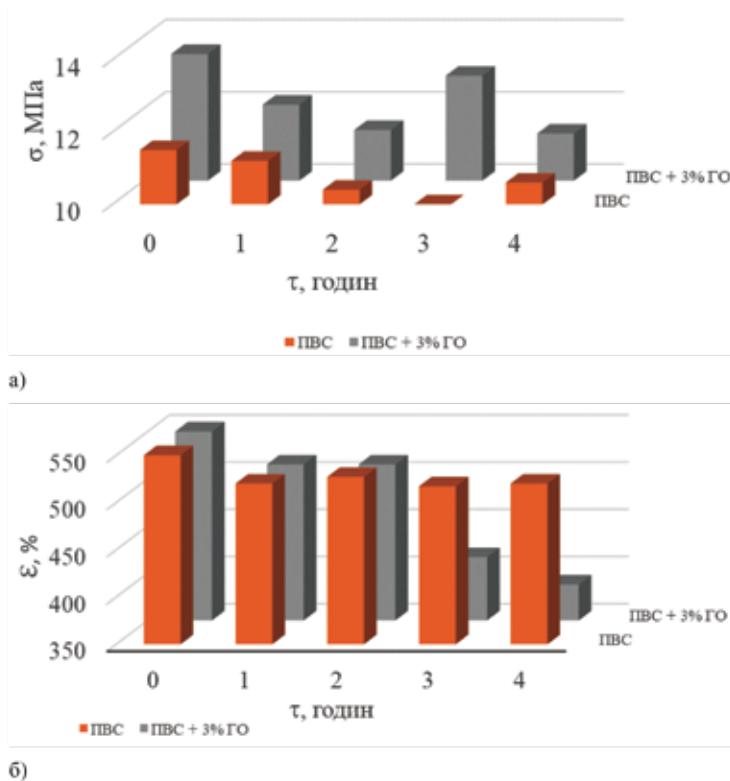
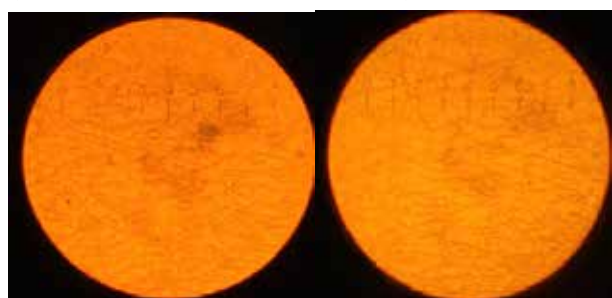


Рис. 5. Залежність максимальної міцності на розрив (а) композитних плівок та подовження при розриві для композитних плівок гетит-ПВС(б) від часу УФ-опромінювання

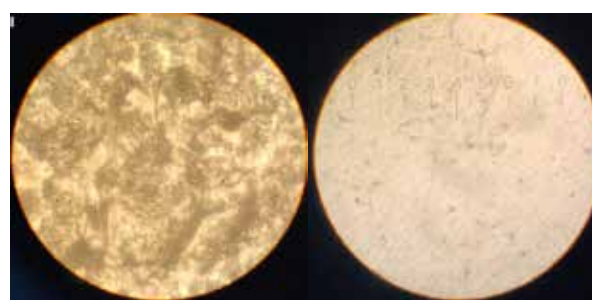


а) б)



в) г)

Рис. 6. Мікрофотографії поверхні плівки ПВС-геліт в залежності від часу УФ опромінювання, а- час опромінювання 0 хв, б- час опромінювання 60 хв, в- час опромінювання 120 хв, г- час опромінювання 180 хв



а) б)



в) г)

Рис. 7. Мікрофотографії поверхні плівки ПВС в залежності від часу УФ опромінювання, а- час опромінювання 0 хв, б- час опромінювання 60 хв, в- час опромінювання 120 хв, г- час опромінювання 180 хв

Список літератури:

1. Luo Q., Hossen M. A., Zeng Y., Dai J., Li S., Qin W., Liu Y. Gelatin-based composite films and their application in food packaging: A review. *Journal of Food Engineering*. 2022. 313, P.110762.
2. Bozdoğan A., Aksakal B., Yargı O., Şahintürk U. Structural and tensile characteristics of reduced graphene oxide/poly (vinyl alcohol) composite films: Influence of ultraviolet irradiation. *Polymer Composites*. 2020. 41(8), P. 3087-3100.
3. Šutka, A., Järvekülg M., Šutka A., Heinmaa I., Mäeorg U., Smits K., Timusk M. Mechanical reinforcement of electrospun poly (vinyl alcohol) by α -FeOOH nanowires. *Polymer Composites*. 2018. 39(7), P. 2461-2468.
4. Rochman C. M., Kurobe T., Flores I., Teh S. J. Early warning signs of endocrine disruption in adult fish from the ingestion of polyethylene with and without sorbed chemical pollutants from the marine environment. *Science of the Total Environment*. 2014. 493, P. 656-661.
5. Magri D., Sánchez-Moreno P., Caputo G., Gatto F., Veronesi M., Bardi G., Fragouli D. Laser ablation as a versatile tool to mimic polyethylene terephthalate nanoplastic pollutants: characterization and toxicology assessment. *ACS Nano*. 2018. 12(8), P. 7690-7700.
6. Popescu M. C. Structure and sorption properties of CNC reinforced PVA films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2017. 101, P. 783-790.
7. Lee S. Y., Mohan D. J., Kang I. A., Doh G. H., Lee S., Han S. O. Nanocellulose reinforced PVA composite films: effects of acid treatment and filler loading. *Fibers and Polymers*. 2009.10(1), P. 77-82.
8. Darwish A. A. A., Aboraia A. M., Alharbi S. R., El Shafey A. M., Mohammedsaleh Z. M., Alrafai H. A., Omar, A. M. Tailoring the structural and optical features of PtCl₄@ PVA polymeric composite films for optical applications. *Optical Materials*. 2021. 120, P. 111416.
9. Frolova L. A., Hrydnieva T. V. Influence of various factors on the ferric α -oxyhydroxide synthesis. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2020. 28(1), P. 61-67.
10. Šutka A., Järvekülg M., Šutka A., Heinmaa I., Mäeorg U., Smits K., Timusk M. Mechanical reinforcement of electrospun poly (vinyl alcohol) by α -FeOOH nanowires. 2018. *Polymer Composites*. 39(7), P.2461-2468.
11. Abdullah Z. W., Dong Y., Davies I. J., Barbhuiya S. PVA, PVA blends, and their nanocomposites for biodegradable packaging application. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2017. 56(12), P. 1307-1344.
12. Mok C. F., Ching Y. C., Muhamad F., Abu Osman N. A., Hai N. D., Che Hassan C. R. Adsorption of dyes using poly (vinyl alcohol)(PVA) and PVA-based polymer composite adsorbents: a review. *Journal of Polymers and the Environment*. 2020. 28(3), P. 775-793.

Sukhyy K.M., Frolova L.A., Shunkin I.S. STUDY OF PROPERTIES OF POLYVINYL ALCOHOL- α -FeOOH COMPOSITES

Polyvinyl alcohol (PVA) is a non-toxic and non-carcinogenic polymer capable of complete biological decomposition, with high chemical resistance and low cost. But films made of polyvinyl alcohol have certain disadvantages, for example, low mechanical, optical and vapor barrier properties, moisture resistance.

To solve these problems, nanocomposite materials are synthesized, while the capacity for biological decomposition remains unchanged. Recently, work has been done to improve the individual properties of PVA films, such as optical properties, mechanical characteristics, and water resistance. Nevertheless, there is not enough information about the effect of iron oxyhydroxides and oxides on the properties of polyvinyl alcohol nanocomposites that can be used as packaging materials. For example, the use of α -FeOOH particles is promising.

Goethite and polyvinyl alcohol-goethite composite films were synthesized. The characteristics of the starting substances and the composite were carried out with the help of the methods of scanning electron microscopy, optical microscopy, X-ray phase analysis. Mechanical properties of composites were determined by standard methods.

It was found that the mechanical characteristics of the polyvinyl alcohol α -FeOOH composite, which was produced by processing in a bead mill, improved. Synthesized polyvinyl alcohol-goethite composites containing 3 wt.% goethite showed an improvement in maximum tensile strength by 20% compared to PVA.

X-ray phase analysis showed that the peculiarity of the chemical structure of goethite, where hydroxyl groups are present, makes it possible to obtain a very strong bond with the polymer matrix. This effectively contributes to the mechanical strengthening of the polymer due to the chemical interaction of nanoparticles and the matrix with hydrophilic fragments on the polymer chains due to a strong hydrogen bond.

Key words: PVA, goethite, composite, X-ray phase analysis.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.683-047.44:664.641.2:635.621:631.526.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/42>**Любич В.В.**

Уманський національний університет садівництва

Карпенко В.П.

Уманський національний університет садівництва

Желєзна В.В.

Уманський національний університет садівництва

Новіков В.В.

Уманський національний університет садівництва

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ЯКОСТІ ПЕЧИВА ПІСОЧНОГО З ДОБАВЛЯННЯМ БОРОШНА ГАРБУЗОВОГО РІЗНИХ СОРТІВ

Борошно гарбузове містить майже всі складові свіжого гарбуза. Відрізняється нижчим вмістом води, вищим харчових волокон, вуглеводів і мінеральних елементів. Статтю присвячено вивченню кулінарної якості печива пісочного різних сортів гарбуза, з яких отримано борошно. Результати досліджень свідчать, що добавляння борошна гарбузового до рецептури печива пісочного достовірно підвищує його міцність. Так, цей показник зростає від 1,05 до 1,45–1,47 кг. Слід відзначити, що міцність печива не змінювалась залежно від сорту гарбуза, з якого було отримано борошно. Ступінь набубнявіння змінювався обернено пропорційно до міцності печива пісочного. Так, найвищим він був у варіанті без добавляння борошна гарбузового – 2,31. Добавляння борошна гарбузового до рецептури печива достовірно знижувало набубнявіння до 1,70–1,73. При цьому цей показник достовірно не залежав від сорту гарбуза. Статистично підтверджено, що з підвищенням міцності ступінь набубнявіння печива знижується. Між показниками міцності та ступеня набубнявіння встановлено сильний обернений кореляційний зв'язок. Результати дослідження свідчать, що всі зразки печива пісочного мали високі показники кулінарної якості. Слід відзначити, що добавляння борошна гарбузового не впливало на зміну форми, колір поверхні, пористість і розсипчастість. Різні сорти гарбуза впливали на колір м'якуша печива пісочного. Так, за добавляння борошна гарбузового, отриманого з сортів Данко Полька, Мозолівський 15, Український багатоплідний і Кавбуз 3 м'якуш була світло-жовтою. За добавляння борошна гарбузового сортів Потімаррон, Бутернут, Мускатний 2 і Атлант м'якуш печива був жовтим. Запах і смак печива з добавлянням борошна гарбузового був на рівні варіанту без нього – 9 бала. Слід відзначити, що всі дегустатори оцінили печиво пісочне на високу оцінку. При цьому запах і смак гарбуза був відсутнім, тобто не відчувався сенсорними органами відчуття людини. Очевидно, що сорт гарбуза, з яких отримували борошно не впливає на кулінарну якість печива пісочного. Це дає можливість застосовувати борошно гарбузове різних сортів гарбуза окремо та в сумішах у технології печива пісочного.

Ключові слова: печиво пісочне, борошно гарбузове, сорт, рецептура, кулінарна якість.

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Доведено [1, 2], що використання композитного борошна зернобобових культур сприяє підвищенню харчової та біологічної цінностей хлібобулочних виробів, а використання сушеного порошку цукрових буряків дозволяє повністю виключити цукор з рецептури одержуваного продукту. Підвищити біологічну цінність продукту

можна завдяки застосування високоякісного зерна або плодоовочевої продукції [3, 4]. Застосування їх у технології отримання хлібобулочних виробів і рецептури дозволяє розширити асортимент хлібобулочних виробів, скоротити тривалість технологічного процесу виробництва, поліпшити якість готової продукції, збільшити продуктивність праці. Це також сприяє підвищенню

соціально-економічних показників хлібопекарських і кондитерських підприємств [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Грищенко А. М [6] встановлено доцільність використання в технології безбілкового хліба топіювального крохмалю кількістю 5 %, що сприяє поліпшенню органолептичних показників якості виробів і затримувannya процесів черствіння. Така суміш може бути використана для виробництва безглютенового хліба з додаванням різних видів безглютенового борошна.

Авторами [7] досліджено використання борошна з кіноа в технології хлібобулочних виробів. Встановлено, що заміна частини борошна пшеничного вищого сорту у кількості 10 % забезпечує оптимальні показники якості хлібобулочних виробів, збагачує готові вироби білками, харчовими волокнами, мінеральними речовинами і вітамінами та не змінює органолептичні показники якості хліба.

Бажай-Жежерун С. А. [8] розраховано харчову та біологічну цінність цільнозернового хліба, збагаченого продуктами перероблення конопель. Відмічено загальне збільшення вмісту важливих макронутрієнтів: вміст білка зріс на 27,6...50,6 %, клітковини у 2,0...2,5 рази. Суттєво збільшилась кількість вітамінів у збагаченому хлібі: токоферолів з 0,5 мг% до 2,7...4,5 мг%, β -каротину з 0,1мг% до 0,47...0,79 мг%, тіаміну з 0,18 мг% до 0,25...0,32 мг% залежно від вмісту конопляного борошна в рецептурі. Отже, застосування нетрадиційної сировини у технології борошняних виробів підвищує їх якість. При цьому недостатньо вивчено вплив гарбузового борошна на кулінарну якість печива пісочного.

Формування цілей статті. Метою роботи є вивчення технологічних параметрів якості печива пісочного з додаванням борошна гарбузового різних сортів.

Матеріали і методи дослідження. Експериментальну частину роботи проводили у лабораторії «Оцінювання якості зерна і продуктів його перероблення» кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва.

У дослідженнях використовували сорти гарбуза великоплідного – Потімаррон (Франція), гарбуза твердокорого – Данко Полька (Польща), Український багатоплідний (Україна), Мозолівський 15 (Україна), гарбуза мускатного – Бутернут (Італія), Мускатний 2 (Україна), кавбуза – Кавбуз 3 (Україна), вирощені в умовах Правобережного Лісостепу України.

Рецептура печива пісочного включала борошно – 100 г, масло – 55 г, цукрова пудра – 50 г, яйця – 20 г, ванільний екстракт – 0,38 см³, розпушувач – 2 г, сіль – 1 г і борошно гарбузове кількістю від 5 % від маси тіста печива. Спочатку збивають цукрову пудру з м'яким маслом, потім додають меланж, ароматизатор, сіль, розпушувач і борошно гарбузове, знову збивають 1–2 хв, після цього додають борошно пшеничне, потім випікають, готове тісто закладають у кондитерський шприц-прес із насадкою та висаджують на сухий кондитерський лист на відстані 2–3 см один від одного, випікають за температури 220–230°C до світло-коричневого кольору.

Пористість визначали за шкалою: 9 – дрібні, тонкостінні або товстостінні, рівномірні, 7 – безпориста або інша частина злому займає до 25% перерізу, 5 – безпориста або інша частина злому займає 26–50% перерізу, 3 – безпориста або інша частина злому займає 51–75% перерізу, 1 – безпориста або інша частина злому займає 76–100% перерізу. Запах і смак гарбуза в печиві: 9 – відсутній, 7 – слабкий, 5 – відчутний, 3 – сильний, 1 – дуже сильний. Запах і смак споживний: 9 – надзвичайно подобається, 8 – дуже подобається, 7 – достатньо подобається, 6 – несуттєво подобається, 5 – не подобається, 4 – несуттєво не подобається, 3 – достатньо не подобається, 2 – дуже не подобається, 1 – надзвичайно не подобається.

Математичну обробку експериментальних даних здійснювали, використовуючи пакет стандартних програм Microsoft Excel 2007 і Statistica 10.

Виклад основного матеріалу дослідження. Встановлення типу розподілення вибірок, що сформовані із даних отриманих під час статичного експерименту – важливий етап статистичного оброблення. За типом розподілення даних можна обирати методи подальшого статистичного оброблення, що найбільш точно характеризують ймовірні зв'язки між факторами.

За результатом комплексного оцінювання вибірок (тести Шапіро-Уїлка; Колмагорова-Смірнова, графоаналітичний метод аналізу кривої Гауса) доведено неправильне розподілення (рис. 1). Тому подальше статистичне оброблення здійснювали методами непараметричної статистики.

Результати досліджень свідчать, що додавання борошна гарбузового до рецептури печива пісочного достовірно підвищує його міцність (рис. 2). Так, цей показник зростав від 1,05 до 1,45–1,47 кг. Слід відзначити, що міцність печива не змінювалась залежно від сорту гарбуза, з якого було отримано борошно.

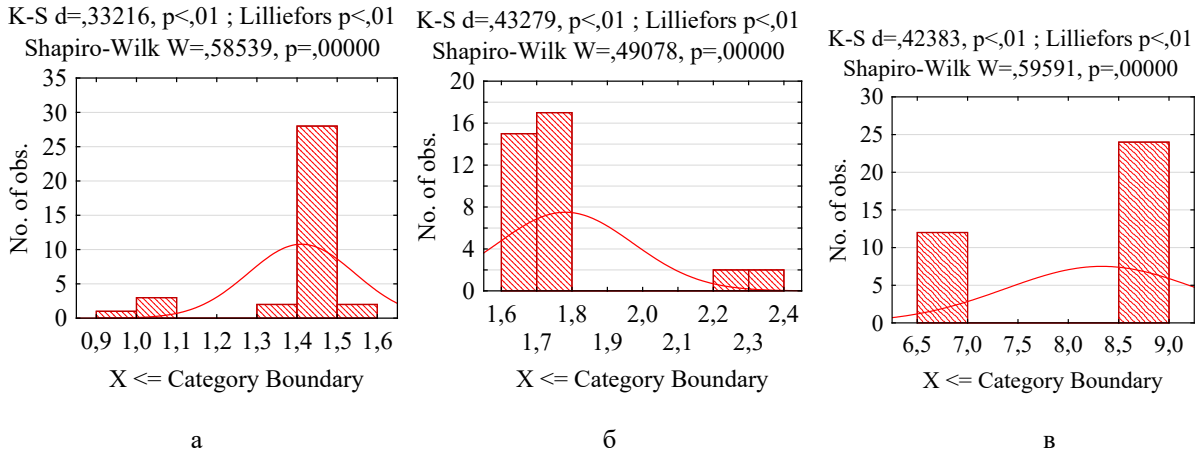


Рис. 1. Гістограми розподілення вибірок даних:
а – міцність; б – ступінь набування; в – загальна кулінарна якість

Ступінь набування змінювався обернено пропорційно до міцності печива пісочного. Так, найвищим він був у варіанті без добавлення борошна гарбузового – 2,31. Добавлення борошна гарбузового до рецептури печива достовірно знижувало набування до 1,70–1,73. При цьому цей показник достовірно не залежав від сорту гарбуза.

Статистично підтверджено, що з підвищенням міцності ступінь набування печива знижується. Між показниками міцності та ступеня набування встановлено сильний обернений кореляційний зв'язок (рис. 3).

Результати дослідження свідчать, що всі зразки печива пісочного мали високі показники кулінарної якості (табл. 1). Слід відзначити, що добавлення борошна гарбузового не впливало на зміну форми, колір поверхні, пористість і розсипчастість.

Різні сорти гарбуза впливали на колір м'якуша печива пісочного. Так, за добавлення борошна гарбузового, отриманого з сортів Данко Полька, Мозолівський 15, Український багатоплідний і Кавбуз 3 м'якуш була світло-жовтою. За добавлення борошна гарбузового сортів Потімаррон, Бутернут, Мускатний 2 і Атлант м'якуш печива був жовтим.

Запах і смак печива з добавленням борошна гарбузового був на рівні варіанту без нього – 9 бала (табл. 2). Слід відзначити, що всі дегустатори оцінили печиво пісочне на високу оцінку. При цьому запах і смак гарбуза був відсутнім, тобто не відчувався сенсорними органами відчуття людини. Очевидно, що сорт гарбуза, з яких отримували борошно не впливає на кулінарну якість печива пісочного. Це дає можливість застосовувати борошно гарбузове різних сортів гарбуза окремо та в сумішах у технології печива пісочного.

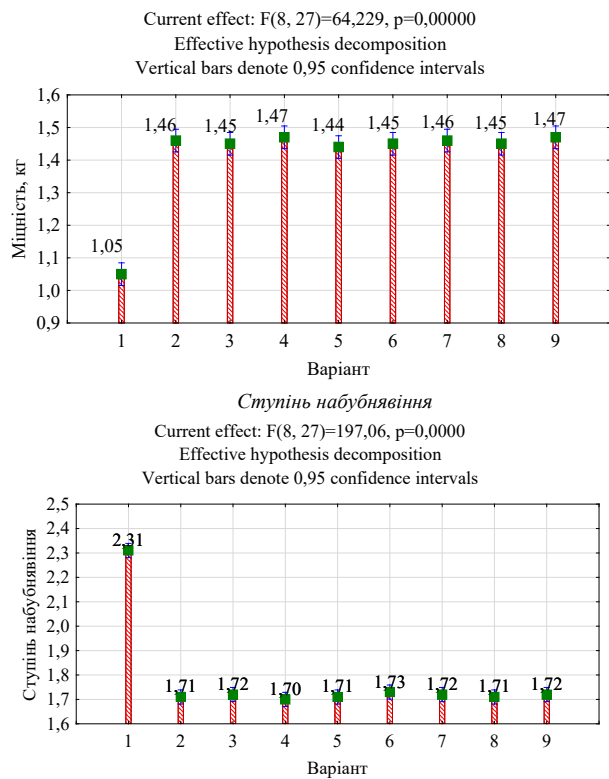


Рис. 2 Міцність і ступінь набування печива з добавленням борошна гарбузового різних сортів:
1 – Контроль; 2 – Потімаррон; 3 – Данко Полька;
4 – Український багатоплідний; 5 – Бутернут;
6 – Мускатний 2; 7 – Мозолівський 15; 8 – Кавбуз 3;
9 – Атлант

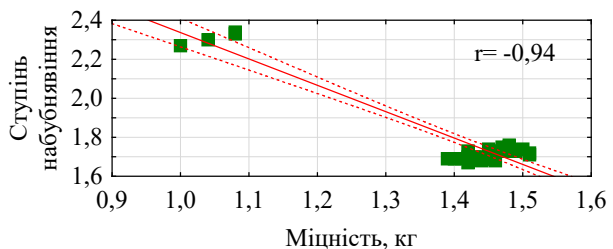


Рис. 3 Кореляційна залежність між міцністю печива та ступенем набування

Таблиця 1

Кулінарна якість печива пісочного з додаванням порошку гарбузового різних сортів

Варіант досліджу	Показник кулінарної якості				
	Зміна форми	Колір поверхні	Колір м'якуша	пористість	Консистенція
Контроль	9	світло коричневий	світло жовтий	9	розсипчаста
Потімаррон	9	світло коричневий	жовтий	9	розсипчаста
Данко Полька	9	світло коричневий	світло жовтий	9	розсипчаста
Український багатоплідний	9	світло коричневий	світло жовтий	9	розсипчаста
БуTERNУТ	9	світло коричневий	жовтий	9	розсипчаста
Мускатний 2	9	світло коричневий	жовтий	9	розсипчаста
МозоліВСЬКИЙ 15	9	світло коричневий	світло жовтий	9	розсипчаста
Кавбуз 3	9	світло коричневий	світло жовтий	9	розсипчаста
Атлант	9	світло коричневий	жовтий	9	розсипчаста

Таблиця 2

Запах і смак печива пісочного з додаванням порошку гарбузового різних сортів

Варіант	Показник												
	Запах		Смак				Запах		Смак				
	споживний						гарбуза						
Контроль	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Потімаррон	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Данко Полька	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Український багатоплідний	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
БуTERNУТ	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Мускатний 2	9	9	7	9	9	7	9	7	7	9	7	7	7
МозоліВСЬКИЙ 15	9	9	9	9	9	9	9	9	7	9	7	7	7
Кавбуз 3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Атлант	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

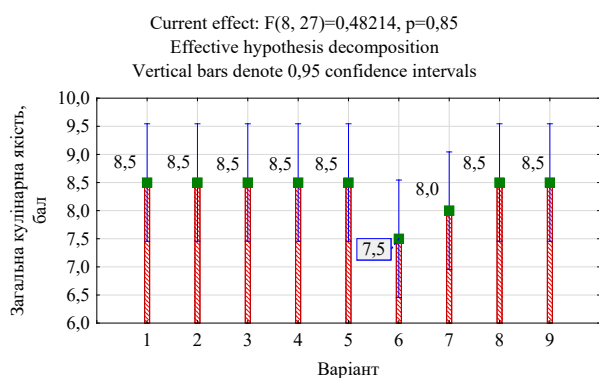


Рис. 4. Загальна кулінарна оцінка печива з додаванням борошна гарбузового різних сортів: 1 – Контроль; 2 – Потімаррон; 3 – Данко Полька; 4 – Український багатоплідний; 5 – БуTERNУТ; 6 – Мускатний 2; 7 – МозоліВСЬКИЙ 15; 8 – Кавбуз 3; 9 – Атлант

Результати досліджень свідчать, що загальна кулінарна якість також була високою – 7,5–8,5 бала (рис. 4). Слід відзначити, що цей показник достовірно не змінювався залежно від сорту гарбуза, оскільки показник кулінарної якості був на рівні контролю – 8,5 бала.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Визначено технологічні параметри печива пісочного з додаванням борошна гарбузового різних сортів. Встановлено, що додавання борошна гарбузового в рецептуру печива достовірно підвищує його міцність, ступінь набування знижується. Форма печива, пористість і консистенція не змінюються. Колір м'якуша печива змінюється від світло-жовтого до жовтого, консистенція розсипчаста, споживний запах і смак високий (9 бала), а запах і смак гарбуза відсутній або слабкий.

Список літератури:

1. Yakiyayeva M., Muldabekova B., Mukhtarkhanova R., Maliktayeva P., Zheldybayeva A., Nasrullin G., Tortarova A. Devising the formulation and technology for baking buns from flour of composite mixtures and sugar beet. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 5 (11 (113)). P. 73–84.
2. Любич В. В., Железна В. В., Стратуца Я. С. Перспективи використання тритикале в хлібопекарській промисловості. *Таврійський науковий вісник*. 2022. № 3. С. 133–143.
3. Любич В. В., Железна В. В., Грабова Д. М. Якість кексів з тритикале, збагаченого пастою гарбузовою. *Збірник наукових праць Уманського НУС*. 2021. Вип. 2. С. 17–28.
4. Любич В. В. Кондитерські властивості зерна пшениці спелти залежно від походження сорту та лінії. *Зб. наук. пр. Уманського НУС*. 2017. Вип. 91. С. 46–54.
5. Господаренко Г. М., Любич В. В., Железна В. В., Новіков В. В. Оптимізація технології хліба з використанням борошна гарбузового. *Вісник Уманського НУС*. 2022. №1. С. 82–88.
6. Грищенко А. М. Різні види крохмалю в технології безбілкового та безглютенового хліба. Інноваційні напрями розвитку харчових технологій. Черкаси. 2020. С. 51–56.
7. Фалендиш Н. О., Борковський З. А., Зінченко І. М. Нові напрями збагачення хліба із застосуванням органічної нетрадиційної сировини. Інноваційні технології у хлібопекарському виробництві: матеріали Міжнародної науково-практичної конф. Київ, 2020. С. 62–63.
8. Бажай-Жежерун С. А. Збагачення хліба біоактивними харчовими компонентами рослинної сировини. Інноваційний розвиток готельно-ресторанного господарства та харчових виробництв: матеріали II Міжнародної наук.-практ. Інтернет-конф. Прага, 2021. С. 67–68.

Liubych V.V., Karpenko V.P., Zheliezna V.V., Novikov V.V. TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF SHORTBREAD COOKIE QUALITY WITH PUMPKIN FLOUR OF DIFFERENT VARIETIES

Pumpkin flour contains almost all components of fresh pumpkin. It has a lower water content, higher dietary fiber, carbohydrates and mineral elements. The article is dedicated to the study of the culinary quality of shortbread cookies of different pumpkin varieties, from which the flour is obtained. Research results indicate that the addition of pumpkin flour to the shortbread cookie recipe significantly increases its strength. Thus, this indicator increased from 1.05 to 1.45–1.47 kg. It should be noted that cookie strength did not change depending on pumpkin variety from which the flour was obtained. Swelling degree varied inversely proportional to the strength of shortbread cookies. Thus, it was the highest in the variant with no pumpkin flour – 2.31. The addition of pumpkin flour to the cookie recipe significantly reduced swelling to 1.70–1.73. At the same time, this indicator significantly did not depend on pumpkin variety. It has been statistically confirmed that as the strength increases, the degree of cookie swelling decreases. A strong inverse correlation was established between strength indicators and swelling degree. Study results indicate that all samples of shortbread cookies had high indicators of culinary quality. It should be noted that the addition of pumpkin flour did not affect the change in shape, surface colour, porosity and crispness. Different pumpkin varieties influenced the colour of soft shortbread cookies. Thus, with the addition of pumpkin flour obtained from Danko Polka, Mozoliivskiyi 15, Ukrainskiyi bahatoplidnyi and Kavbuz 3 varieties, the crumb was light yellow. Cookie crumb was yellow due to the addition of pumpkin flour of Potimarron, Buternut, Muskatnyi 2 and Atlant varieties. The smell and taste of cookies with the addition of pumpkin flour was at the same level as the variant without it – 9 points. It should be noted that all the tasters rated shortbread cookies highly. At the same time, the smell and taste of the pumpkin was absent, that is, it was not felt by human sensory organs. It is obvious that pumpkin variety from which the flour was obtained does not affect the culinary quality of shortbread cookies. This makes it possible to use pumpkin flour of different pumpkin varieties separately and in mixtures in shortbread technology.

Key words: shortbread cookies, pumpkin flour, variety, recipe, culinary quality.

Пенкіна Н.М.

Державний біотехнологічний університет

Татар Л.В.

Державний біотехнологічний університет

Соколова Є.Б.

Державний біотехнологічний університет

Скирда О.Є.

Державний біотехнологічний університет

КВАЛІМЕТРИЧНА ОЦІНКА ПИВА «СМАРАГД»

Пивоварна галузь – одна з провідних галузей промисловості в Україні. Вона щорічно розширюється за рахунок упровадження нових технологій, сучасного обладнання та оригінальних рецептур. Створення нових авторських сортів з оригінальними органолептичними властивостями спонукає пивоварів до пошуку нових джерел для розширення асортименту пива. В індустрії алкогольних напоїв широко використовуються харчові добавки. Особливий інтерес для збагачення напоїв представляє хвоя сосни. Хвоя сосни є джерелом природних антиоксидантів, має високу харчову та біологічну цінність, отже може бути використана як альтернатива хмелю. Використання хвої сосни у пивоварінні дозволить збагатити готовий продукт біологічно активними речовинами та збільшити термін його зберігання.

Проблема якості та безпечності продуктів харчування є актуальною для всіх країн світу, тому що тільки продукція високої якості може бути конкурентоспроможною. Комплексна оцінка якості яка ґрунтується на кваліметричній оцінці дозволяє швидко оцінити якість та безпечність харчової продукції. Метою досліджень є розрахунок комплексного показника оцінки якості пива «Смарагд» за допомогою методів кваліметрії та алгоритму розрахунку комплексної оцінки. Для проведення аналізу показників якості пива – було використано метод кваліметрії. Побудовано «Дерево властивостей» на якому виділено основні групи показників, які визначають якість пива. Розраховано комплексний показник і встановлено алгоритм його визначення. Розрахунками комплексного показника якості підтверджено інноваційний задум щодо розроблення пива «Смарагд». За результатами розрахунків визначено, що пиво «Смарагд» має комплексний показник якості 0,98, що відповідає оцінці «дуже добре» та на 1,2% більше, ніж у контролі. Це свідчить про прогнозовану конкурентоспроможність нового продукту з оригінальними смаковими характеристиками і високим вмістом біологічно активних речовин.

Ключові слова: пиво «Смарагд», якість, кваліметрія, комплексний показник, інтегральна оцінка, модель якості, конкурентоспроможність.

Постановка проблеми. Проблема галузі харчування, яка сьогодні є актуальною в країні та світі – незбалансованість раціонів харчування, дефіцит у них вітамінів, мінеральних та інших біологічно активних речовин (БАР), вміст яких майже у два рази нижче рекомендованих норм. Відомо, що це призводить до зниження працездатності, зменшення активності імунної системи, підвищення ризику серцево-судинних, онкологічних та інших захворювань. Саме це зумовлює широке використання рослинної сировини для збагачення харчових продуктів БАР.

Тенденція до забезпечення повноцінного раціонального харчування населення – це натуральність компонентів та розвиток інноваційних тех-

нологій, спрямованих виробниками на створення продуктів із функціональними властивостями та підвищеною харчовою цінністю [1].

Пиво – перспективний продукт для збагачення БАР, оскільки воно належить до напоїв масового споживання. Сьогодні в Україні активно розвиваються міні-пивоварні, орієнтовані на виробництво крафтового пива, що передбачає використання лише натуральних інгредієнтів. Створення нових авторських сортів з оригінальними органолептичними властивостями спонукає пивоварів до пошуку нових джерел для розширення асортименту пива. Тому актуальним є проведення комплексної товарознавчої оцінки пива з застосування кваліметричної оцінки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростаючі вимоги споживачів до якості напоїв передбачають постійний пошук у напрямку вдосконалення технологій та покращання якості готової продукції. Прогнозування розвитку попиту споживачів, проектування та розробка нових рецептур напоїв бродіння, як масового, так і функціонального призначення є важливим завданням сьогодення. На сьогоднішній день відомо близько 30 кваліметричних методів оцінки якості продукції. Найчастіше для комплексної оцінки якості використовують експертний метод парного порівняння [2] та шкальні принципи аналізу [3].

Існує кваліметрична оцінка якості та безпечності безалкогольних та алкогольних напоїв. Під час кваліметричної оцінки якості формують модель прогнозування якості та безпечності продукції. Модель прогнозування складається з певних етапів кваліметричного прогнозування, які включають ідентифікацію показників якості та безпеки; розробку документації для оцінки якості продукції споживачами; вивчення кореляційної залежності [4].

Багато уваги приділено сенсорним характеристикам їжі, які згруповано у три модальності: зовнішній вигляд, смак, текстура [5]. Також описано пристрої, призначені для визначення запаху та смаку продуктів, з використанням матриці хімічних сенсорів. Проте зовсім не приділено увагу методам аналізу безпечності їжі, тобто методам аналізу наявності чи відсутності в ній шкідливих елементів.

Останнім часом застосування кваліметричної оцінки якості для харчової продукції набуває все більш широкого використання [6–8].

Постановка завдання. Метою роботи є розрахунок комплексного показника оцінки якості пива за допомогою методів кваліметрії та алгоритму розрахунку комплексної оцінки. Предметом досліджень є пиво світле, виготовлене за класичною рецептурою (контроль), та пиво «Смарагд», виготовлене за класичною рецептурою з додаванням хвойного екстракту. Об'єкт досліджень – алгоритм розрахунку комплексного показника оцінки якості, який використовували для аналізу пива.

Виклад основного матеріалу дослідження. Обґрунтування складу та рецептури досліджуваного пива «Смарагд» було детально описано в наукових працях [9, 10]. Для надання повної інформації про якість пива було проведено комплексну оцінку якості із застосуванням методів кваліметрії [11].

Переведення вимірних абсолютних значень показників якості в безрозмірні величини здійсню-

вали за відношенням експериментально отриманих результатів абсолютних показників якості до їх базових значень. При цьому для кожного з показників розраховували відносні показники якості продукції, що оцінюються за такими формулами:

$$Ki = \frac{P_i}{P_{i\text{баз}}}, \quad (1)$$

$$Ki = \frac{P_{i\text{баз}}}{P_i}, \quad (2)$$

$$Ki = (P_i - P_{i\text{гр}})(P_{i\text{ем}} - P_{i\text{гр}}), \quad (3)$$

де P_i – значення i -го показника ($i=1,2,3\dots n$) якості оцінюваної продукції;

$P_{i\text{баз}}$ – значення i -го показника якості базового зразка;

$P_{i\text{гр}}$ – граничне значення i -го показника;

$P_{i\text{ем}}$ – еталонне значення;

n – кількість оцінюваних показників.

Залежність (1) використовується, якщо збільшення абсолютного значення відповідає покращенню якості продукції в цілому. За формулою (2) відносний показник якості визначається тоді, коли збільшення значення абсолютного показника якості продукції відповідає її погіршенню. Вираз (3) використовували для розрахунку відносних показників безпечності продукції (група D).

Визначення міжгрупових та внутрішньогрупових показників коефіцієнтів вагомості в межах кожної групи властивостей у рамках експертної групи проводили за умови:

$$\sum_{i=1}^n M_i = 1, \quad (4)$$

де M_i – коефіцієнт вагомості i -го показника;

n – кількість показників якості продукції в окремій групі.

Групові показники якості розраховували за допомогою адитивної моделі комплексної оцінки:

$$P_o = \sum_{i=1}^n M_i \cdot P_i, \quad (5)$$

де M_i – коефіцієнт вагомості i -го показника;

P_i – відносний показник якості;

n – кількість показників якості продукції в окремій групі.

Для групи властивостей А:

$$PA_0 = (MA_1 \cdot PA_1) + (MA_2 \cdot PA_2) + (MA_3 \cdot PA_3) + (MA_4 \cdot PA_4) + (MA_5 \cdot PA_5) + (MA_6 \cdot PA_6).$$

Для групи властивостей В:

$$PB_0 = (MB_1 \cdot PB_1) + (MB_2 \cdot PB_2) + (MB_3 \cdot PB_3) + (MB_4 \cdot PB_4) + (MB_5 \cdot PB_5).$$

Для групи властивостей С:

$$PC_0 = (MC_1 \cdot PC_1) + (MC_2 \cdot PC_2) + (MC_3 \cdot PC_3) + (MC_4 \cdot PC_4) + (MC_5 \cdot PC_5).$$

Для групи властивостей D:

$$PD_0 = (MD_1 \cdot PD_1).$$

Комплексний показник якості пива отримували в результаті додавання групових оцінок властивостей та визначали за допомогою адативної моделі за формулою (5).

Під час оцінки якості продукції застосовують принципи кваліметрії для отримання комплексної інформації про якість продукції з урахуванням усіх її властивостей [12]. Для повноти оцінювання якості пива «Смарагд» та контролю було визначено комплексний показник якості.

На першому етапі з метою ранжування показників побудовано «дерево властивостей», структура якого складається з декількох рівнів (рис. 1).

На нульовому рівні знаходиться комплексний показник якості пива (K_0). На першому рівні сукупність властивостей поділено за такими групами:

- органолептичні показники якості пива;
- фізико-хімічні показники якості, що включають масову частку сухих речовин у початковому суслі, масову частку спирту, кислотність, колір, масову частку діоксиду вуглецю;
- уміст БАР: поліфенольні (дубильні) речовини, низькомолекулярні фенольні сполуки, гіркі речовини, флавонолові глікозиди, ароматичні речовини (за числом аромату);
- показник терміну зберігання.

Експертною групою співробітників пивоварні підприємства ТОВ «ОЛНА» було визначено міжгрупові та внутрішньогрупові показники вагомості. Для визначення відносних показників якості використовували дані абсолютних та базових значень.

Базовими ($P_{баз}$) є показники, регламентовані нормативними документами, або ті, що досліджені в продукції на практиці. Як $P_{баз}$ для груп властивостей обрано кращі показники серед дослідних зразків.

Базові показники:

$PA_{1баз} - 3,0$ бали; $PA_{2баз} - 3,0$ бали; $PA_{3баз} - 5,0$ балів; $PA_{4баз} - 5,0$ балів; $PA_{5баз} - 4,0$ бали; $PA_{6баз} - 5,0$ балів.

$PB_{1баз} - 10,0\%$; $PB_{2баз} - 2,7\%$; $PB_{3баз} - 1,7 \text{ см}^3$, $0,1 \text{ моль/дм}^3$ розчину гідроксиду натрію на 100 см^3 пива; $PB_{4баз} - 1,2 \text{ см}^3$, $0,1 \text{ моль/дм}^3$ розчину йоду на 100 см^3 води; $PB_{5баз} - 0,3\%$.

$PC_{1баз} - 33,8 \text{ мг/100 мл}$; $PC_{2баз} - 29,8 \text{ мг/100 мл}$; $PC_{3баз} - 15,9 \text{ мг/100 мл}$; $PC_{4баз} - 3,1 \text{ мг/100 мл}$;

$PC_{5баз} - 3361 \text{ мл Na}_2\text{S}_2\text{O}_3/100 \text{ мл}$.

$PD_{1баз} - 10$ днів.

Результати визначення комплексних показників якості за групами властивостей для пива наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати визначення групових комплексних показників якості пива «Смарагд» порівняно з контролем

Назва пива	Комплексні показники для груп властивостей			
	PA	PB	PC	PD
Контроль	0,93	0,95	0,72	0,5
«Смарагд»	0,95	0,98	1	1

Із наведених даних видно, що в групах А, В та D, властивості яких пов'язані з органолептичними та фізико-хімічними показниками, визначено майже однакові числові значення. Найбільший показник отримало пиво «Смарагд». У групах С та D він також отримав найбільшу оцінку, що зумовлено вмістом БАР фенольної і терпеноїдної природи з антиоксидантною і бактерицидною дією (група С) та тривалістю зберігання (група D).

Значення комплексної оцінки пива отримали в результаті об'єднання групових оцінок властивостей. Для пива-контроль:

$$K_0 = 0,35 \times 0,93 + 0,24 \times 0,95 + 0,20 \times 0,72 + 0,21 \times 0,5 = 0,8.$$

Для пива «Смарагд»:

$$K_0 = 0,35 \times 0,95 + 0,24 \times 0,98 + 0,20 \times 1 + 0,21 \times 1 = 0,98.$$

Шкала оцінювання від 1 до 0 поділяється на п'ять інтервалів: 1,00–0,80 – дуже добре; 0,80–0,63 – добре; 0,63–0,37 – задовільно; 0,37–0,20 – погано; 0,20–0,00 – дуже погано.

За результатами розрахунку визначено, що пиво «Смарагд» має комплексний показник якості 0,98, що відповідає оцінці «дуже добре» та на 1,2% більше, ніж у контролю. Це свідчить про прогнозовану конкурентоспроможність нового продукту з оригінальними смаковими характеристиками і високим вмістом БАР.

Висновки. Розрахунками комплексного показника якості підтверджено інноваційний задум щодо розроблення пива «Смарагд». За результатами розрахунку інтегрального показника розроблений продукт відповідає оцінці «дуже добре» (0,98). Доведено, що пиво «Смарагд» має прогнозовану конкурентоспроможність.

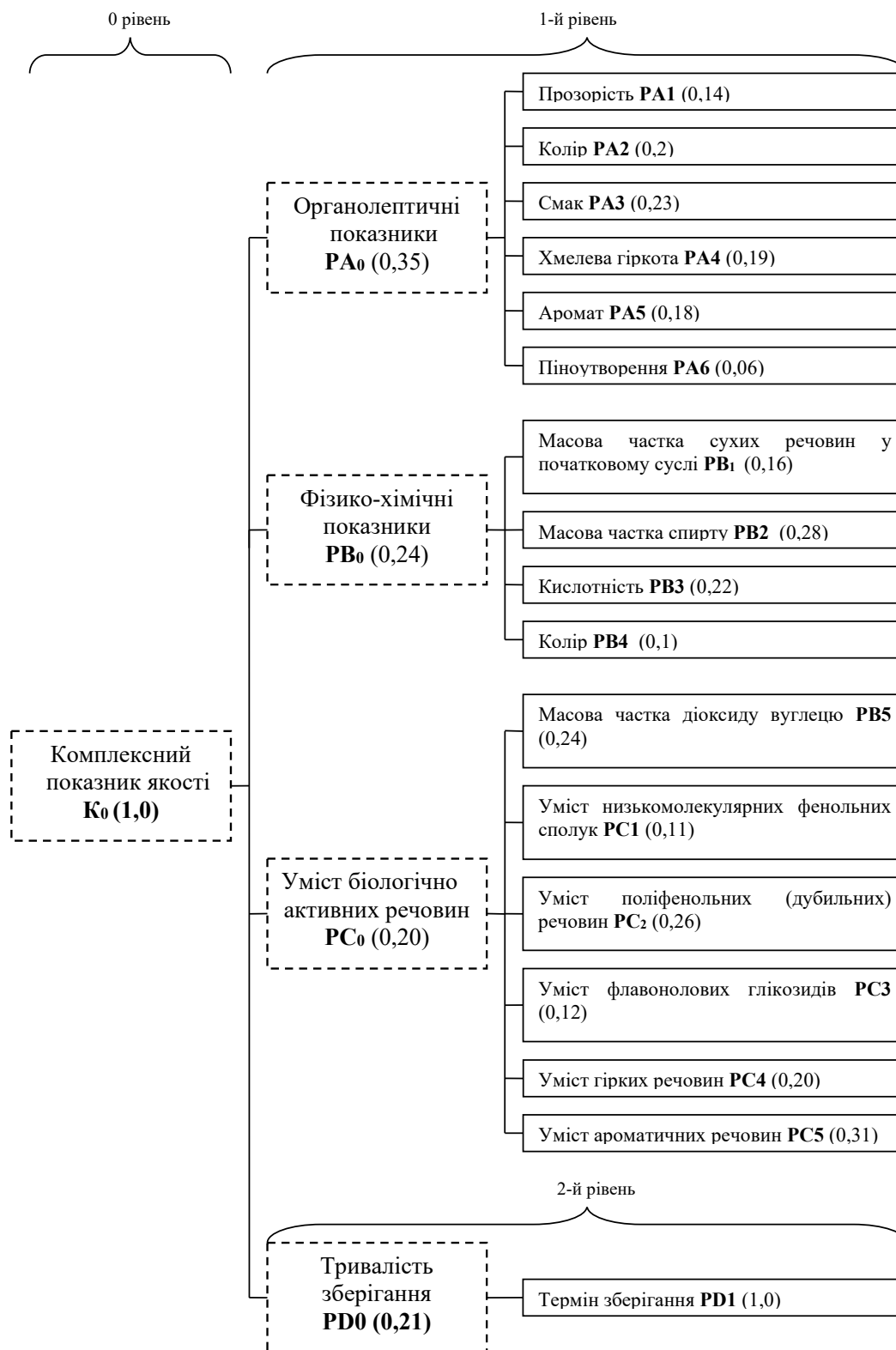


Рис. 1. «Дерево властивостей» для оцінки якості пива «Смарагд»

Список літератури:

1. Penkina N., Tatar L., Kolesnyk V., Karbivnycha T., Letuta T. Research into quality of beer with the addition of pine needles extract // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, seriya: Technology and equipment of food production*. 2017. Vol. 2. No 10 (86). P. 40–48.

2. Ляшук Я. В., Газарян Н. В. Квалиметрическая оценка качества кваса с использованием метода парных сравнений. *Международный студенческий научный вестник*. 2018. №4. С 1104–1106.
3. Ванько В., Столярчук П. Метод оцінки якості продукції та послуг за допомогою теорії матриць. *Вимірювальна техніка та метрологія*. 2007. № 67. С. 108–114.
4. Зенкін А. С., Салата С. В. Оцінка якості і безпечності слабоалкогольних та безалкогольних напоїв вітчизняного виробництва. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2019. №6. С. 222-226.
5. Kilcast D. Instrumental assessment of food sensory quality: A practical guide. Woodhead Publishing Limited. 2013. 656 p.
6. Писарева Е. В. Квалиметрический подход к оценке качества обогащенных мясных продуктов на примере паштетов с растительными порошками. *Молодой ученый*. 2011. № 6. Т.1. С. 95–99.
7. Лисюк Г. М. Технологія борошняних кондитерських виробів з використанням ядра соняшникового насіння : монографія. Харків: ХДУХТ, 2009. 145 с.
8. Гапонцева О. В., Селютіна Г. А., Летута Т. М., Скирда О. Є., Віннікова В. О. Розрахунок комплексного показника якості й визначення критеріїв формування якості коренеплодів редьки. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. Серія: технічні науки. 2020. № 3. Т. 31 (70). С. 39-43.
9. Пенкіна Н. М., Татар Л. В. Розробка рецептури пива з додаванням хвойного екстракту // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний університет»*. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». 2016. № 7 (1179). С. 85–90.
10. Penkina N., Tatar L., Kolesnyk V., Karbivnycha T., Letuta T. The study of beer quality with the reduced toxic effect // *EUREKA: Life Sciences*. 2017. № 1. P. 35–43.
11. Шидакова-Каменюка О. Г., Головка М. П., Роговий І. С., Рогова А. Л. Застосування принципів кваліметрії для оцінювання якості печива з додаванням напівфабрикату кісткового харчового // *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного виробництва і торгівлі: зб. наук. пр.* / ХДУХТ. Харків, 2015. Вип. 1 (21). С. 213–221.
12. Новицкий А. Л., Болотина Т. Э. Идентификация процессов системы менеджмента качества: Создание модели процессов // *Методы менеджмента качества*. 2005. № 5. С. 18–23.

Penkina N.M., Tatar L.V., Sokolova Ye.B., Skyrda O.Ye. QUALIMETRIC EVALUATION OF "SMARAGD" BEER

The brewing industry is one of the leading industries in Ukraine. It is annually expanded due to the introduction of new technologies, modern equipment and original recipes. The creation of new author's varieties with original organoleptic properties encourages brewers to search for new sources to expand the range of beer. Food additives are widely used in the alcoholic beverage industry. Pine needles are of particular interest for the enrichment of drinks. Pine needles are a source of natural antioxidants, have high nutritional and biological value, so they can be used as an alternative to hops. The use of pine needles in brewing will enrich the finished product with biologically active substances and increase its shelf life.

The problem of food quality and safety is relevant for all countries of the world, because only high-quality products can be competitive. Comprehensive quality assessment, which is based on qualitative assessment, allows you to quickly assess the quality and safety of food products. The purpose of the research is the calculation of the complex indicator of the quality assessment of "Smaragd" beer using the methods of qualimetry and the algorithm for calculating the complex assessment. The qualitative method was used to analyze beer quality indicators. A "Tree of properties" was built, on which the main groups of indicators that determine the quality of beer are highlighted. A complex indicator was calculated and an algorithm for its determination was established. Calculations of the complex quality indicator confirmed the innovative idea for the development of "Smaragd" beer. Based on the results of the calculations, it was determined that "Smaragd" beer has a comprehensive quality indicator of 0.98, which corresponds to the rating of "very good" and is 1.2% more than the control. This indicates the predicted competitiveness of the new product with original taste characteristics and a high content of biologically active substances.

Ключові слова: "Smaragd" beer, quality, quality metrics, comprehensive indicator, integral assessment, quality model, competitiveness.

UDC 656.135.073.42:63

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/44>**Gryshchuk O.K.**

National Transport University

Petryk A.V.

National Transport University

Litus T.M.

National Transport University

METHODOLOGY OF IMPLEMENTING THE PRINCIPLES OF SYSTEM ANALYSIS IN STRATEGIES FOR IMPLEMENTING MULTI-STAGE CUSTOMS AND LOGISTICS PROCESSES

The article analyzes the technological features of the transport service of foreign trade cargo flows. The necessity of conducting research using the theoretical provisions of system analysis is substantiated, and the prospects for improving the infrastructure of customs and logistics systems are determined using the example of consolidation of export consignments of grain cargoes. The peculiarities of the implementation of technological and production processes in transport hubs with the participation of elevator and warehouse enterprises are considered. The peculiarities of conducting a system analysis for the formation of a strategy for the implementation of multi-stage customs and logistics processes have been analyzed.

It is noted that the development of a harmonized legal framework and the creation of the necessary digital infrastructure modules for the implementation of national paperless trade systems require the use of innovative infrastructure. Attention is focused on the fact that, taking into account the reorganization of business processes in the system of international trade, proposals for the optimization of new customs and logistics processes should be developed, taking into account national legislation. And prioritizing the application of international standards regarding the exchange of electronic documents in cross-border relations will contribute to the development of trade relations on the basis of economic integration.

Using the example of creating a methodology for finding the optimal solution to production problems, the generalized total costs for servicing foreign trade cargo flows and the hourly profit from the functioning of customs and logistics systems are calculated. It is noted that for import and export cargo flows, the proposed indicators comprehensively take into account the quality of infrastructural support of production systems under the condition of their integration into the global economic network.

With the use of the fundamental provisions of the theory of mass service by conducting complex calculations, the rational structure of customs and logistics systems of international direction is substantiated in the work. By using mathematical models to substantiate management decisions, new results were obtained regarding the infrastructural support of multi-stage customs and logistics processes.

Key words: *transport and technological systems, customs and logistics processes, system analysis, technological characteristics, infrastructural support, consolidated consignment of goods.*

Formulation of the problem. The development of trade relations on the basis of economic integration requires economic entities to form a rational structure of competitive transport and logistics systems. In this case, effective maintenance of foreign trade cargo flows allows improving the economic indicators of economic entities and introducing promising innovative technologies due to the

reduction of general logistics costs. With the use of the main theoretical provisions of system analysis, technological and organizational principles for the improvement of transportation, it becomes possible to study the operational response of production structures to changes in the nomenclature of goods, volumes of supply and the quality of transport and logistics services. Therefore, the relevance of the

introduction of promising transport and information technologies under the condition of the development of integration processes becomes important for improving the production activity of integrated production structures. The use of powerful transport hubs and import-export enterprises as infrastructural units allows storing, processing and transshipment of large volumes of foreign trade goods. In this case, a significant expansion of the range of transport and logistics services in integrated structures for a wide range of goods requires a complex solution of production tasks in multi-stage customs and logistics processes. And the systematic and documented development of market relations contributes to the intensive use of the existing infrastructure by a significantly larger number of business entities.

The creation of an integrated information system to ensure the smooth movement of goods and services on the transport market requires ensuring the interoperability of data exchange between national systems of electronic interaction. The use of the specified integration platform creates conditions for mutual recognition of electronic identifiers, digital signatures and transport documents by different countries and ensures the necessary protection and security of information for cross-border transfer. Thus, the implementation of the principles of system analysis for the formation of a strategy for the implementation of multi-stage customs and logistics processes requires conducting structural studies of the activity of complex production systems with the use of modern information technologies and innovative software.

Analysis of recent research and publications.

The methodology for the implementation of multi-stage customs and logistics processes in the structures of international production formations is based on the use of the main theoretical provisions of system analysis [1, p. 181]. In accordance with the specified prerequisites, the creation of a new and improvement of the existing infrastructure of transport and logistics systems is carried out based on the results of the analysis of production entities with the use of modern information technologies and software [2, p. 4]. Under such conditions, the task of optimizing customs and logistics processes when designing promising production systems takes into account the possibilities of operational management of the entire complex of organizational solutions and is carried out according to the principles of system integration [3, p. 46].

In a number of scientific works, the implementation of the principles of system analysis for the selection of optimality criteria and limitations in mathematical

models and methods is illustrated on the example of servicing foreign trade cargo flows [4, p. 28]. Under the conditions of involvement for the transportation of various types of transport, the methodology for determining the main factors that affect the development of customs and logistics processes is shown [5, p. 407]. Numerical values of individual components of production processes in transport and logistics entities are determined on the basis of goal achievement criteria for structured problems [6, p. 78]. And the involvement of mathematical and informational resources in the system analysis allows substantiating the numerical values of indicators characteristic of integrated production formations [7, p. 57].

The determination of integrated system indicators by creating mathematically correct models of static and dynamic customs logistics processes allows us to draw a conclusion about the efficiency of the production system as a whole [8, p. 76]. The development of trade relations between individual subjects of economic activity requires the use of innovative software for conducting mathematical and methodological studies of the efficiency of transport services [9, p. 2398]. Therefore, an important component of the system analysis of customs and logistics processes is the computer implementation of mathematical models for integrated production structures [10, p. 54].

System studies, as a modern interdisciplinary methodology for optimizing information processing and intellectual analysis of the obtained results, became the basis of the approach to the creation of promising transport and logistics systems [11, p. 20]. The wide application of logistics management methods is based on solving a wide range of problems of synthesis of complex customs and logistics processes [12, p. 94]. Therefore, a fundamentally new approach to the development of innovative processes involves the definition of organic mutual relations for the maintenance of material, financial and information flows in a single integrated system. [13, p. 1209].

Presenting main material. A feature of the operation of transport and logistics systems in integrated production structures of an international orientation is significant volumes of cargo flows, the need for regular updating of the material and technical base, as well as limited access to financial resources [14, 224]. The impact of a large number of random factors on the final results of transport service in some cases does not always allow to fully use the planned performance of infrastructure equipment and design features of rolling stock. This situation is particularly relevant to the transportation of grain

cargoes in international traffic. And a wide range of types of the specified products requires improvement of the existing infrastructure of transport and logistics systems and intensive use of a sufficient number of service mechanisms. Therefore, in order to ensure the reliability of timely performance of transport operations with an acceptable level of economic indicators, it will be appropriate to create mathematical models for making informed decisions at individual stages of structured problems. And the methodology for determining the rational ratio of quantitative and value parameters requires the implementation of the principles of system analysis in the strategy of implementing multi-stage customs and logistics processes (Table 1).

In the process of analyzing the effectiveness of the functioning of customs and logistics processes

of an international direction, the features of the infrastructural service of the specified cargo flows are taken into account, namely the market mechanism of economic regulation of the circulation of goods between individual countries and the tariff regulation of transportation of certain types of cargo. The conducted scientific studies on the development and implementation of appropriate measures for the creation and modernization of transport infrastructure and the formation of an effective export strategy indicate that it may be appropriate to use system analysis for mathematical modeling of customs and logistics processes. And in the absence of a reliable forecast of the future situation in the global grain sector, an increase in the volume of exports of these goods may lead to unpredictable economic consequences. Therefore, one of the directions of

Table 1

The technology of applying system analysis in the strategy of implementing multi-stage customs and logistics processes

The main stages of decision-making for the implementation of customs and logistics processes	Content of reasoned solutions at separate stages of structured problems
1. Formulation of a problem situation in multi-stage processes	<ul style="list-style-type: none"> • formalization of the problem using system analysis for mathematical modeling of customs and logistics processes; • analysis of production activity of complex systems using modern information technologies and software; • setting the task of optimizing customs and logistics processes when designing production systems.
2. Determination of goal achievement criteria for structured problems	<ul style="list-style-type: none"> • implementation of the principles of system analysis for the selection of optimality criteria and limitations in mathematical models and methods; • determination of the main factors that influence the development of customs and logistics processes and the separation of stochastic and uncertain factors in them; • the use of mathematical and informational resources in the systematic analysis of transport and technological processes of an international direction.
3. Construction of mathematical models to substantiate management decisions	<ul style="list-style-type: none"> • creation of mathematically correct models of static and dynamic customs and logistics processes, taking into account the uncertainty of external and internal factors; • use of innovative software for conducting mathematical and methodological studies of the effectiveness of customs and logistics service of foreign trade cargo flows; • computer implementation of mathematical models for integrated systems and customs logistics processes.
4. Search for the optimal solution using methods of system analysis	<ul style="list-style-type: none"> • the use of systematic research as a modern interdisciplinary methodology to optimize information processing and intellectual analysis of the obtained results; • solving a wide range of synthesis problems of complex customs and logistics processes by using methods of system analysis; • development and implementation of models and decision support systems using computer programming.
5. Systematization of conclusions and preparation of a set of measures for implementation	<ul style="list-style-type: none"> • formulation of conclusions for complex management tasks in integrated production systems; • generalization of experimental and empirical studies with the aim of creating proposals for the implementation of customs and logistics processes; • use of the obtained results for promising developments in modern transport and information technologies.

research in the multi-stage processes of customs and logistics service is the analysis of the production activity of complex systems with the use of modern information technologies and software.

Transport and logistics service of integrated enterprises requires a differentiated approach to its mathematical modeling. In such a formulation of the question, when designing new and improving existing production systems, it becomes necessary to solve the problems of optimizing customs and logistics processes. This issue becomes especially relevant when introducing new technologies for the movement of grain cargoes, which are based on the need to take into account the cost mechanism for internal transportation, as well as international trade in export goods.

The formation of the export-import policy in the road and transport complex of Ukraine shows that the products of agro-industrial production and the food industry make up a significant part of foreign trade cargo. Under such circumstances, specialized terminals in transport hubs are an important factor in infrastructural support for the export of agricultural products and food.

As a result of the analysis, it can be stated that significant liberalization of the export policy in relation to agro-industrial products significantly simplifies the organization of cargo transportation in international traffic. However, the introduction of an effective export promotion policy requires increasing the competitiveness of customs and logistics processes. As a result of the measures taken, the integration of the Ukrainian agricultural sector into the world trade and economic system is strengthened.

On the basis of previously conducted research, the change in generalized costs in various variants of customs and logistics processes indicates a significant influence of the level of infrastructure support. Therefore, in these circumstances, the development of mathematical models and methods of systematic analysis of influencing factors for the adoption of agreed management decisions is relevant. Taking into account the influence of the production conditions of the formation and movement of the combined export batch of goods, these models can be applied to implement the principles of system analysis for the purpose of choosing optimization criteria, limitations and analyzing the functional capabilities of individual components.

The main criterion for the competitiveness of customs logistics services under the condition of the formation of a combined batch of grain is the general logistics costs $B(n)$ calculated per one ton of cargo,

as a function of the optimal value of vehicles n in the system. In these integrated structures, the increase in the total cost of logistics operations due to the increase in non-productive costs associated with rolling stock downtime at the end points of the route is explained by the increase in the total number of vehicles in the system, and accordingly, the number of cars in the queue. At the same time, when the productivity of service posts increases, the idle time of vehicles in the queue decreases. Therefore, under the condition of an unchanged number of road vehicles in the system, the number of free unloading mechanisms increases, which also affects the increase in the numerical value $B(n)$ of the total logistics costs.

Under such circumstances, the calculation of the optimal technological parameters of the system infrastructure in transport nodes is considered taking into account the separation of stochastic and uncertain factors in them and the use of new approaches to interaction between economic entities in conditions of intensive use of intelligent information technologies. Therefore, it is advisable to carry out a mathematical analysis of the change in logistics costs $B(n)$ using information resources on the example of the functioning of a multi-channel dynamic mass service system with two nodes.

The input flow λ_1 of demands to the first node is the arrival of empty cars for loading. At the same time, the intensity μ_1 of servicing the total flow of requirements by each mechanism is determined by the average number of loaded cars per unit of time.

For the second node, the input flow of demands λ_2 is the arrival to service cars with grain loads. By analogy with the first node, the intensity of servicing the demand flow μ_2 in the opposite point of the system is characterized by the average number of cars unloaded per unit of time. Taking into account the fact that such a transport system is closed, the numerical values of the input flows λ_1 and λ_2 are equalized, therefore, in the following statements, they are denoted by the total intensity of the demand flow λ , as a value inversely proportional to the car's turnover time on the route, i.e. $\lambda = f(\mu_1, \mu_2)$.

In the specified system, when servicing n cars with m grain loading machines and unloading them at elevator and warehouse enterprises, the states of the closed system S_k ($k = 0, 1, \dots, m_1, m_2, \dots, n$) will be associated with the number of k cars, which alternately arrive for service.

The creation of mathematically correct models of static and dynamic customs and logistics processes, taking into account the uncertainty of external and internal factors, was carried out using a diagram of

the intensity of transitions of a closed mass service system.

In practical activities, when using own or hired fleet of cars for the accumulation of combined cargo in the terminal, the priority criterion for determining the complex of strategic solutions is the minimum logistics costs $B(n) = B_1(n) + B_2(n)$ of the entire set of transport and transshipment works, as a function of the total number of rolling stock in the system

$$B_1(n) = \frac{P_{k1}S_{k1}}{\mu_1q} + S_m + \frac{1}{K_{z1}\mu_1q}(C_1K_{n1} + C_2A_{n1})$$

$$B_2(n) = \frac{P_{k2}S_{k2}}{\mu_2q} + \frac{1}{K_{z2}\mu_2q}(C_3K_{n2} + C_2A_{n2}) \quad , \quad (1)$$

where P_{k1}, P_{k2} – hourly productivity of loading and unloading posts of motor vehicles, respectively, tons/hour;

S_{k1}, S_{k2} – the cost of carrying out loading and unloading works, respectively, €/ton;

K_{z1}, K_{z2} – the number of occupied posts, respectively, for loading and unloading motor vehicles;

K_{n1}, K_{n2} – the number of idle posts for servicing cars, respectively, at loading and unloading points;

A_{n1}, A_{n2} – the average number of cars waiting for service at the loading and unloading stations, respectively;

C_1, C_2 – hourly cost of downtime of service mechanisms, respectively, at loading and unloading points, €/hour;

C_3 – the cost of vehicle downtime, €/hour.

The use of innovative software for conducting mathematical and methodological studies of the effectiveness of customs and logistics service of foreign trade cargo flows shows that the value of the indicator $B(n)$ largely depends on the number of service mechanisms m_1, m_2 , and the productivity P_{k1}, P_{k2} of each of them.

The results of mathematical modeling carried out under the conditions of transportation of grain cargoes by road trains with a carrying capacity of $q = 20$ tons over a distance of $l_m = 90$ km convincingly show that the minimum value of the total logistics costs $B(n)$ is achieved under the condition of synchronous operation of the service mechanisms in the grain sending and receiving enterprises cultures (Table 2).

The computer implementation of mathematical models for integrated systems and customs logistics processes shows that the feature of the operation of the transport system with two service nodes with the synchronous growth of the productivity of technological mechanisms P_{k1}, P_{k2} is that the resulting value of the total logistics costs $B(n)$ decreases. For example, a simultaneous increase in the hourly productivity of mechanisms P_{k1} and P_{k2} in the range of numerical values from 10 tons/hour to 50 tons/hour leads to a decrease in the total logistics costs $B(n)$ from 7,13 €/ton to 5,38 €/ton. And the change of the specified indicators P_{k1} and P_{k2} in the range from 50 tons/hour to 90 tons/hour reduces the total logistics costs $B(n)$ by 1,13 €/ton (from 5,38 €/ton to 4,25 €/ton). The determined trend is explained by the increase in the capacity of the transport system and, accordingly, the reduction of the idle time of rolling stock at service points. And a slight decrease in the rate of change in the logistics cost of transportation $B(n)$ with the growth of indicators P_{k1} and P_{k2} is the result of a slight saving of time due to the idleness of motor vehicles.

A reliable generalization of the patterns of transport and logistics service of export cargo flows is important when using systematic research as a modern interdisciplinary methodology for optimizing information processing and intellectual analysis of the obtained results. The formation of a rational infrastructure of relevant transport systems involves

Table 2

Total logistics costs for the transportation of grain cargo by road trains with a carrying capacity of $q = 20$ tons for a distance of $l_m = 90$ km in a system with two service nodes, €/ton

Productivity of P_{k1} mechanisms at the point of departure, tons/hour	Hourly productivity of service post P_{k2} in the transport terminal, tons/hour								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	7,13	7,58	8,08	8,63	9,23	9,88	10,58	11,33	12,10
20	7,54	6,62	7,20	7,79	8,39	9,00	9,60	10,25	10,86
30	8,00	7,16	6,16	6,71	7,28	7,85	8,44	9,04	9,68
40	8,51	7,71	6,68	5,75	6,29	6,84	7,40	7,98	8,56
50	9,08	8,28	7,20	6,25	5,38	5,90	6,44	6,99	7,55
60	9,69	8,85	7,74	6,76	5,86	5,04	5,55	6,08	6,61
70	10,35	9,41	8,29	7,29	6,36	5,51	4,75	5,25	5,75
80	11,06	10,03	8,85	7,83	6,88	6,00	5,21	4,51	4,96
90	11,83	10,60	9,45	8,38	7,40	6,50	5,68	4,93	4,25

solving a wide range of problems of synthesis of complex customs and logistics processes by using methods of system analysis. And the forms and technologies of servicing various cargo flows are determined by the dominant types of foreign trade cargo, volumes of deliveries and an adapted expert system for making organizational decisions in conditions of reputational risks.

Taking into account the specified theoretical prerequisites, it becomes possible to develop and implement models and decision support systems using computer programming. The reliability of the proposed mathematical models was confirmed by field observations of the functioning of transport and logistics systems in the conditions of servicing foreign trade cargo flows. The search for the optimal option for the implementation of multi-stage customs and logistics processes using the methods of system analysis is considered on the example of the creation of a consolidated batch of international grain cargoes. With the application of innovative approaches to the interaction between individual subjects of economic activity, the prerequisites for evaluating the activities of integrated production structures on the market of international transportation have been developed.

With this formulation of the question, the number of cars n is considered as a control variable in the objective function of optimizing the structure of integrated economic entities in the provision of commercial services. Using the basic provisions of the theory of mass service systems, the optimal value of n_{opt} is determined by maximizing the profit function $G(n)$ per hour of operation of the transport and logistics complex as

$$G(n) = (T_k - S_k)q\mu K_z + (T_m - S_m)q\mu A_z - C_k K_n - C_a A_n, \quad (2)$$

where T_k – tariff for cargo flow maintenance when creating a consolidated batch of cargo in a specialized terminal, €/ton;

A_z – the average number of cars that are simultaneously serviced by m posts in the transport and logistics system;

S_m – tariff for the transportation of 1 ton of a consolidated batch of goods for a specified l_m distance, €/ton;

C_k, C_a – costs related to downtimes of service posts and road vehicles, respectively, €/hour.

Other components of dependence (2) are similar in content to the components of mathematical model (1) with the difference that when determining $G(n)$ in some of them, due to the presence of only one service point, there is no digital numbering in subscript symbols. For specialized terminals, the difference between revenues T_k from the provision of commercial

services in transport terminals and current costs S_k for the creation of a consolidated batch of export cargoes is interpreted as a profit from the completed full cycle of works. The numerical values of these values are closely related to each other by market relationships and depend on the quality of the available range of transport and logistics services in the system and the conditions for their performance.

Stochastic and uncertain factors include such as the possibility of attracting additional third-party organizations to perform certain types of work, the amount of payment of existing taxes and fees, etc. The numerical value of the variable component of the S_k indicator includes the wages of workers, the cost of using energy resources, the costs of maintenance and current repairs, and depreciation charges for the restoration of the main production assets.

The permanent component of the S_k indicator includes charges for using credit, lessor and bank insurance services, as well as general household expenses. The need to use advanced innovative technologies in transport and logistics systems confirms the well-known theses about the feasibility of using high-performance infrastructure in transport hubs and specialized terminals.

The methodology for determining the profit $G(n)$ in integrated structures from the use of terminal infrastructure and road vehicles for 1 hour of operation of the transport and logistics system involves the use of existing tariffs for servicing foreign trade cargo flows. The results of prospective calculations based on the proposed mathematical dependencies should take into account the change in tariffs and costs compared to the base period.

With the use of mathematical dependence (2), it became possible to determine both the optimal values of the technical and technological parameters of transport and logistics systems, as well as the results of the function $G(n)$ from the change in infrastructure characteristics. For example, when creating a consolidated batch of export goods, an important factor in the organizational structure of the system is the hourly productivity of the elevator-warehouse facility P_k for loading cars and the number of service posts m in a specialized terminal. The special influence of these factors is manifested by the fact that the creation of export consignments of grain with subsequent loading onto a sea merchant ship takes place in fairly significant volumes within a limited time frame.

The example of involving cars with a carrying capacity of $q = 22$ tons for the transportation of grain for a distance of $l_m = 30$ km shows the possibility of

ensuring the competitiveness of the transport and technological process of cargo consolidation (Table 3).

Thus, if the number of service posts m is doubled (from $m = 2$ to $m = 4$), the optimal number of road vehicles n_{opt} increases accordingly by 69,2% (from $n_{opt} = 26$ to $n_{opt} = 44$) for elevator productivity-warehouse $P_k = 60$ tons/hour and by 90,6% (from $n_{opt} = 53$ to $n_{opt} = 101$) for productivity $P_k = 160$ tons/hour. A slightly more intense increase in the optimal value of the rolling stock for the elevator and warehouse economy of higher productivity is explained by a significant reduction in the idle time of cars under loading, and, accordingly, an increase in the transport capacity of vehicles. The specified trend is preserved also under the condition of a three-fold increase in the productivity of P_k elevators.

The results of changing the influence of the number of service posts in the terminal on the numerical value of the hourly profit $G(n)$ in the system are slightly different from the previous analysis. For example, if the indicator m doubles, the hourly profit of the $G(n)$ system with a productivity of $P_k = 60$ tons/hour increases by 2,18 times (from $G(n) = 296,58$ €/hour for $m = 2$ to $G(n) = 649,49$ €/hour for $m = 4$). Under similar conditions, for a system with a productivity of $P_k = 160$ tons/hour, the increase in the specified result is 2,06 times (from $G(n) = 1115,09$ €/hour for $m = 2$ to $G(n) = 2300,67$ €/hour for $m = 4$).

A slightly more intensive growth of the $G(n)$ indicator for cars with a lower system performance P_k is explained by the fact that with low-power shipping mechanisms, the profitability of transport and logistics service is somewhat lower than in the case of using high-performance service posts. Therefore, at the initial stage of the analysis ($m = 2$), the throughput of the system is relatively low due to a significant increase in the number of cars in the queue to service stations A_n of the terminal. The obtained results confirm the well-known thesis about the need to provide specialized terminals with high-performance service mechanisms...

The increase in the average productivity P_k of the elevator and warehouse economy has a positive effect on the change in structural n_{opt} and economic $G(n)$ indicators in transport and logistics systems during the consolidation of the export batch of cargo.

An example of such an influence can be the numerical value of relative profit $G_{(l)}$ – hourly profit $G(n)$ per car. According to the results of the calculations, the proposed indicator $G_{(l)}$ increases by 1,89 times under the condition $m = 2$ (from $G_{(l)} = 11,41$ €/hour for the hourly productivity of the elevator and warehouse facility $P_k = 60$ tons/hour to $G_{(l)} = 21,03$ €/hour for $P_k = 160$ tons/hour). When the number of service posts is doubled ($m = 4$), the $G_{(l)}$ indicator in the specified P_k range increases by 1,54 times (from $G_{(l)} = 14,76$ €/hour for the productivity of elevators $P_k = 60$ tons/hour to $G_{(l)} = 22,78$ €/hour for $P_k = 160$ tons/hour) (Fig. 1). A similar trend of the change in the $G_{(l)}$ indicator is observed in the case of the equipment of the specialized terminal with three ($m = 3$) unloading mechanisms (Fig. 2).

The conducted calculations indicate that in order to significantly improve technological and economic indicators for the creation of a consolidated batch of grain cargoes, there is a need to equip the specified transport and logistics systems with high-performance infrastructure equipment.

Based on the results of the generalization of the main theoretical provisions of the system analysis for integration processes in international production structures, it became possible to determine a set of measures for the unification of customs and logistics processes (Table 4).

Implementation of the proposed innovative procedures makes it possible to use the obtained results for promising developments in modern transport and information technologies. And in order to implement measures to ensure cross-border electronic interaction in customs affairs, appropriate subprograms should be implemented to reorganize business processes for paperless trade in international relations.

Table 3

The optimal value of the number of road vehicles and the maximum hourly profit in the transport and logistics system

Parameters of infrastructure support		The number of service stations in the specialized terminal					
Hourly elevator productivity, tons/hour	Terminal costs, €/€/ton	$m = 2$		$m = 3$		$m = 4$	
		n_{opt}	$G(n)$, €/hour	n_{opt}	$G(n)$, €/hour	n_{opt}	$G(n)$, €/hour
$P_k = 60$	6,50	26	296,58	34	475,95	44	649,49
$P_k = 80$	6,35	29	441,61	42	684,12	56	929,85
$P_k = 100$	6,20	35	591,19	51	911,67	67	1235,43
$P_k = 120$	6,05	41	753,38	60	1157,80	78	1565,72
$P_k = 140$	5,90	47	928,04	68	1422,44	90	1920,96
$P_k = 160$	5,75	53	1115,09	77	1705,80	101	2300,67

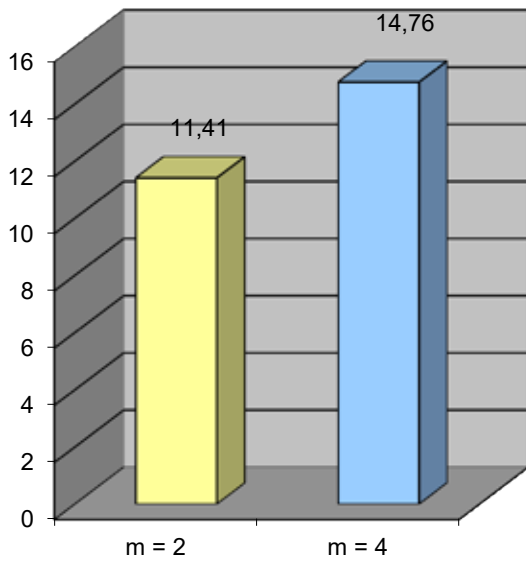


Fig. 1. Relative profit in the transport and logistics system $G_{(1)}$ under the condition of elevator productivity $P_k = 60$ tons/hour

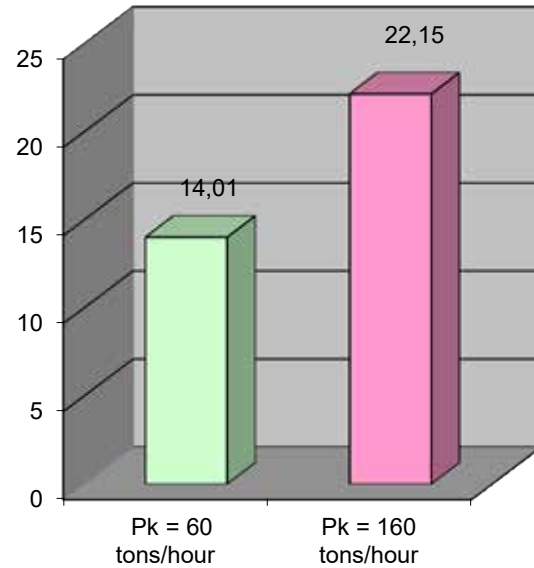


Fig. 2. Change in relative profit in the transport and logistics system $G_{(1)}$ under the condition $m = 3$ in a specialized terminal

Table 4

Application of the principles of system analysis for the implementation of cross-border business processes in transport and logistics systems

Creation of cross-border networks for integrated processes	Implementation of measures in the environment of digital infrastructure	The result of the creation and implementation of integration platforms in the system of international transportation
Interoperable platforms to ensure cross-border electronic interaction in customs affairs	<ul style="list-style-type: none"> – implementation of cross-border paperless trade transactions using electronic identification; – the ability to work with electronic documents according to international standards; – provision of various access channels for the formation of electronic payment documents; – creation of a unified catalog of goods and services (SCGS) in accordance with GS1 international standards; – synchronization of SCGS with national banks of general products and services in each country; – adaptation and synchronization of SCGS language versions. 	<ul style="list-style-type: none"> – a solution for an integration platform with a mechanism for cross-border exchange of data and documents; – unified catalog of goods and services (SCGS), synchronized with national data banks; – individual deployment planning in partner countries.
Control units in the electronic logistics system: <ul style="list-style-type: none"> – digital infrastructure of electronic invoicing; – electronic delivery; – electronic identification; – electronic signature; – automated transfer in each country. 	<ul style="list-style-type: none"> – systematic analysis of all relevant EU directives and requirements; – certification of the secure data and document exchange infrastructure (eDelivery) with compliance checks in accordance with e-SENS AS4; – coordination with EU standards (Directive 2014/55/EU) of information messages of state bodies and exchange protocols; – a technical solution for processing electronic signatures in accordance with EU Regulation № 910/2014 for electronic transactions (eIDAS Regulation); – development of a mechanism for automated translation of various documents. 	<ul style="list-style-type: none"> – the main solution for the digital platform of data and document exchange (eDelivery access point) with eID and eSignature functions; – adapted eInvoicing modules for exchanging standardized information messages with government bodies in partner countries; – implemented eTranslation modules; – certified national infrastructures.

The development of a harmonized legal framework and the creation of the necessary digital infrastructure modules for the implementation of national paperless trade systems (NPTS) involve the use of innovative infrastructure in the strategy of implementing multi-stage customs and logistics processes. On the basis of the reorganization of business processes in the international trade system, proposals for optimizing import-export procedures and new future processes should be developed, taking into account national legislation. The priority of applying EU standards with an emphasis on the exchange of electronic documents in cross-border relations will contribute to the development of international trade relations on the basis of economic integration.

According to the results of the generalization of experimental and empirical studies with the aim of creating proposals for the implementation of customs and logistics processes, one of the promising directions is the intensive use of the "single window" platform. The integration of existing elements of the national digital infrastructure and information systems in the "single window" portal allows performing the functions of an integrator of information flows for foreign economic operations.

Conclusions. The generalization of the results of the research on the infrastructural support of

transport and logistics systems indicates the need for technical and organizational improvement of the specified production structures. Using the main theoretical provisions of system analysis, new results were obtained for the creation and implementation of innovative infrastructure in specialized terminals. Based on the main provisions of the theory of mass service, the main technological and structural characteristics of multi-stage customs and logistics processes were calculated.

The need to create an integrated information system to ensure the interoperability of data exchange between national e-commerce systems is substantiated. Attention is focused on the fact that such an integration platform will create conditions for mutual recognition of electronic identifiers, electronic signatures and transport documents in different countries. The specified platform will provide the necessary protection and security of information for cross-border transmission, and its components will be interconnected using existing telecommunication networks.

The conducted research can be useful for improving the transportation of goods in international communication by implementing the principles of system analysis in the strategy of implementing multi-stage customs and logistics processes.

Bibliography:

1. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method, *Transport*. 2019. Vol. 34(2), P. 175-186. <https://doi.org/10.3846/transport.2019.8546>.
2. Lebid I., Medvediev I., Eliseyev P., Sakno O. A modelling approach to the transport support for the harvesting and transportation complex under uncertain conditions, *26th Technical and scientific conference «Transport, ecology – sustainable development»*. 2020. EKO, IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/977/1/012003>.
3. Vorkut T., Volynets L., Bilonog O., Sopotsko O., Levchenko I. The model to optimize deliveries of perishable food products in supply chains, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5(3-101). P. 43-50. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.177903>.
4. Gryshchuk O., Petryk A., Yerko Y. Development of methods for formation of infrastructure of transport units for maintenance of transit and export freight flows, *Technology Audit and Production Reserves*. 2022. Vol. 1(2(63)). P. 26-30. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2022.251505>.
5. Cranic T.G., Perboli G., Rosano M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy, *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 270 (2). P. 401-418. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.061>.
6. Silantieva I., Katrushenko N., Kushym B. Ensuring effectiveness in handling the movement of goods and passengers by enhancing information and communication technologies, *Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference*. 2019. P. 75-83. doi:10.5281/zenodo.3387287.
7. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Dudnik A., Omarov D. Improvement of the methods for determining optimal characteristics of transportation networks, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6 (3 (84)). P. 54-61. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.85211>.
8. Sharai S., Oliskevych M., Roi M. Development of the Procedure for Simulation Modeling of Interrelated Transport Processes on the Main Road Network, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 5/3(101). P. 70-83. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179042>.
9. Kunda N., Lebid V. Interconnection of Transport Services while Cargo Transportation, *Journal of Advanced Research in Law and Economics*. 2019. Vol. 10.8(46). P. 2394-2406. [https://doi.org/10.14505/jarle.v10.8\(46\).18](https://doi.org/10.14505/jarle.v10.8(46).18).

10. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Dudnik, O., Prokudin, O., Dudnik, A., Svatko, V. Application of information technologies for the optimization of itinerary when delivering cargo by automobile transport, *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 2 (3 (92)). P. 51-59. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.128907>.

11. Apfelstädt A., Dashkovskiy S., Nieberding B. Modeling, Optimization and Solving Strategies for Matching Problems in Cooperative Full Truckload Networks, *IFAC-Papers On Line*. 2016. Vol. 49 (2). P. 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.004>.

12. Harris I., Wang Y., Wang H. ICT in multimodal transport and technological trends, *Unleashing potential for the future, International Journal of Production Economics*. 2015 Vol. 159. P. 88-103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.005>.

13. Shin S., Roh H.-S., Hur S. Characteristics Analysis of Freight Mode Choice Model According to the Introduction of a New Freight Transport System, *Sustainability*. 2019. Vol. 11(4), P. 1209. <https://doi.org/10.3390/su11041209>.

14. Ritzinger U., Puchinger J., Hartl R.F. A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems, *International Journal of Production Research*. 2015. Vol. 54(1), P. 215-231. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1043403>.

Грищук О.К., Петрик А.В., Лігус Т.М. МЕТОДОЛОГІЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ В СТРАТЕГІЯХ РЕАЛІЗАЦІЇ БАГАТОЕТАПНИХ МИТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

У статті проведено аналіз технологічних особливостей транспортного обслуговування зовнішньоторговельних вантажопотоків. Обґрунтовано необхідність проведення досліджень із використанням теоретичних положень системного аналізу та визначено перспективи удосконалення інфраструктури митно-логістичних систем на прикладі консолідації експортних партій зернових вантажів. Розглянуто особливості виконання технологічно-виробничих процесів в транспортних вузлах за участю підприємств елеваторно-складського господарства. Проаналізовано особливості проведення системного аналізу для формування стратегії реалізації багатоетапних митно-логістичних процесів.

Зазначено, що розроблення гармонізованої законодавчої бази та створення необхідних модулів цифрової інфраструктури для впровадження національних безпаперових торговельних систем передбачають використання інноваційної інфраструктури. Акцентовано увагу на тому, що з урахуванням реорганізації бізнес-процесів в системі міжнародної торгівлі мають бути розроблені пропозиції щодо оптимізації нових митно-логістичних процесів з урахуванням національного законодавства. А пріоритетність застосування міжнародних стандартів щодо обміну електронними документами у транскордонних відносинах сприятиме розвитку торговельних відносин на засадах економічної інтеграції.

На прикладі створення методології пошуку оптимального варіанту рішення виробничих проблем розраховано узагальнені сумарні витрати на обслуговування зовнішньоторговельних вантажопотоків та годинний прибуток від функціонування митно-логістичних систем. Зазначено, що для імпортних та експортних вантажопотоків запропоновані показники комплексно враховують якість інфраструктурного забезпечення виробничих систем за умови їх інтеграції у світову економічну мережу.

З використанням фундаментальних положень теорії масового обслуговування шляхом проведення комплексних розрахунків в роботі обґрунтована раціональна структура митно-логістичних систем міжнародного спрямування. Шляхом використання математичних моделей для обґрунтування управлінських рішень отримано нові результати щодо інфраструктурного забезпечення багатоетапних митно-логістичних процесів.

Ключові слова: транспортно-технологічні системи, митно-логістичні процеси, системний аналіз, технологічні характеристики, інфраструктурне забезпечення, консолідована партія вантажів.

Коваленко Л.О.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Гуцько І.С.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКОГО ТА ВІТЧИЗНЯНОГО ДОСВІДУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Кількість транспортних засобів на автомобільних дорогах щорічно зростає у всьому світі. Також внаслідок дорожньо-транспортних пригод гине більше одного мільйона людей, ще близько сорока мільйонів людей зазнають травм. Організація Об'єднаних Націй прийняла програму, метою якої є скорочення вдвічі кількості загиблих та травмованих внаслідок дорожньо-транспортних пригод у світі. Всесвітня організація охорони здоров'я є провідною в Організації Об'єднаних Націй в галузі підвищення безпеки руху. Всесвітня організація охорони здоров'я збирає та узагальнює інформацію про сучасні методи профілактики дорожнього травматизму та надання медичної допомоги.

Всесвітня організація охорони здоров'я у «Доповіді про стан безпеки дорожнього руху у світі» узагальнює інформацію про стан безпеки руху в 175 країнах. ВООЗ розробила пакет технічних заходів щодо безпеки дорожнього руху, в якому наведені заходи, що дозволяють значно зменшити смертність та травматизм внаслідок дорожньо-транспортних пригод. Основна увага в заходах приділяється питанням врегулювання швидкості руху, вдосконаленню транспортної та дорожньої інфраструктури, розвитку стандартів безпеки транспортних засобів, контролю за дотриманням правил дорожнього руху та покращенню медичної допомоги постраждалим у дорожньо-транспортних пригодах.

У пакеті заходів було виділено шість стратегій та 22 заходи для зменшення факторів ризику та наводяться рекомендації державам щодо реалізації заходів щодо зменшення показника смертності та травматизму внаслідок дорожньо-транспортних пригод.

Найпоширеніші причини ДТП в Україні: перевищення безпечної швидкості руху, порушення правил обгону, порушення правил проїзду перехресть, виїзд на смугу зустрічного руху, недотримання безпечної дистанції, порушення проїзду на пішохідному переході та керування автомобілем в стані алкогольного сп'яніння. Саме на ці чинники треба звернути увагу при розробці заходів з підвищення безпеки руху. До ефективних заходів відносяться проектування безпечної інфраструктури, включення елементів забезпечення безпеки дорожнього руху в плануванні розвитку транспорту, вдосконалення систем безпеки транспортних засобів, поліпшення допомоги, що надається жертвам дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, безпека дорожнього руху, транспортний потік, швидкість руху, організація дорожнього руху.

Постановка проблеми. У країнах Європейської Співдружності щорічно зростає кількість транспортних засобів на автомобільних дорогах. Щорічно внаслідок дорожньо-транспортних пригод гине близько 1,3 мільйона людей, ще близько сорока мільйонів людей зазнають травм [1, 2].

Генеральна Асамблея Організації Об'єднаних Націй прийняла програму, метою якої є скорочення вдвічі до 2030 р. кількості загиблих та травмованих внаслідок дорожньо-транспортних пригод у більш ніж 120 країнах світу. Всесвітня організація охорони здоров'я є провідною в Організації Об'єднаних Націй в галузі підвищення безпеки руху. Вона є головою Співробітництва в рамках ООН та виконує функції секретаріату «Десятиліття дій щодо забезпечення безпеки дорожнього руху» [2].

Всесвітня організація охорони здоров'я відіграє ключову роль, продовжуючи проводити на найвищих політичних рівнях інформаційно-роз'яснювальну роботу щодо забезпечення безпеки дорожнього руху. ВООЗ збирає та узагальнює інформацію про передові та сучасні методи профілактики дорожнього травматизму та надання медичної допомоги, а також доводить необхідність збільшення фінансування.

Аналіз останніх досліджень. У виданій ВООЗ «Доповіді про стан безпеки дорожнього руху у світі за 2020 р.» представлено інформацію про стан безпеки дорожнього руху в 175 країнах. Це четверта в серії доповідей, що містять огляд ситуації у світі в галузі безпеки дорожнього руху. Доповіді про стан справ у світі є офіційним

інструментом моніторингу виконання десятилітнього плану дій [2].

ВООЗ веде роботу з країнами по всьому спектру напрямків на основі багатосекторального підходу у партнерстві з національними та міжнародними організаціями. У 2017 р. ВООЗ випустила пакет технічних заходів щодо безпеки дорожнього руху «Врятувати людські життя», в якому узагальнено засновані на фактичних даних заходи, що дозволяють значно зменшити смертність та травматизм внаслідок дорожньо-транспортних пригод. Основна увага в заходах «Врятувати людські життя» приділяється питанням врегулювання швидкості руху, вдосконаленню транспортної та дорожньої інфраструктури, розвитку стандартів безпеки транспортних засобів, контролю за дотриманням правил дорожнього руху та покращенню медичної допомоги постраждалим у дорожньо-транспортних пригодах [2-4].

У пакеті заходів виділено шість стратегій та 22 заходи для зменшення факторів ризику та наводяться рекомендації державам щодо реалізації заходів для порятунку людських життів та щодо виконання поставленого завдання у галузі безпеки дорожнього руху – до 2030 р. скоротити вдвічі глобальний показник смертності та травматизму внаслідок дорожньо-транспортних пригод.

Дорожньо-транспортний травматизм завдає значної економічної шкоди окремим особам, їхнім сім'ям та країнам загалом. Ця шкода обумовлена вартістю лікування та втратою продуктивності внаслідок загибелі чи травм, а також відриву від виробництва чи навчання рідних, які мають піклуватися про постраждалих. Збитки, які зазнають більшість країн внаслідок дорожньо-транспортних пригод, досягають 3 % від їхнього валового внутрішнього продукту [1, 2, 4, 5].

Формулювання цілей статті. Збір та узагальнення інформації про передові та сучасні методи попередження дорожньо-транспортних пригод мають великий вплив щодо профілактики дорожнього травматизму. Метою статті є обґрунтування необхідності урахування сучасного світового та вітчизняного досвіду підвищення безпеки дорожнього руху. Це дасть змогу приймати рішення, які зможуть усунути найбільш вагомі причини аварій.

Виклад основного матеріалу. За даними Національної Поліції, на дорогах України у 2020 році сталося близько 170 тис. дорожньо-транспортних пригод, що на 4,8 % більше, ніж в попередньому році. В 2019 році на дорогах України сталося 160675 дорожньо-транспортних пригод. 26052 з цих ДТП – із постраждалими, з них загинуло 3454 особи та 32736 отримали травми. Кількість дорожньо-транспортних пригод із постражда-

лими в 2020 році залишилася майже незмінною, було травмовано близько тридцяти двох тисяч осіб, загинуло – понад три з половиною тисяч осіб [6]. Найпоширеніші причини ДТП в Україні:

- перевищення безпечної швидкості руху – 34 %;
- порушення правил обгону – 9,8 %;
- порушення правил проїзду перехресть – 20,4 %;
- виїзд на смугу зустрічного руху – 13,1 %;
- недотримання безпечної дистанції – 7,5 %;
- порушення проїзду на пішохідному переході – 6 %;
- п'яне водіння – 8,1 %.

Основні показники аварійності по регіонах України за 2020 та 2021 рік наведені в таблиці 1.

Крім того, названо основні види ДТП:

- зіткнення;
- наїзд на транспортний засіб, що стоїть;
- наїзд на перешкоду;
- наїзд на пішохода;
- з'їзд із проїжджої частини з перекиданням транспортного засобу.

Аналіз статистики ДТП доводить, що найбільшу загрозу безпеки дорожнього руху становили такі чинники [6, 7, 8]:

- надмірна швидкість, яка не відповідає умовам руху;
- дорожньо-транспортні пригоди за участю водіїв, які мають недостатній досвід;
- дорожньо-транспортні пригоди за участю пішоходів, мотоциклістів та велосипедистів;
- дорожньо-транспортні пригоди в місцях перетинання транспортних потоків на перехрестях доріг і в населених пунктах;
- недостатня видимість учасників дорожнього руху на складних ділянках доріг;
- керування транспортним засобом в стані алкогольного та наркотичного сп'яніння;
- недостатній рівень використання засобів пасивної безпеки (ременів безпеки, шоломів тощо).

Збільшення середньої швидкості руху впливає як на ризики дорожньо-транспортних пригод, так і на тяжкість їх наслідків. Наприклад, збільшення середньої швидкості руху на 1 % призводить до зростання ризику дорожньо-транспортних пригод із серйозними наслідками на 3 %.

Управління транспортним засобом під впливом спиртвмісних напоїв та інших психоактивних чи наркотичних речовин веде до зростання ризику дорожньо-транспортних пригод зі смертельним наслідком та серйозного дорожньо-транспортного травматизму.

Використання засобів пасивної безпеки: ременів безпеки, шоломів, дитячих систем безпеки дозволяє знизити ризик травматизму зі смертельними наслідками на 25-45 %

Основні показники аварійності по регіонах України

Регіон	Усього ДТП		ДТП з загиблими або травмованими					
			усього		загинуло		травмовано	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
Вінницька	2856	2951	589	480	124	106	724	558
Волинська	2496	2554	616	492	86	72	720	600
Дніпропетровська	10370	12137	1940	1731	251	223	2371	2001
Донецька	3578	3997	855	864	91	91	1048	1044
Житомирська	3179	3565	794	758	139	132	962	922
Закарпатська	2667	2831	468	379	87	92	583	461
Запорізька	5594	6340	1047	977	141	103	1321	1255
Івано-Франківська	2776	3436	592	718	92	93	721	935
Київська	11564	14077	1625	1385	248	195	2093	1752
Київ	31739	37479	1756	1737	92	92	1993	1941
Кіровоградська	1835	2032	533	506	49	48	658	641
Луганська	708	824	232	246	33	36	306	349
Львівська	8740	9685	1567	1596	234	190	2059	2059
Миколаївська	3047	3769	806	906	83	88	1049	137
Одеська	12768	13670	1553	1220	153	121	1872	1422
Полтавська	3301	3849	865	843	111	109	1131	1066
Рівненська	2300	2742	645	624	114	103	798	793
Сумська	1703	1976	534	620	66	63	664	743
Тернопільська	1946	2284	434	521	49	64	526	689
Харківська	9584	10149	1549	1287	150	165	1858	1485
Херсонська	2821	3107	808	564	103	86	696	690
Хмельницька	2711	2975	573	567	90	88	729	722
Черкаська	3268	3540	648	536	107	91	783	635
Чернігівська	2205	2326	522	486	102	82	615	609
Чернівецька	1870	2185	343	322	47	59	446	396

Значний вплив на безпеку дорожнього руху має облаштування доріг. В ідеалі дороги повинні облаштовуватися таким чином, щоб забезпечити всіх учасників дорожнього руху. Для цього потрібно улаштувати пішохідні та велосипедні доріжки, безпечні переходи та інші засоби уповільнення дорожнього руху [9].

Важливу роль у запобіганні дорожньо-транспортним пригодам та зменшенні ризику серйозного травматизму відіграє безпека транспортних засобів. Існує ціла низка правил ООН з безпеки транспортних засобів, включення яких до національних промислово-виробничих стандартів сприяє запобіганню загибелі людей. Ці правила, зокрема, вимагають від виробників дотримання певних норм щодо безпеки, оснащення всіх транспортних засобів подушками та ремнями безпеки.

Тяжкість травматизму зростає при затримках у виявленні травм та наданні допомоги постраждалим у дорожньо-транспортних пригодах. Важливе значення при наданні допомоги постраждалим у дорожньо-транспортній пригоді має фактор

часу, підвищення якості догоспітальної та лікарняної допомоги.

Висновки. Для боротьби з дорожньо-транспортним травматизмом державні органи повинні вживати заходів щодо забезпечення безпеки дорожнього руху на основі комплексного підходу. Це вимагає участі багатьох секторів, таких як транспортний сектор, органи правопорядку, органи охорони здоров'я, органи освіти, а також життя заходів для підвищення безпеки доріг, транспортних засобів та учасників дорожнього руху.

До ефективних заходів відносяться проектування більш безпечної інфраструктури та включення елементів забезпечення безпеки дорожнього руху в планування та розвитку транспорту, вдосконалення систем безпеки транспортних засобів, поліпшення допомоги, що надається жертвам дорожньо-транспортних пригод, прийняття та забезпечення виконання законодавчих актів, що стосуються основних ризиків, та проведення інформаційно-просвітницьких кампаній.

Список літератури:

1. Гончаренко Ф.П. Теоретичні основи та практичні методи підвищення безпеки руху при експлуатації автомобільних доріг: монографія. Київ, 2000. 352 с.
2. Дорожньо-транспортні травми: веб-сайт. URL: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. (дата звернення 05.09.2022).
3. Eugene R., Luttrell G., Russell E., Rys M. Modeling traffic flows and conflicts at roundabouts. *Mack-Blackwell rural Transportation Center University of Arkansas*. Kansas State University City of Manhattan. February 2000. P. 36-51.
4. Anbarci N., Escaleras M., Register C. Traffic fatalities: Income inequality create an externality. *Canadian Journal of Economics*. 2009. Vol.42, No. 1. P. 244-266.
5. Gartne N., Messer G., Rathi A. Traffic flow theory: A state of the art report Editors. *Transportation Research Board*. 2001. P.207-215.
6. Статистика ДТП в Україні та основні причини аварій на дорогах: веб-сайт. URL: <https://forinsurer.com/news/21/01/19/39063> (дата звернення 05.09.2022).
7. Єрмак О.М., Сумець А.І. Дослідження факторів, що впливають на небезпеку руху на перехрестях. // Науково-технічний збірник. № 101. – Харків: ХНАМГ 2011. – С. 284 – 292.
8. Концепція державної цільової програми підвищення безпеки руху на період до 2020 року. . – К.: Кабмін України, 2015.
9. Рябець Я.В. Удосконалення методики оцінки потенційної небезпеки дорожнього руху / Я.В. Рябець, В.І. Єресов // Безпека дорожнього руху України: Науково-технічний вісник. – К., 2005. – № 1 – 2 (20). – С. 54 – 59.

Kovalenko L.A., Hunko I.S. ANALYSIS OF EUROPEAN AND NATIVE EXPERIENCE IN ENSURING ROAD SAFETY

The number of vehicles on the roads is growing every year around the world. Also, as a result of road traffic accidents, more than one million people die, and about forty million more people are injured. The United Nations has adopted a program that aims to halve the number of deaths and injuries from road traffic accidents worldwide. The World Health Organization leads the United Nations in improving traffic safety. The World Health Organization collects and summarizes information on modern methods of road injury prevention and medical care.

The World Health Organization Report on the state of road safety in the world summarizes information on the state of road safety in 175 countries. WHO has developed a package of technical measures for road safety. The package outlines measures that can significantly reduce road traffic deaths and injuries. The main focus of the events is on regulating the speed of traffic, improving transport and road infrastructure, developing vehicle safety standards, monitoring compliance with traffic rules and improving medical care for victims of road accidents.

The package identified six strategies and 22 interventions to reduce risk factors and provides recommendations for States to implement measures to reduce road traffic deaths and injuries.

The most common causes of traffic accidents in Ukraine are: exceeding speed of movement, violating the rules of overtaking, violating the rules for crossing intersections, driving into the oncoming lane, failing to keep a safe distance, violating the passage at a pedestrian crossing and driving while intoxicated. It is these factors that should be taken into account when developing measures to improve traffic safety. Effective measures include designing safe infrastructure, integrating road safety into transport development planning, improving vehicle safety systems, and improving assistance to road traffic victims.

Key words: traffic accident, traffic safety, traffic flow, speed of movement, traffic management.

УДК 656.61.052
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/46>

Мельник О.М.

Одеський національний морський університет

Волошин А.О.

Одеський національний морський університет

Онищенко О.А.

Національний університет «Одеська морська академія»

Логінов О.В.

Одеський національний морський університет

Щебрина О.В.

Одеський національний морський університет

ОГЛЯД ПРОЦЕСУ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ОСНАЩЕННЯ СУДЕН СИСТЕМАМИ ОЧИЩЕННЯ БАЛАСТНИХ ВОД

Баластна система судна служить для забезпечення остійності судна, для зміни крену, диференту і осадки судна шляхом прийому або осушення спеціальних відсіків або цистерн. Згідно з Міжнародною конвенцією про контроль суднових баластних вод та седиментів й управління ними на судах мають бути встановлені інноваційні системи для обробки баластних вод, видалення або знешкодження, для запобігання скидання або забору патогенних організмів в осадах і баластних водах. Таким чином, виконання вимог Міжнародної конвенції з управління баластними водами, а також впровадження плану управління баластними водами та систем очищення баластних вод на борту суден набуло актуального значення. Хоча баластні води залишаються єдиним інструментом забезпечення остійності судна та його безпечного, надійного та ефективного керування, науково досліджено та доведено експертними органами, що баластні води є шляхом для перенесення значних обсягів шкідливих водних організмів та інших патогенних мікроорганізмів, що створюють серйозні екологічні, економічні та медичні проблеми. При потраплянні в басейни морів або в водні потоки, ці організми можуть створювати небезпеку для навколишнього середовища, здоров'я людей, майна або ресурсів, погіршувати біологічне розмаїття або заважати іншому використанню цих ділянок. В даній роботі пропонується аналіз етапів впровадження конвенції, а також огляд основних систем очищення баластних вод та проблем що виникають в процесі модернізації суден.

Ключові слова: управління баластними водами, експлуатація суден, охорона морського середовища, конвенція, контроль баластних вод, системи очищення.

Постановка проблеми. Процеси глобалізації всупереч проблемам збереження навколишнього середовища, що спостерігаються останнє десятиріччя, спричинили зміни в майже всіх сферах діяльності людини. Не минуло це і галузі судноплавства та суднобудування. У результаті реалізації проектів з охорони навколишнього середовища почали з'являтися судна що використовують альтернативні види енергії, розробляються нові зразки судового обладнання, освоюються новітні технології утилізації як самих суден так і супутніх відходів від їх виробничої діяльності в тому числі баластних вод. Такі зміни пов'язані не скільки з прагненням максимізації економічної ефектив-

ності від використання суден, скільки необхідністю відповідати жорстким вимогам Міжнародних конвенцій стосовно водного транспорту та його експлуатації. Взагалі, екологічний транспорт це глобальна перспективна ідея. Зрозуміло, що, всі зазначені та інші вжиті заходи повинні призвести до підвищення рівня екологічної безпеки, або, як мінімум, її не погіршити. Однак, як доводить практика, в ході розробки та реалізації деяких проектів спрямованих на збереження навколишнього середовища виникає достатньо питань, що вимагають додатково вивчення та дослідження.

Виклад основного матеріалу. Одним із напрямків щодо реалізації концепції екологічних

суден є впровадження системи управління баластними водами. В цілому, системи обробки баластних вод – це складні суднові інженерні комплекси, призначені для очищення забортної води, що використовується для баластування судна від річкової та морської флори та фауни. Системи очищення баластних вод виконують найважливіше завдання щодо збереження екологічного балансу живих організмів морів та океанів, а їх обов'язкове використання регулюється Міжнародною конвенцією про контроль та управління судновими баластними водами та седиментами.

Зовсім небагато часу залишається до повної заборони експлуатації суден без наявності на них таких систем. Міжнародна морська організація (ІМО), проявляючи лояльність, дала достатньо часу для оснащення всіх суден відповідним обладнанням, встановивши крайній і беззастережний термін, а саме – вересень 2024 року.

Міжнародну конвенцію про контроль суднових баластних вод і седиментів та управління ними (BWMC) було ухвалено ІМО в лютому 2004 року. BWMC має забезпечити додаткову охорону морського середовища і допомогти в боротьбі з неконтрольованим скиданням баластних вод у море. Умовою набуття чинності BWMC біло один рік після того, як її ратифікувало щонайменше 30 держав, загальний флот яких становить щонайменше 35% тоннажу світового торгового флоту. Цей рубіж було подолано 8 вересня 2016 року, коли в штаб-квартирі ІМО документ ратифікувала Фінляндія. Після приєднання цієї країни загальний тоннаж флоту 52 країн, які підтримали ухвалення Конвенції, склав 35,1441%. А в червні 2017 року BWMC ратифікувала й Австралія. Незважаючи на те, що Міжнародна палата судноплавства (ICS) закликала ІМО підтримати ініціативу широкої коаліції урядів держав, щодо відтермінування терміну впровадження на судах нових систем очищення баластних вод, у вересні 2017 року Міжнародна конвенція набрала чинності.

Вона включає два основних правила, які визначають стандарти управління баластними водами:

- Правило D-1 стосується стандарту обміну баластними водами;
- Правило D-2 деталізує стандарт щодо обробки баластних вод з використанням системи управління баластними водами та управління ними.

Згідно з цим документом, на судах повинні встановлюватися інноваційні системи для обробки, видалення або знешкодження, баласт-

них вод, з метою запобігання скидання або забору патогенних організмів у седиментах та баластних водах. Після набуття Конвенцією чинності, судновласникам необхідно отримувати міжнародне свідоцтво про відповідність вимогам конвенції систем очищення баластних вод, які встановлені на судах після 2020 року. На сьогоднішній день залишаються немодернізована велика кількість суден. У судновласників немає впевненості, що переобладнане судно, яке відповідає вимогам ІМО, пройде контроль з боку держави порту заходу. Судновласники не поспішають вкладати мільйони в оптимізацію суднових систем очищення баластних вод, адже не виключено, що їх доведеться міняти вже за кілька років. Крім того, очевидним є той факт, що суднобудівні верфі не впораються з таким масовим навантаженням: модернізувати належить приблизно 40 тис. суден різних судноплавних компаній. При цьому немає гарантії, що дороге нове обладнання покаже себе з кращого боку під час експлуатації. Насамперед це стосується суден, побудованих 20-25 років тому.

У зв'язку з пильною увагою, яка зараз приділяється питанням підвищення екологічності у всіх галузях промисловості, процес впровадження судового екологічного обладнання, включаючи системи управління баластними водами, набув широкого поширення. Нормативне регулювання вимагає, щоб системи управління баластними водами були у складі комплексу технічних систем будь-якого судна, що потрапляє під Конвенцію. Вже зараз жодне судно, що будується, не сходить зі стапелів без цих систем.

За даними, опублікованими на лютий 2021 року, очікується, що у 2027 році обсяг виробництва та впровадження систем обробки баластних вод на судах досягне 8,9 млрд доларів США. Зростання цього ринку відображає зростання обсягів морської торгівлі та посилення правил, встановлених ІМО щодо управління баластними водами які здебільшого ґрунтуються на процесах хімічної та фізичної обробки.

Однією з найбільших проблем для світової екосистеми, і, зокрема, з якою стикається судноплавна індустрія – є інвазійні види, що переміщуються разом із судновими баластними водами. Представляючи велику загрозу морській флорі та фауни, ці водні види призвели до зростання явищ біологічного вторгнення із загрозовою швидкістю. Чужорідні організми можуть завдати непоправної шкоди місцевому навколишньому середовищу і завдати шкоди рибальству, аквакультури, аж до загрози здоров'ю і життю місцевого

населення. До 10 млрд. тон водяного баласту щорічно переміщуються транспортними коридорами світового океану, насильно організовуючи міграцію тисячі чужорідних водних організмів. Ці організми дуже швидко розмножуються і домінують над зоопланктоном, забивають рибальські сітки і трали і як наслідок знешкоджують екосистему та завдають збитки рибальської промисловості. Доводиться закривати цілі галузі що зайняті розведенням молюсків і ракоподібних через те, що вони починають споживати токсичні мікродорослі, які завезені в регіон, спричиняючи отруєння у людей.

Тому з метою забезпечення відповідності власного флоту правилам і положенням, встановленим ІМО щодо управління баластними водами, багато судноплавних компаній звертають підвищену увагу процесу впровадження систем баластних вод на суднах, заснованих на різних технологіях очищення. Водночас, на суднах які вже перебувають в експлуатації існують конструктивні проблеми та обмеження, такі як: наявність простору, вартість впровадження та рівень екологічності, що у комплексі відіграє важливу роль у підході до вибору та використання конкретного типу системи очищення баластних вод.

Системи очищення баластних незалежно від типу повинні враховувати ряд факторів, деякі з них представлені нижче:

- ефективність знешкодження організмів у баластних водах;
- охорона навколишнього середовища;
- безпека для екіпажу та судна;
- ефективність співвідношення вартості до ефективності використання;
- простота встановлення та експлуатації;
- можливість встановлення систем з урахуванням архітектурно-конструктивних обмежень.

Ключовою вимогою Конвенції є наявність на суднах системи, що забезпечує обробку баластних вод з тим результатом, щоб кількість шкідливих організмів у воді, що скидається, не перевищувала певних концентрацій (стандарт D-2).

В цілому, системи являють собою комплекси, призначені для очищення від річкової та морської флори і фауни забортної води, що використовується для баластування судна та виконують функцію зі збереження екологічного балансу живих організмів у водному середовищі. Схематично цикл оброблення забортної води представлено на рис. 1.

На сьогодні найпоширенішими є два види систем: системи змішаного типу, які поєднують у собі принцип фільтрації та УФ-опромінення, і системи із застосуванням електрохімічного принципу знешкодження – електролізу. В цілому, на міжнародному ринку, представлено кілька десятків різних систем управління та обробки баластних вод із різними принципами дії.

Одним із методів обробки баластних вод, який успішно застосовується в світі для фільтрації баластних вод, ефективний проти широкого кола організмів, – є ультрафіолетовий спосіб очищення через УФ-фільтр. Такий фільтр складається з ультрафіолетових ламп, які оточують камеру, через яку пропускається баластна вода. Ультрафіолетові лампи в свою чергу виробляють ультрафіолетові промені, які впливають на ДНК організмів, роблять їх нешкідливими і перешкоджають їхньому розмноженню. Спеціальне випромінювання стерилізує воду в баках із баластною водою. В УФ-діапазоні довжина хвилі 254 нанометрів руйнує ДНК бактерій і хвороботворних мікроорганізмів, роблячи їх неактивними, і тим самим запобігає їхньому розмноженню. УФ-дезінфекція ефективна при довжинах хвиль від 200 нм до 300 нм. Випромінювання УФ-випромінювання чинить сильну бактерицидну дію. Воно поглинається ДНК, руйнує її структуру та інактивує живі клітини. Мікроорганізми, такі як віруси, бактерії, дріжджі та грибки знешкоджуються за лічені секунди під дією УФ-випромінювання. За досить високого рівня опромінення, УФ-дезінфекція є надійним і екологічно чистим методом, що виключає необхідність використання хімічних речовин, тому що мікроорганізми не є стійкими до УФ-випромінювання.

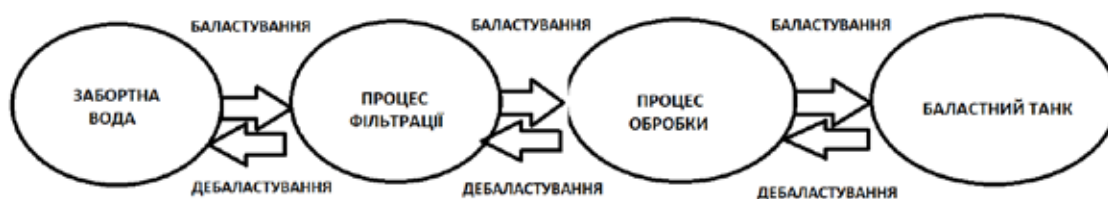


Рис. 1. Цикл оброблення баластних вод

Крім вищезазначеного, до переваг системи УФ-фільтрації, що сприяють її поширенню відноситься також:

- швидка, ефективна та економічна технологія;
- простота використання та низькі експлуатаційні витрати;
- екологічно чистий і безпечний процес очищення без участі хімікатів;
- відсутність необхідності транспортування, зберігання та обробки небезпечних матеріалів та відходів;
- відсутність впливу на навколишнє середовище.

Схема обробки баластних вод ультрафіолетовим випромінюванням представлена на рис. 2.

Стандарти для чистої баластної води, що визначені ІМО, допомагають зупинити впровадження інвазійних водних організмів. З ратифікацією правил ІМО у 2017 році, екологічно чисті системи очищення баластних вод незабаром стануть обов'язковими для всіх морських суден, що працюють у міжнародних водах та скидають баластні води.

Причина жорстких вимог з боку адміністрації щодо суден полягає в тому, що судна здійснюють забір баластних вод в одному регіоні, а скидають уже в іншому. При цьому водні мікроорганізми потрапляють у неприйнятне для них середовище. Цю ситуацію називають однією з найсерйозніших екологічних проблем, пов'язаних із судноплаванням, поряд із забрудненням вод нафтою і нафтопродуктами та викидами парникових газів. По суті, таким чином відбувається біологічне забруд-

нення або навіть тотальне зараження морської екосистеми

Висновки. Комплекс сучасного обладнання для очищення баластних вод, що встановлюється на судах, має за мету не стільки їх очищення, скільки системний підхід до управління баластними водами. Це означає, що до функцій системи управління баластними водами, крім установки обладнання для кожного судна, повинні розроблятися специфічні баластні плани та заходи, облік та ведення журналів, тренінги та навчання екіпажу, підготовка та відповідальність певних членів екіпажу. У свою чергу компетентні органи з боку берегових служб повинні вести нагляд за відповідністю судових системи управління баластними водами всім вимогам конвенції.

Незважаючи на те, що розмови про посилення правил з управління баластними водами розпочалися понад 10 років тому, а офіційно набули чинності декілька років тому, опір судовласників до встановлення систем не слабшає. У цьому немає нічого дивного, адже вартість оснащення однієї одиниці флоту обладнанням потребує значних інвестицій та часу для його встановлення. Такі процеси модернізації вимагають простою судна (розробка проекту, виробництво системи, монтаж, навчання команди), що у підсумку обертається витратами коштів та часу для судноплавних компаній.

З іншого боку, відсутність такої системи на борту істотно знижує конкурентоспроможність флоту, обмежуючи район їхньої роботи. Такі судна не допускаються в порти держав, які ратифікували

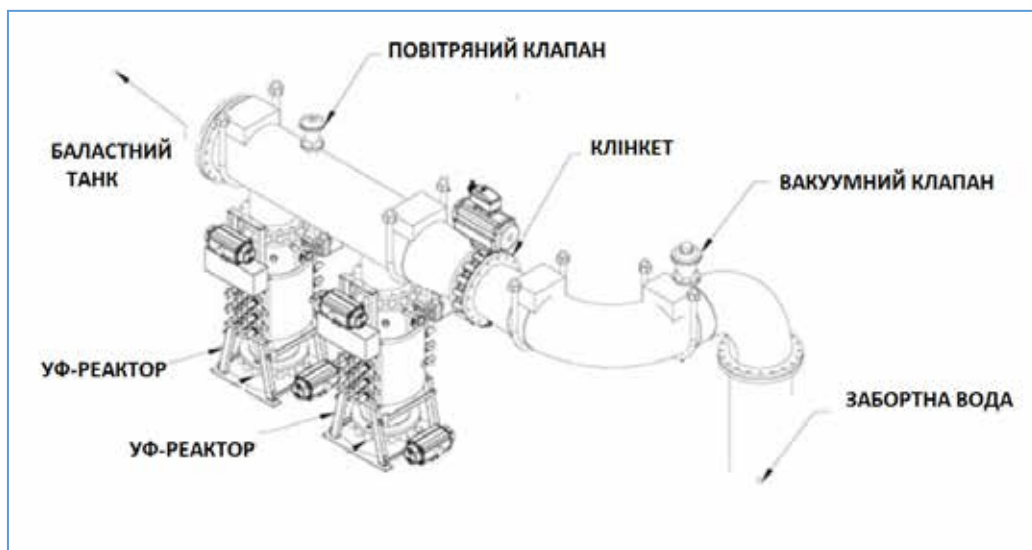


Рис. 2. Схема обробки баластних вод ультрафіолетовим випромінюванням

Конвенцію. Або, якщо у них і є формальне право працювати без системи, то буде діяти заборона на скидання баласту у внутрішніх водах. А це означає істотне зниження корисної вантажопідйомності судна і, як наслідок, зниження економічної ефективності їх експлуатації. Необхідність впро-

вадження систем управління баластними водами залишається обов'язковим для судновласників, проте питання щодо вибору способу очищення, визначення типу системи та проекту їх встановлення на борту, потребують ретельного вивчення та обґрунтування.

Список літератури:

1. Екологічні системи обробки баластних вод. URL https://www.korabel.ru/news/comments/ekologichnye_sistemy_obrabotki_ballastnyh_vod.html
2. Yongming S, Shuhong S (2012) The study of ships ballast water replacement monitoring at sea based on MCU. *Procedia Environ Sci* 12:199–205. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.266>
3. Wright DA, Gensemer RW, Mitchelmore CL, Stubblefield WA, van Genderen E, Cooper WJ (2010) Shipboard trials of an ozone-based ballast water treatment system. *Mar Pollut Bull* 60(9):1571–1583. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.04.010>
4. Werschkun B, Höfer T, Greiner M (eds) (2012) Emerging risks from ballast water treatment. Federal Institute for risk assessment. <https://www.bfr.bund.de/cm/350/emerging-risks-from-ballast-water-treatment.pdf>
5. Batista WR, Fernandes FC, Lopes CC, Lopes RS, Miller W, Ruiz G (2017) Which ballast water management system will you put aboard? *Remn Anxieties Mini-Rev Environ* 4(3):54. <https://doi.org/10.3390/environments4030054>
6. К вопросу очистки балластных вод от биологических загрязнений на судах рыболовного флота. URL:<https://elibrary.ru/item.asp?id=21703780>.
7. Балластные воды – серьезная проблема. URL: <https://maritime-zone.com/news/view/ballastnye-vodyseresnaya-problema>.
8. Конвенция о балластных водах вступила в силу. URL: <http://seafarers.com.ua/ballast-water-management-convention-entered-into-force/13203/>.
9. Система очистки балластных вод. URL: <http://norta.net/ru/catalog/sistema-ochistki-ballastnykh-vod/>.
10. Данилян А.Г., Быковец Н.П., Тирон-Воробьева Н.П. Новый подход в локализации инвазивных пришельцев в балластных водах морских судов. *Proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. International Trends in Science and Technology. Warsaw, Poland. 2018. Vol. 2, December 25. С. 10–15.*
11. International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (2004). International Maritime Organization.
12. Мельник О.М. Огляд основних механізмів управління енергоефективністю та контролю за викидами з морських суден / С. П. Онищенко, О. М. Мельник, А. О. Волошин, Є. В. Калініченко, С.В. Заяц // *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2021. – № 197. – С. 121–129.* <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248314>.
13. Мельник О.М., Онищенко О.А., Васалатій Н.В., Корякін К.С., Пуляев І.О., Щенявський Г.С. (2022). Технології інформаційної взаємодії у процесі підвищення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім. Вернадського. Технічні науки* 33(72) № 4 – С. 260 – 265. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.4/39>
14. Melnyk, O., Onyshchenko S. (2022) Ensuring Safety of Navigation in the Aspect of Reducing Environmental Impact. *ISEM 2021, LNNS 463*, pp. 1–9. https://doi.org/10.1007/978-3-031-03877-8_9
15. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Voloshyn, A. (2022) Maritime situational awareness as a key measure for safe ship operation. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport.* 114, 91-101. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8>.

Melnyk O.M., Voloshin A.O., Onishchenko O.A., Lohinov O.V., Shchebrina O.V. OVERVIEW OF THE MODERNIZATION PROCESS AND BALLAST WATER TREATMENT SYSTEMS FOR SHIPS

The ballast system of the ship serves to ensure the stability of the ship, to change the list, trim and draft of the ship by taking in or pumping out special compartments or tanks. According to the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWMC), innovative systems for ballast water treatment, disposal or neutralization, to prevent the discharge or intake of pathogenic organisms in sediments and ballast water must be installed on ships. Thus, the implementation of the requirements of the IMO International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, the implementation of a ballast water management plan and ballast water treatment systems on board ships

has become of great importance. While ballast water remains indispensable for safe, reliable and efficient shipping, it has been scientifically researched and proven by expert bodies that ballast water is a significant pathway for the transfer of harmful and no less harmful aquatic organisms and other pathogens, which pose serious environmental, economic and health problems and, if released into the sea or fresh water streams, may endanger the environment, human health, property or resources, degrade biodiversity or interfere with other legitimate uses of these areas. This article offers an analysis of the stages of implementation of the convention for the control and management of ships' ballast water and sediments, as well as an overview of the main ballast water treatment systems and problems arising in the process of ship modernization.

Key words: *ballast water management, ship operation, marine environment protection, convention, ballast water control, treatment systems.*

Petrov L.M.

Odesa Military academy

Kishianus I.V.

Odesa Military academy

Petryk Yu.M.

Odesa Military academy

DISCOVERY OF THE UNACCOUNTED INFLUENCE OF A COMPRESSED TIRE ON CHANGES IN TIRE GRIP COEFFICIENT WHEEL DRIVE WITH ROAD AND WHEEL ACCELERATION MOVEMENT

The working process of the car is accompanied by the coupling of the wheel drive with the road, which is regulated by the coefficient of adhesion, which leads to the movement of the compressed part of the tire (stretching of the tire and its compression, which leads to the dynamic movement of the rolling arm of the wheel drive of the car. The article deals with the study of the movement of the deformed part of the wheel tire engine of a car using the theorem on the change of kinetic energy of this system, the general equation of dynamics.

The purpose of the research is to improve the theory of the technological scheme of the wheel drive load with the detection of the movement of the deformed part of the movement of the car wheel drive and the connection of this movement with the movement of the rolling arm of the car wheel drive and the influence of the output parameters on this connection.

The scientific and practical direction of the work consists in the fact that for the first time a technology was considered in which, during the rotation of the wheel drive, the points of the deformed part of the tire of the wheel drive of the car are displaced and the Coriolis force appears, which significantly affects the coefficient of adhesion of the wheel drive to the road.

The methodology of the study was to establish a mathematical relationship between the coefficient of traction of the wheel drive tire and the road.

As a result of the study, it was established: the influence of the initial parameters and the surrounding environment on the deformed part of the tire of the car's wheel drive is reflected in graphic dependencies; a change in the speed of the deformed part of the tire of the wheel drive causes the appearance of Coriolis acceleration, and for the appearance of Coriolis acceleration, the authors proposed a formula for calculating the acceleration of the deformed part of the car tire; the degree of dependence of the size of the deformed part of the tire on the size of the shoulder of the wheel of the wheel drive was established, and this degree is negative.

Key words: Coriolis forces, Coriolis acceleration, rolling shoulder, deformed tire part, wheel drive.

Formulation of the problem

Qualitatively prepared road surface is of great importance in the operation of cars in order to realize their traction and traction properties. An increased average speed, even with good traction and traction properties and an unsatisfactory path, can lead to an emergency situation with negative consequences.

To ensure accident-free operation of the car on an unsatisfactory [3,p.1-8] road, the driver needs to prepare in advance for the possible behavior of the wheel drives of his car, which may inadequately implement traction and traction properties.

Figures 1...8 show possible road "trouble" and the driver's behavior when encountering such a road.

Fig. 1-8 provides an overview of typical obstacles on highways.

To reduce the shock load on the wheels and suspension from driving through large potholes, car operation specialists offer two methods. Before passing through a pothole, it is suggested to change the direction of the car: make a short and quick turn and turn the steering wheel back. This simulation of bypassing an obstacle can reduce damage to the car's suspension, and the shock load on the wheel will decrease. This is explained by the fact that the forces

of inertia at this moment will redistribute part of the car's mass to the wheels on the other side.



Fig. 1. Pits [3]



Fig. 2. "Washing board" [3]

Also, specialists in automobile transport introduce the concept of "washing board", which is dangerous when braking a car, with worn out shock absorbers, this path will be much longer. This is explained by the fact that the shock absorbers in such a situation are not able to press the wheels to the road. The "washing board" path leads to the fact that the unloaded wheels will lock, and the anti-lock system in this case automatically reduces the braking force in the brake pad drive mechanisms. Cars that do not have an ABS system in this situation, the braking distance has less impact on the stopping distance.



Fig. 3. Cobblestone [3]

Experienced drivers on road barriers "cobblestones" increase the distance to the car moving in front, so as not to create an emergency situation, and in some

cases take to the side, where there is less undulation and a greater probability of extinguishing the activity of the ABS with the handbrake.



Fig. 4. Borders [3]

Curbs are an unwanted barrier that can cause "injuries" to the wheel. The most dangerous are low curbs (or medium height) stone curbs with a sharp right angle. To reduce the risk of injury to the tires, it is advisable to pull into the curb smoothly and at a greater angle (closer to 90 degrees).



Fig. 5. Rails [3]

Tram and railway tracks projecting above the road are very dangerous for both cars and motorcyclists and cyclists. Tram tracks are the most dangerous because they have sharper edges, such an obstacle can be more than 4-5 cm. Such an obstacle can easily cut tires and deform the disc. Crossing metal rails that are polished by car wheels, so tires can slide. Light vehicles (motorcycles and bicycles) are particularly dangerous, as driving over polished metal causes these vehicles to fall.



Fig. 6. Puddles [3]

Water obstacles hide two dangers. First, potholes can be hidden under them, which will lead to damage to tires and car suspension units. Secondly, deep pits filled with water cause water to enter the air intake of the engine, which will lead to water hammer. Therefore, if you saw an unfamiliar puddle on your way, it is better to reduce the speed as much as possible. With a thin film of water on the road, aquaplaning cannot be avoided, when a layer of water appears between the tire tread and the road, which turns the car into an object of motion by inertia.



Fig. 7. Stone-brick [3]

Large stones and bricks that have fallen from the bodies of trucks, when hitting them, can cause damage to tires and wheels, as well as plastic elements of the lower part of the car body.



Fig. 8. Crushed stone-sand-soil [3]

Driving on roads that are made by spreading and tamping with crushed stone, sand or soil is dangerous, as the wheel drives of cars falling into the spot of contact between the tire tread and the road causes an increase in the braking distance and a significant deterioration of controllability.

Analysis of recent research and publications

We performed an analysis of the interaction of the wheel's adhesion coefficient with the road. The tangential reaction of the road R_x is limited and cannot exceed a certain value, determined by the nature of the interaction between the wheel and the road (the adhesion of the wheels to the road) and the magnitude of the normal reaction. Specialists in

the theory of motion of cars [1, p.40-45] came to a single conclusion that the longitudinal coefficient of adhesion φ_x is the ratio of the maximum possible the coupling of the tangential reaction R to the normal reaction R_z and the formula takes the form:

$$\varphi_x = \frac{R_{Ymax}}{R_z} \quad (1)$$

The coupling coefficient φ_x depends on many operational and design factors [2, p.89-95]. The main ones are the type and condition of the road, the speed of the car, the air pressure in the tires, the size of the wheels, the weight of the wheel, and the design features of the tire. The highest value of the coefficient of adhesion is achieved on dry and clean roads with a concrete or asphalt concrete surface. On such roads, on average, the coefficient of adhesion can be considered equal to $\varphi_x = 0.7 \dots 0.8$. For some types of tires, in this case, the coupling coefficient can be equal to $\varphi_x \leq 1.0 \dots 1.1$.

The lowest value of the adhesion coefficient occurs on icy and snowy roads at temperatures close to zero ($\varphi_x > 0.05 \dots 0.15$). When the temperature drops, the adhesion coefficient on these roads increases and can reach $0.3 \dots 0.35$.

On wet and dirty roads with a hard surface, the coefficient of adhesion is one and a half to two times lower than on dry and clean ones. A particularly large decrease occurs at high speeds of rolling or sliding of the wheel. A decrease in road surface roughness leads to a decrease in φ_x . As the vehicle speed increases, φ_x decreases, especially on wet and dirty roads. For example, on wet asphalt concrete when driving speed increases from 25 to 80 km/h. φ_x decreases almost twice.

The air pressure in the tires has different effects on the value of the coefficient of adhesion on roads with different surfaces. On dry, clean roads with a hard surface, increasing the air pressure in the tires reduces φ_x . On wet and dirty roads with a hard surface, increasing the air pressure in the tires to certain limits increases φ_x due to the fact that, as a result of the increase in specific pressures, the conditions for squeezing out the film of moisture and dirt from the contact are improved.

On deformable roads (snow, sand, wet dirt roads), a decrease in air pressure, as a rule, leads to an increase in the coefficient of adhesion. The exception is deformable road surfaces with a hard sub-layer. On such roads, when the air pressure in the tires increases, the wheel pushes through the upper soft layer, as a result of which φ_x increases. In fig. 9. tire protectors are presented, which are capable of increasing the traction coefficient in certain road conditions.

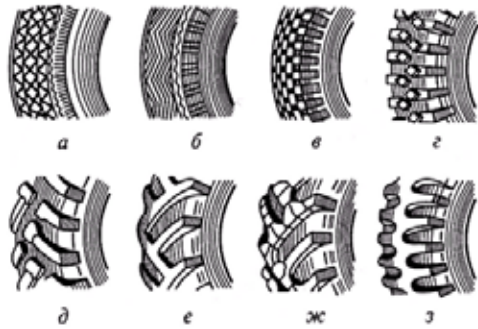


Fig. 9. Tire protectors: a, b – road; c, d – universal; d-z – increased patency

According to the results of numerous tests, the average values of the coefficient of adhesion for different types of road surface were obtained

Table 1
Average values of the coefficient of adhesion for different types of road surface

Type of road surface	Surface condition (adhesion coefficient value)	
	dry surface	wet surface
asphalt	0,7 ... 0,8	0,3 ... 0,4
dirt road	0,5 ... 0,6	0,3 ... 0,4
clay	0,5 ... 0,6	0,3 ... 0,4
sand	0,5 ... 0,6	0,4 ... 0,5
frozen road	0,2 ... 0,3	
Road covered with snow	0,2 ... 0,4	

Highlighting previously unresolved parts of the overall problem

The movement of the military vehicle is carried out with the help of wheeled drives with a flexible tread, which on the roads in violation of the norms of the DSTU do not fully satisfy the performance of military tasks in the zone close to the combat ones, since there is a discrepancy between the coefficient of adhesion and the load of the military vehicle. The main drawback is the imperfect study of the influence of a deformed tire on increasing the traction capabilities of a wheeled vehicle [2,3 p.89-95].

To increase the reliability of the technology of moving a car in off-road conditions, the development of world-class specialists is aimed at improving the theory of motion and the design of the tire of the wheel drive and the technology of its movement [1, p. 40-45].

Presentation of the main research material

In order to establish the law of influence of the deformed part of the tire of the wheel drive on the coefficient of adhesion with the road, we applied the law of conservation of energy when the wheel drive

collides with an obstacle, the kinetic energy of the car will be transformed into heat due to the deformation of the tire when it hits the obstacle. Accordingly, we suggest using the following formula:

$$E_k = A = \frac{mv^2}{2} \varphi(R_z + R_\theta)S_{\delta u} \quad (2)$$

where v is the initial speed of the car hitting the obstacle;

$S_{\delta u}$ – tire deformation path

$$P_{34} = \varphi(R_z + R_\theta)S_{\delta u} \quad (3)$$

where G_{ek} is the vertical load on the wheel. Therefore, the coefficient of adhesion of the wheels to the road can be calculated:

$$\varphi_x = \frac{v^2}{2gS_{\delta u}} \quad (4)$$

We proposed artificial deformation of the car's wheel drive tire using the devices shown in Fig. 10, 11. In Fig. 10, a tire deformation device of a wheel drive based on an elastic battery, in Fig. 11 shows a device that is controlled by a pneumatic system from the driver's cabin

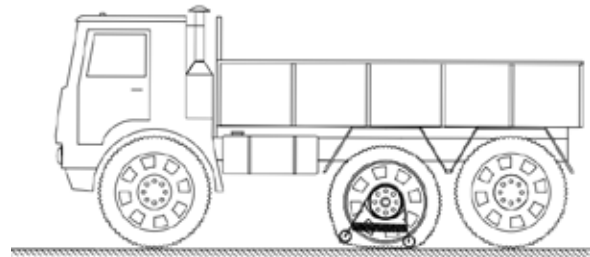


Fig. 10. Device for deformation of a tire of a wheel drive based on an elastic battery

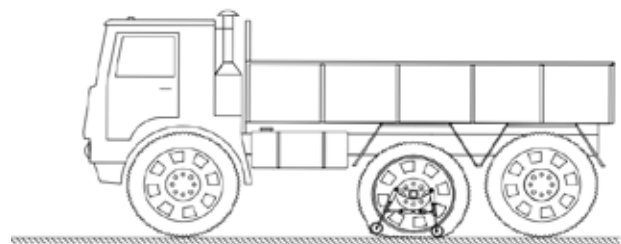


Fig. 11. A device controlled by a pneumatic system from the driver's cabin

Table 2 shows the results of studies of the influence of the initial parameters and the surrounding environment on the adhesion coefficient of the deformed part of the wheel drive tire of the car

In fig. 12, 13 shows the influence of the speed of the car and the longitudinal deformation of the compressed part of the tire on the coupling coefficient of the wheel drive with the road.

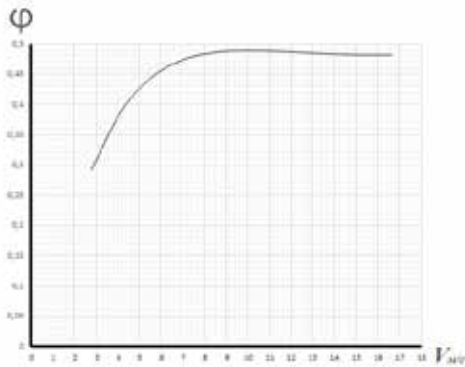


Fig. 12. Dependence of the coefficient of traction of the wheel drive with the road on the speed of the car

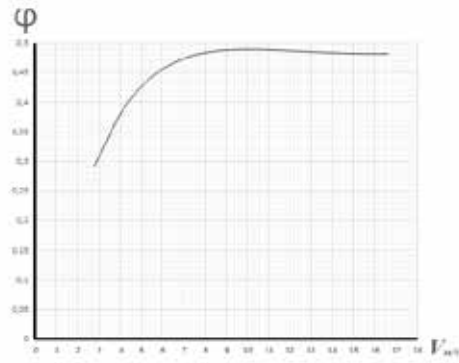


Fig. 13. Dependence of the coupling coefficient on the length of the longitudinal deformation of the compressed part of the tire

Table 2

Results of studies of the influence of the initial parameters and the surrounding environment on the adhesion coefficient of the deformed part of the wheel drive tire of the car

v	ϕ	$S\partial u$	σu	n
2,777778	0,291469419	1,349283	0,05	-0,1
4,166667	0,389719844	2,270523	0,065	-0,3
5,555556	0,444939518	3,535534	0,08	-0,5
6,944444	0,473132233	5,195095	0,095	-0,7
8,333333	0,485503004	7,29032	0,11	-0,9
9,722222	0,489139909	9,849155	0,125	-1,1
11,11111	0,488407613	12,88349	0,14	-1,3
12,5	0,485980194	16,38711	0,155	-1,5
13,88889	0,483502997	20,33466	0,17	-1,7
15,27778	0,482000688	24,68162	0,185	-1,9
16,66667	0,482127037	29,36547	0,2	-2,1

Table 3

Results of changing the accelerations of the deformed part of the tire from the initial parameters of the wheel drive

v	σc	ω	Кур
8,333333	2,15682538	0,5	15
9,722222	4,20606465	0,7	18
11,11111	7,16735899	0,9	21
12,5	11,1852577	1,1	24
13,88889	16,3941014	1,3	27
15,27778	22,9166667	1,5	30
16,66667	30,8628787	1,7	33
18,05556	40,3285993	1,9	36
19,44444	51,3944986	2,1	39
20,83333	64,1250164	2,3	42
22,22222	78,5674201	2,5	45

During the time interval D

$$a_c = 2\omega_e v_r \sin < (\overline{\omega_e}, \overline{V_r}) \quad (5)$$

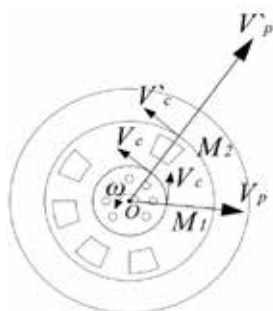


Fig. 14. Model of the change in the positions of the points of application of force on the wheel drive and the emergence of the Coriolis force

In fig. 15, 16, 17 show the results of the influence of the output parameters of the wheel drive on the acceleration of the deformed part of the tire.

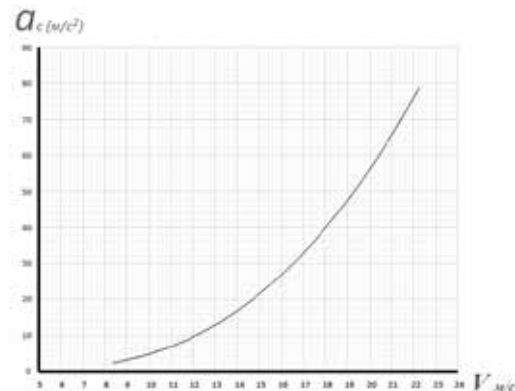


Fig. 15. Dependence of the acceleration of the deformed part of the tire on the speed of the wheel drive

Table 3 shows the results of changing the accelerations of the deformed part of the tire from the initial parameters of the wheel drive.

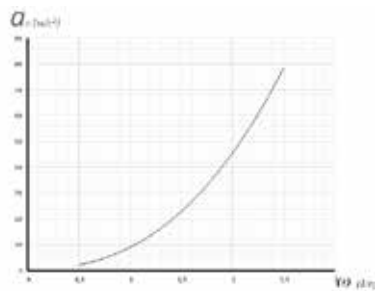


Fig. 16. Dependence of the acceleration of the deformed part of the tire on the angular velocity of the wheel drive

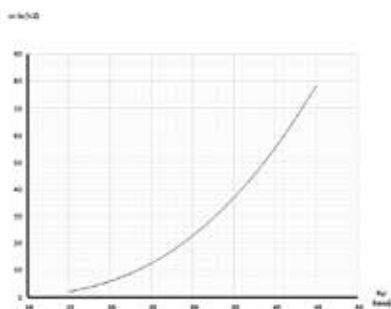


Fig. 17. Dependence of the acceleration of the deformed part of the tire on the angle between the vectors of the angular speed and the linear speed of the wheel drive

Conclusions

1. When examining the article "Identification of the unaccounted influence of a compressed tire on the change in the coefficient of traction of a wheel drive tire with the road and the acceleration of the wheel drive", the influence of the initial parameters and the surrounding environment of the deformed part of the tire of the wheel drive car on the coefficient of traction of the tire with the road was revealed.

2. The influence of the initial parameters and the surrounding environment on the deformed part of the wheel drive car tire is displayed in graphic dependencies.

3. A change in the speed of the deformed part of the tire of the wheel drive causes the appearance of Coriolis acceleration. For such changes in speed, the authors proposed a formula for calculating the acceleration of the deformed part of the car tire.

4. The degree of dependence of the size of the deformed part of the tire on the size of the shoulder of the wheel of the wheel drive was established, and this degree is negative.

Bibliography:

1. Інтелектуальна технологія ідентифікації коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП : монографія / В.А. Кашканов, В.М. Ребедайло, А.А. Кашканов, В.П. Кужел. Вінниця : ВНТУ, 2011. 128 с.
2. Совершенствование методов автотехнической экспертизы при дорожно-транспортных происшествиях: монография / В. П. Волков, В. Н. Торлин, В. М. Мищенко, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, В. П. Кужель, В. А. Ксенофонтова, А. А. Ветрогон, Н. В. Скляров. Харьков: ХНАДУ, 2010. 476 с.
3. 8 вбивць шин і колісних дисків на дорогах України – Автоцентр.ua. *Автоцентр.ua*. URL: <https://www.autocentre.ua/ua/opyt/shiny/8-ubijts-shin-i-kolesnyh-diskov-na-dorogah-ukrainy-295836.html> (дата звернення: 27.09.2022).

Петров Л.М., Кішянус І.В., Петрик Ю.М. ВИЯВЛЕННЯ НЕВРАХОВАННОГО ВПЛИВУ СТИСНУТОЇ ШИНИ НА ЗМІНЕННЯ ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ ШИНИ КОЛІСНОГО РУШІЯ З ДОРОГОЮ ТА ПРИСКОРЕННЯ КОЛІСНОГО РУШІЯ

Робочий процес автомобіля супроводжується зчепленням колісного рушія із дорогою, що регламентується коефіцієнтом зчеплення, що приводить до руху стиснутої частини шини (розтягування шини та її стиснення, що приводить к динамічному руху плеча кочення колісного рушія автомобіля. В статті розглянуті питання дослідження руху деформованої частини шини колісного рушія автомобіля з застосуванням теореми про зміну кінетичної енергії цієї системи, загального рівняння динаміки.

Метою дослідження є удосконалення теорії технологічної схеми навантаження колісного рушія з виявленням руху деформованої частини руху колісного рушія автомобіля та зв'язок цього руху з рухом плеча кочення колісного рушія автомобіля та вплив вихідних параметрів на цей зв'язок.

Науковий та практичний напрям роботи полягає в тому, що вперше розглянута технологія в якій при обертанні колісного рушія відбувається зміщення точок деформованої частини шини колісного рушія автомобіля та поява сили Коріоліса, яка істотно впливає на коефіцієнт зчеплення колісного рушія з дорогою. Методологією дослідження являлося встановити математичний зв'язок між коефіцієнтом зчеплення шини колісного рушія з дорогою, виявлено вплив вихідних параметрів та оточуючого середовища деформованої частини шини колісного рушія автомобіля на коефіцієнт зчеплення шини із дорогою.

Результатом дослідження встановлено: вплив вихідних параметрів та оточуючого середовища деформованої частини шини колісного рушія автомобіля відображено в графічних залежностях; зміна швидкостей деформованої частини шини колісного рушія викликає появу прискорення Коріоліса

і на появу прискорення Коріоліса авторами запропонована формула для обчислення прискорення деформованої частини шини автомобіля; встановлено степенева залежність величини деформованої частини шини від величини плеча колеса колісного рушій і ця степінь від'ємна.

Ключові слова: сили Коріоліса, прискорення Коріоліса, плече кочення, деформована частина шини, колісний рушій.

Решетков Д.М.

Одеський національний морський університет

Павлова Н.Л.

Одеський національний морський університет

ГЛОБАЛЬНІ ІНІЦІАТИВИ ЩОДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Транспорт має фундаментальне значення для реалізації Паризької угоди та Порядку денного в галузі сталого розвитку на період до 2030 р. За даними Світового Банку, на сектор транспорту в Україні припадає 40% забруднювачів повітря. Забруднення повітря перевищує національні стандарти якості повітря в найбільш населених і промислово розвинених містах України. Разом з цим, на транспорт припадає понад чверть світових викидів парникових газів. За даними Кадастру викидів парникових газів України 12% парникових газів в державі здійснюються транспортом. Зокрема, морський транспорт викидає близько 940 млн. т вуглекислого газу на рік – близько 2,5% річного загальносвітового обсягу викидів парникових газів і, згідно з галузевими оцінками, ці викиди зростатимуть, якщо не буде вжито заходів. Така ж негативна тенденція спостерігається у всій морській господарській галузі. Зростання активності в морських портах вплинули на навколишнє середовище, включаючи високі викиди вуглецю, шум в результаті діяльності в морських портах, високе споживання енергії і серйозний вплив на здоров'я населення прибережних міст поблизу морських портів. Через завантаженість суден комерційною діяльністю та операцій з підйому та розвантаження контейнерів, а також місцевої присутності рибних підприємств морські порти та навколишні міста стали вуглецевими і зазнали значних рівнів забруднення. У зв'язку з цим весь сектор морського транспорту і його підгалузі мають проявити більше ініціативи, щоб наблизитись до світових досягнень у цій сфері. У даній статті проаналізовано основні завдання щодо скорочення викидів парникових газів судноплавними компаніями. Відзначені проблеми розвитку альтернативних видів палива для морських суден. Охарактеризовано напрями інвестицій у великомасштабні енергетичні проекти і в порти країн для декарбонізації судноплавства. Доведена необхідність приєднання України до ініціатив у цій сфері.

Ключові слова: морський транспорт, декарбонізація транспорту, альтернативні види палива, судна з нульовим рівнем викидів, енергетика морських перевезень.

Постановка проблеми. Транспорт має фундаментальне значення для реалізації Паризької угоди та Порядку денного в галузі сталого розвитку на період до 2030 р. На транспорт припадає понад чверть світових викидів парникових газів. У наступні дев'ять років має відбутися глобальне зрушення у бік повсюдного використання відновлюваних джерел енергії. Надійні та безпечні транспортні системи відіграють центральну роль у цій трансформації.

За даними Кадастру викидів парникових газів України 12% парникових газів в державі виробляються транспортом, тому весь транспортний сектор і його підгалузі мають проявити більше ініціативи, щоб наблизитись до світових досягнень у цій сфері.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання, пов'язані з декарбонізацією транспорту є у сфері наукових інтересів багатьох вітчизняних та закордонних вчених, а також міжнарод-

них і вітчизняних організацій й установ. Зокрема дослідження в цій сфері здійснювали Організація Об'єднаних Націй [1], Світовий Банк [2], Глобальний морський форум [3], міжнародна компанія DNV GL [4] тощо. Солопун Н.М. [5] у своїй роботі розглядалось питання впливу на функціонування автомобільного транспорту «зелених» інвестицій. Агеєва Г.М. [6] досліджувала питання декарбонізації діяльності аеропортів. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. [7] розглянули загальні питання декарбонізації морської галузі. В роботі А. Alzahrani, Ioan Petri, Ya.Rezgui A. Ghoroghi [8] здійснено огляд існуючих технологій та концепцій, що сприяють скороченню викидів вуглецю.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз сучасних тенденцій, трендів і процесів декарбонізації морського транспорту.

Виклад основного матеріалу. Мета і завдання декарбонізації транспорту. Метою

декарбонізації є розв'язання проблеми зміни клімату і скорочення викидів парникових газів, що пов'язано з роботою транспорту. Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити ряд задач.

По-перше, необхідно прискорити декарбонізацію всього транспортного сектора. Для цього потрібно поетапно відмовитися від виробництва автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, зробити повсюдно доступними морські судна з нульовими викидами і використовувати екологічно чисті види авіаційного палива.

По-друге, слід значно підвищити безпеку транспорту. Це означає, що слід надати допомогу країнам, що розвиваються, у будівництві доріг з твердим покриттям і з виділеним простором для пішоходів і велосипедистів, а також в організації зручних та доступних видів громадського транспорту.

По-третє, необхідно підвищити стійкість транспортних систем. Інвестиції у відновлення після пандемії повинні бути націлені на створення надійного транспорту, організацію робочих місць, що гідно оплачуються, і розширення транспортних можливостей для всіх жителів планети. Громадський транспорт має стати основою міського середовища. На кожен вкладений долар він створює втричі більше робочих місць, аніж будівництво нових автомагістралей.

По-четверте, співтовариство гостро потребує тіснішої співпраці у сфері транспорту: потрібно розвивати ефективні партнерські відносини між країнами, організаціями та приватним сектором, що дозволить обмінюватися знаннями, долати розрізненість, а також використовувати існуючі фінансові та технологічні можливості для досягнення спільних цілей [1].

За даними Світового Банку, на сектор транспорту в Україні припадає 40% забруднювачів повітря [2]. Забруднення повітря перевищує національні стандарти якості повітря в найбільш населених і промислово розвинених містах України.

Україна планує стати кліматично нейтральною до 2060 р., а отже, сектор транспорту приверне ще більше уваги. Хоча цей сектор і не може стати

повністю кліматично нейтральним, бо не поглинає викиди, а лише продукує їх, у нього є великий потенціал до скорочення викидів. Для цього потрібне відповідне законодавче підкріплення та державні цілі.

Уряд України заявив про підтримку Європейської зеленої угоди та задекларував наміри рухатися на зменшення викидів, зокрема, і від транспорту. Одним із головних напрямків цього руху є цифровізація транспортних послуг, яка має сприяти зниженню викидів від транспорту. Необхідно також пропонувати і започатковувати дослідження та інновації у сфері зв'язності та автоматизованості транспорту, особливо мультимодального руху.

Судноплавство поєднує світ, постачаючи товари, необхідні суспільству. Незважаючи на те, що це робиться з найнижчим слідом вуглецю серед усіх видів транспорту на тонну перевезених вантажів, судноплавство, як і раніше, викидає значну кількість парникових газів.

Морські перевезення знаходяться серед лідерів у світі із забруднення навколишнього середовища та шкідливих викидів. Морський транспорт викидає близько 940 млн. т вуглекислого газу (CO₂) на рік – близько 2,5% річного загальносвітового обсягу викидів парникових газів і, згідно з галузевими оцінками, до 2050 р. ці викиди зростуть на 50-250 відсотків, якщо не буде вжито заходів.

Флот з нульовим рівнем викидів є комерційно життєздатним лише в тому випадку, якщо джерела енергії з нульовим рівнем викидів можуть конкурувати з традиційними видами палива. Необхідна нова політика, що регулює та стимулює судовласників, операторів та постачальників палива у напрямі, що стимулює інвестиції у нові види палива та технології для забезпечення флоту з нульовим рівнем викидів.

З метою обмеження викидів держави – члени Міжнародної морської організації (ІМО), спеціалізованої організації ООН, що відповідає за регулювання у судноплавній галузі, ухвалили початкову стратегію щодо скорочення викидів парникових газів (рис. 1).

Основні етапи стратегії щодо скорочення викидів парникових газів				
2018	2020	2023	2030	2050
ІМО приймає початкову стратегію щодо скорочення викидів парникових газів	Мандат на паливе з низьким вмістом сірки	Крайній термін короткострокової декарбонізації	Середньостроковий термін декарбонізації	Термін довгострокового річного скорочення викидів парникових газів

Рис. 1. Основні етапи на шляху до морських контейнерних перевезень з нульовим рівнем викидів (Джерело: IHS Markit [9])

У резолюції ІМО названо дві основні цілі щодо скорочення викидів парникових газів судноплавними компаніями.

Перша – це підвищення загальної ефективності парку суден на 40% до 2030 р.

Друга мета – скорочення до 2050 р. загального річного обсягу викидів як мінімум на 50% від рівня 2008 р., зі скороченням викидів до нуля або майже до нуля після 2050 р.

Проблеми розвитку альтернативних видів палива для судноплавства. Використання палив зі знизеним вуглецевим слідом при його виробництві та використанні є ключовим напрямом для зниження викидів парникових газів при судноплавстві.

Як альтернативне паливо для судноплавства в довгостроковій перспективі розглядаються: скраплений природний газ (СПГ); аміак; водень; зріджені вуглеводневі гази (ЗВГ); метанол; електрика.

Для проектів, що охоплюють виробництво палива, більшість зосереджена на зеленому водні (який виробляється з використанням відновлюваної енергії для розщеплення води на водень і кисень за допомогою електролізу). Проекти, які мають прямий зв'язок з воднем, склали більшість визначених проектів з виробництва палива (рис. 2).

Характеристики альтернативних мазуту палив з низьким вмістом сірки (LSFO) впливають на конструкцію судна, зокрема – на розмір паливних баків, а отже, на обсяг вантажів, що перевозяться, і на вартість самого судна. Так, наприклад, через низьку об'ємну щільність енергії водню, щоб заправити судно, паливні баки повинні бути в 2,5 рази більших паливних баків, ніж для заправки LSFO на одиницю енергії.

Для використання СПГ або ЗВГ баки повинні бути майже вдвічі більшими; аміак вимагає в 3,6 рази більший обсяг паливного бака, ніж LSFO, через його нижчу теплотворну здатність, тоді як для заправки зрідженим воднем потрібно обсяг паливного бака в 4,6 рази більший ніж для

LSFO, оскільки його теплотворна здатність нижче LSFO більш ніж у 10 разів.

Ця особливість вимагає або технічних або операційних змін. Якщо судновласники не хочуть радикально змінювати конструкцію судна, а саме – збільшувати паливні баки, то для забезпечення судноплавства на альтернативних LSFO паливах, особливо на низьковуглецевих, типу водню або аміаку, потрібно будівництво додаткової заправної інфраструктури на маршрутах суден.

При цьому переваги низьковуглецевого палива при їх використанні судами очевидні. Так, використання аміаку дозволять знизити викиди майже на 95% порівняно з LSFO (невеликий внесок у викиди CO₂ пов'язаний із системою упрорскування олії), а водню – на 100%; серед вуглеводневих палив СПГ демонструє найкращі результати та дозволяє знизити емісію CO₂ від бака до коліс на 75%. Якщо не вживаються дії щодо декарбонізації виробництва альтернативних LSFO палив, то СПГ є найбільш прийнятним паливом. Інші сірі палива значно перевищують викиди CO₂ як від СПГ, і від LSFO. При використанні блакитного палива, найкращою альтернативою з точки зору викидів CO₂ є блакитний водень, викиди від його використання майже в 3,8 рази нижчі, ніж при використанні LSFO. За ним слідує аміак, викиди від його використання нижче в 2 рази. Викиди від блакитного метанолу у 1,3 рази нижчі. У разі використання зеленого палива, LSFO програє всім альтернативам у вигляді аміаку, метанолу та водню.

Разом з тим, економіка цієї проблеми значно обмежує розвиток альтернативних палив. Так, за даними Det Norske Veritas (DNV), вартість СПГ знаходиться в діапазоні від 50 до 190 дол./МВт. Вартість сірого водню становитиме від 70 до 450 дол./МВт, зеленого (найдорожче паливо на даний момент) – від 120 до 600 дол./МВт., а вартість аміаку коливатиметься в діапазоні від 70 до 250 дол./МВт для сірого та від 150 до 380 дол./МВт – для зеленого. Для порівняння: вартість для нафтозаснованого палива ЗВГ та LSFO знаходиться в діапазоні від 30 до 100 дол./МВт. Вартість будівництва бункерувальної інфраструктури для мазуту також дешевша, ніж для більшості альтернативних палив.

Суднові компанії роблять кроки з вивчення різних видів безвуглецевого пального. Так, компанія Maersk, найбільший у світі споживач бункерного палива за підсумками 2020 р.,

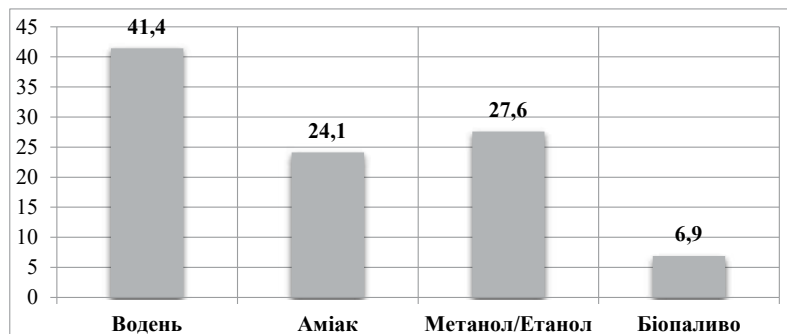


Рис. 2. Частка проектів, що охоплюють виробництво альтернативних видів палива для судноплавства, %

нещодавно замовила дев'ять контейнеровозів, які у майбутньому можуть працювати на зеленому метанолі. Проте, за підрахунками Maersk, для забезпечення цих дев'яти суден паливом потрібно 350 тис. т/рік зеленого метанолу. Для порівняння, світове виробництво зеленого метанолу в даний час становитиме лише 30 тис. т [3, 4].

Напрями інвестицій для декарбонізації судноплавства. Вже зараз реалізуються численні проекти, які рухають галузь вперед до майбутнього з нульовими викидами. Найбільш представлений регіональний напрямок розробки проектів – північноєвропейський. Найбільш представленими азіатськими країнами з проектами є Японія, Південна Корея та Китай.

Японська транспортна компанія Kawasaki Kisen Kaisha (K-Line) зробила новий крок щодо впровадження енергії вітру у вантажному судноплаванні. Вітряні двигуни є надійним, життєздатним і все більш привабливим рішенням, особливо в умовах, коли ціни на паливо зростають, а дорожчі альтернативні види палива стануть комерційно доступними протягом наступного десятиліття.

На зустрічі цільової групи ІМО під назвою Глобальний промисловий альянс (GIA) з підтримки низьковуглецевого судноплавства було прийнято рішення про розширення сфери дії цієї ініціативи – від скорочення викидів CO₂ та пошуку та досліджень альтернативних видів палива до впровадження інтерфейсу судно-порт. Новий робочий процес, що впроваджується GIA, допоможе портам знизити викиди парникових газів із суден за допомогою низки заходів, таких як безпечне та ефективно бункерування альтернативних низьковуглецевих видів палива та ін. Нові ініціативи стануть продовженням вже виконуваних робіт GIA щодо контролю своєчасного прибуття вантажних суден у порт. Контейнеровози прибувають у порт призначення, коли порт готовий їх прийняти, таким чином, скорочується час очікування суден поза порту і цим знижується рівень енерговитрат і шкідливих викидів суден у зоні порту.

В рамках іншої ініціативи боротьби зі зміною клімату шість данських компаній – Copenhagen Airports, A.P. Moller-Maersk, DSV Panalpina, DFDS,

SAS та Orsted створили партнерство для запуску підприємства з виробництва екологічно чистого палива для автомобільного, морського та повітряного транспорту в Копенгагені. У 2023 р. планується запустити новий завод з виробництва водневого палива та біопалива. Коли завод вийде на повну потужність у 2030 р., він зможе постачати понад 250 тис. т екологічно чистого палива для автобусів, вантажного транспорту, морських суден та літаків щороку, що дозволить скоротити щорічні викиди CO₂ на 850 тис. т.

Представники морського, енергетичного, інфраструктурного та фінансового секторів у 2019 р. сформували нову коаліцію Getting to Zero, метою якої є створити до 2030 р. судно з нульовим викидом вуглецю.

Для досягнення мети скорочення викидів удвічі до 2050 р. судна з нульовими викидами потрібно ввести до складу світового флоту до 2030 р. Члени групи мають намір до 2040 р. використовувати для перевезення своїх товарів виключно судна, що працюють на безвуглецевих видах палива.

Так само інфраструктура, пов'язана з ланцюжками постачання палива, може мати тривалий економічний термін служби до 50 років, а переналадування на нові види палива може бути тривалим процесом.

Як наслідок, до 2030 р. необхідно мати технічно здійсненні, комерційно життєздатні та безпечні судна з нульовим рівнем викидів, а також чіткий шлях для забезпечення великої кількості джерел енергії з нульовим викидом вуглецю, необхідних для дозволу швидко освоїти ZEV (судна з нульовим рівнем викидів) у наступні десятиліття.

Декарбонізація судноплавства допоможе стимулювати інвестиції у великомасштабні енергетичні проекти і в порти країн, що мають доступ до відновлюваних джерел енергії, які можуть бути перетворені на паливо з нульовим викидом CO₂,

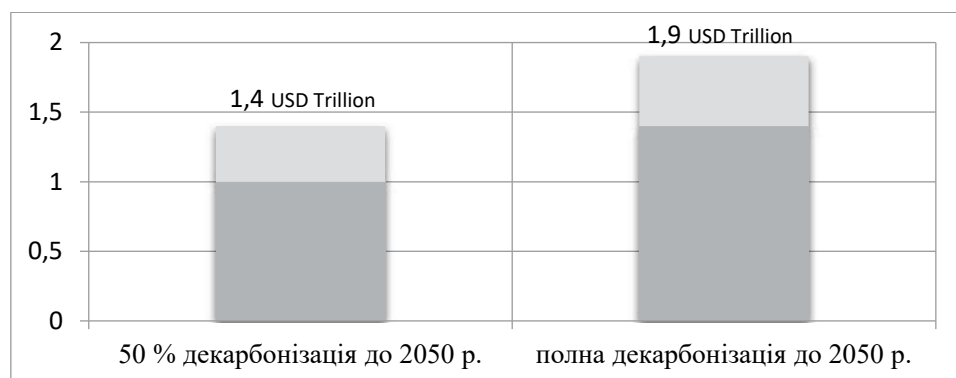


Рис. 3. Загальний обсяг інвестицій, необхідних для досягнення цілей декарбонізації ІМО до 2050 р.

в енергетику морських перевезень, а також до інших сфер.

У дослідженні, виконаному коаліції Getting to Zero, зазначається, що найбільша частка необхідних інвестицій (близько 87%) має припадати на наземну інфраструктуру та виробництво низьковуглецевого палива. Лише 13% необхідних інвестицій пов'язані із модернізацією суден (рис. 3).

Для повної декарбонізації судноплавства до 2050 р. будуть потрібні додаткові інвестиції у розмірі близько 400 млрд. доларів США протягом 20 років, внаслідок чого загальна сума становитиме 1,4–1,9 трільйона доларів США [3].

Ініціативи щодо перетворення морських портів на «розумні» та «зелені». Морські порти вважаються одним з основних двигунів світової економіки та є ключовим елементом транспортної, судноплавної, туристичної та рибальської галузей. Однак зростання активності в морських портах вплинули на навколишнє середовище, включаючи високі викиди вуглецю, шум в результаті діяльності в морських портах, високе споживання енергії і серйозний вплив на здоров'я населення прибережних міст поблизу морських портів.

Через завантаженість суден комерційною діяльністю та операцій з підйому та розвантаження контейнерів, а також місцевої присутності рибних підприємств морські порти та навколишні міста стали вуглецевими і зазнали значних рівнів забруднення. Найбільш забрудненими містами світу є всі прибережні міста. Це посилюється тим, що 70% викидів із суден у всьому світі відбувається в межах 400 км. від прибережних районів. Виробнича діяльність у морських портах становить близько 3% від загального обсягу викидів вуглецю у всьому світі.

Багато морських портів стикаються зі зростаючим тиском зменшення свого вуглецевого сліду при одночасному підвищенні енергоефективності і глобальної конкурентоспроможності. Така ситуація спонукала низку ініціатив щодо декарбонізації

їх енергетичних систем та перетворення морських портів на «розумні» та «зелені».

На думку фахівців, на навколишнє середовище прямо і опосередковано впливають три основні фактори: споживання викопного палива, високе енергоспоживання енергосистем та відсутність професійного управління ресурсами у морських портах.

Ключовими факторами, що сприяють декарбонізації морських портів, є використання поновлюваних ресурсів, оптимізація витрат, впровадження інтелектуальних технологій, встановлення правил та положень щодо екологізації морських портів.

Існуючі дослідження у цьому напрямі використовують останні досягнення в галузі цифрових технологій і зосереджені на одній або кількох з тем зазначених на рис.4.

Подальші дослідження, на думку фахівців, торкнуться підходу до управління енергоспоживанням морських портів на основі всього життєвого циклу, семантичне моделювання, прогнозування та оптимізація енергетичних систем морських портів, безпечні та надійні енергетичні послуги морських портів, а також перехід до енергетичних спільнот морських портів, орієнтованих на споживачів.

Важливу роль відіграють оптимальні інвестиції у сучасні технології, що скорочують викиди вуглецю, такі як системи відновлюваної енергії, інтелектуальні пристрої обліку та інші сучасні технології. Повинні бути передбачені стимули та ініціативи, щоб переконати інвесторів у доцільності інвестування у сучасні морські порти [8].

Висновки. Морський транспорт стикається з посилення вимог декарбонізації і роботи на більш стійкій основі. У судноплавстві очікуються зміни паливного балансу, використання нових технологій та конструкцій суден, альтернативні види палива та нові методи роботи для скорочення викидів вуглецю та екологічного сліду. Судноплавство є не лише великим споживачем енергоносіїв, а також їх великим перевізником, тому галузі доведеться

Напрями глобальних зусиль з декарбонізації морських портів					
1	2	3	4	5	6
Скорочення викидів вуглецю	Використання відновлюваних джерел енергії	Оптимізація витрат	Впровадження інтелектуальних технологій управління	Регуляторний ландшафт для озеленення морських портів	Керівні принципи передової практики для «розумних» зелених морських портів

Рис. 4. Напрями глобальних зусиль з декарбонізації морських портів

реагувати на зниження затребуваності нафтових танкерів та суден-вугільників та збільшення попиту на судна, що перевозять водень, аміак та інші альтернативні види палива [10].

Велика кількість досліджень та конкретних дій вже спрямовані на розвиток існуючих технологій

та концепцій, які сприяють декарбонізації морських портів.

Україні необхідно рішуче сприяти розвитку вантажного транспорту з нульовими викидами та брати активну участь у світових заходах у цьому напрямку.

Список літератури:

1. Remarks to the Second Global Sustainable Transport Conference. UN Headquarters, 14 October 2021. URL: <http://www.un.org/sg/en/node/260099> (дата звернення 17.07.22).
2. Всесвітній банк. URL: <https://www.worldbank.org/uk/country/ukraine> (дата звернення 17.07.22).
3. Global Maritime Forum. Getting to Zero Coalition. URL: <https://www.globalmaritimeforum.org/getting-to-zero-coalition> (дата звернення 18.07.22).
4. Comparison of Alternative Marine Fuels. Report DNV GL 2019. URL: https://sea-lng.org/wp-content/uploads/2020/04/Alternative-Marine-Fuels-Study_final_report_25.09.19.pdf (дата звернення 20.07.22).
5. Солопун Н.М. «Зелені» інвестиції як приклад соціально-перетворювального впливу у функціонуванні автомобільного транспорту. *Проблеми і перспективи розвитку підприємництва*. 2019. №23. С. 201-209.
6. Агеєва Г. М. Декарбонізація діяльності аеропортів. *Проблеми розвитку міського середовища*. 2019. Вип. 1. С.16-32.
7. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю. Декарбонізація морської галузі: глобальні ініціативи і локальні дії. Матеріали III Міжнародної науково-практичної морської конференції кафедри СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету МРР&О-2021. Квітень 2021. Одеса, Україна. С.522-524.
8. A. Alzahrani, Ioan Petri, Ya.Rezgui A. Ghoroghi. Decarbonisation of seaports: A review and directions for future research. *Energy Strategy Reviews*. 2021. Vol. 38 (100727). Pp. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100727>
9. IHS Markit. URL: <https://ihsmarkit.com> (дата звернення 18.08.22).
10. Review of Maritime Transport 2021 – UNCTAD. Geneva. URL: https://unctad.org/system/files/official-document/osg2020d1_en.pdf. (дата звернення 20.08.22).

Reshetkov D.M., Pavlova N.L. GLOBAL INITIATIVES FOR DECARBONIZATION OF MARITIME TRANSPORT

Transport is of fundamental importance for the implementation of the Paris Agreement and the Sustainable Development Agenda for the period until 2030. According to the World Bank, the transport sector in Ukraine accounts for 40% of air pollutants. Air pollution exceeds national air quality standards in the most populated and industrialized cities of Ukraine. Along with this, transport accounts for more than a quarter of global greenhouse gas emissions. According to the Cadastre of Greenhouse Gas Emissions of Ukraine, 12% of greenhouse gas emissions in the country are carried out by transport. In particular, maritime transport emits about 940 million tons of carbon dioxide per year – about 2.5% of the annual global volume of greenhouse gas emissions and, according to industry estimates, these emissions will continue to rise unless action is taken. The same negative trend is observed in the entire economic sector. Increasing seaport activity has had environmental impacts, including high carbon emissions, noise from seaport activities, high energy consumption, and serious health impacts in coastal cities near seaports. Due to the busyness of ships with commercial activities and container lifting and unloading operations, as well as the local presence of fishing enterprises, seaports and surrounding cities have become carbon intensive and have experienced significant levels of pollution. In this regard, the entire maritime transport sector and its sub-sectors should show more initiative in order to get closer to world achievements in this field. In this article the main tasks for reducing greenhouse gas emissions by shipping companies are analyzed. Problems of development of alternative fuels for ships are noted. The directions of investments in large-scale energy projects and in the ports of the countries for decarbonization of shipping are described. The need for Ukraine to join the initiatives in this area is indicated.

Key words: maritime transport, decarbonization of transport, alternative fuels, zero-emission vessels, maritime energy.

Торопов Б.І.

Державний університет інфраструктури та технологій

Стрелко О.Г.

Державний університет інфраструктури та технологій

Грушевська Т.М.

Державний університет інфраструктури та технологій

Болвановська Т.В.

Український державний університет науки і технологій

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМНОГО ПІДХОДУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОСНАЩЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СТАНЦІЙ

У статті досліджено технології та оснащення технічних станцій із використанням системного підходу. В результаті системного аналізу виявлені «вузькі» місця і причини їх виникнення, що є підставою для розроблення заходів щодо удосконалення технології і технічного оснащення станції з метою покращення техніко-економічних показників її роботи. Досліджено комплекс технологічних операцій з вагонами, складами і поїздами. В залежності від характеру і послідовності цих операцій в парках сортувальних станцій виділено взаємозалежні фази переробки вагонопотоків: в парку прийому дві фази – підготовка складів до розпуску, розформування їх на сортувальній гірці; в сортувальному парку дві фази – накопичення вагонів на склади, формування і перестановка складів в парк відправлення; в парку відправлення три фази – підготовка складів до відправлення, забезпечення готових складів локомотивами і локомотивними бригадами, відправлення поїздів на вихідні дільниці.

В процесі дослідження роботи станцій встановлено, що найбільш часто необхідні заходи щодо покращення показників роботи сортувальних гірок і витяжних колій для формування складів, скорочення часу простоїв складів під обробкою та в очікуванні забезпечення їх поїзними локомотивами та локомотивними бригадами.

В залежності від місцевих умов досліджених станцій розглядалося і оцінювалося створення належного технологічного резерву поїзних локомотивів і локомотивних бригад на станції. По відношенню до такої багатофазної моделі процесу переробки вагонів на сортувальній станції дослідженням встановлені якісні показники роботи станцій: час знаходження вагонів в парках з розчленуванням по елементах, тривалості простою вагонів, затриманих з причин не прийому поїздів, експлуатаційної надійності станції та ін.

Ключові слова: залізничні станції, технологія роботи станцій, показники роботи, системний аналіз, системний підхід, хронометраж станційних процесів, вагон, склад, сортувальна гірка, парк.

Постановка проблеми. Сучасний транспортний ринок, як за кордоном так і в Україні, характеризується жорсткою конкуренцією між залізничним та іншими видами транспорту. За таких умов для залізничного транспорту актуальності набуває необхідність зниження собівартості перевезень на всіх етапах технологічного процесу. Як свідчить аналіз статистичних даних за останній період величина обороту вантажного вагону зросла в двічі, і така негативна тенденція, за оцінками фахівців, в найближчу перспективу не буде зупинена. В структурі обороту вагону на час знаходження на технічних станціях припадає приблизно 43% [1, с. 16].

Для забезпечення надійної і ритмічної роботи на станціях повинен бути достатній резерв пропускної і переробної спроможностей для «згладжування» пікових навантажень. З іншої сторони необхідно максимально зменшити витрати станцій, які пов'язані з утриманням «надлишкової» інфраструктури. Таким чином, виникає складна оптимізаційна задача щодо узгодження параметрів роботи станцій до раціонального економічного і технологічного рівнів. Вирішення такої задачі можливе за умови отримання необхідних вихідних даних відповідної кількості і якості, що в свою чергу може бути реалізовано в разі застосування системного підходу при дослідженні технології та оснащення станцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В умовах суттєвих змін політичного, економічного, соціального характеру та здійснення структурного реформування залізничної галузі, що відбувалося в останні роки на Україні і продовжує відбуватися на даний момент, актуального значення набуває необхідність вдосконалення структури управління, технічного й технологічного оснащення всіх складових залізничної транспортної системи, в тому числі таких вагомих та значимих елементів, як технічні залізничні станції.

Залізничні станції здійснюють пропуск, переробку вагонопотоків. Від їх організації роботи залежить час знаходження на них вагонів, а відтак і терміни доставки вантажів, техніко-економічні показники роботи як самої (конкретної) станції, так і напрямку та мережі в цілому.

У зв'язку з цим, важливого значення набуває необхідність дослідження комплексних показників експлуатаційної роботи технічних станцій, результати якого дозволять прийняти обґрунтовані управлінські рішення щодо організації експлуатаційної роботи станції, що в свою чергу, призведе до підвищення рівня взаємодії станцій в залізничних вузлах та станцій з під'їзними коліями. Суттєвим результатом буде час знаходження вагонів на станції, підвищення рівня технологічної взаємодії станцій у залізничних вузлах та станцій з під'їзними коліями, що в підсумку буде важливим фактором підвищення економічної ефективності як конкретної станції так і інших станцій залізничного вузла та матиме позитивний вплив на економічні показники роботи підприємств під'їзних колій, які пов'язані з роботою вагонів.

Теоретичними питаннями системного підходу щодо використання його для залізничної галузі займався Орловський П.М., вплив різних факторів на техніко-економічні показники роботи станцій та їх математичне моделювання досліджували вітчизняні вчені, а саме: Альошинський, В.І. Бобровський, Березовий М. І., Бессоненко С. А., Берестов І. В., Бобровський В. І., Божко М. П., Бутько Т. В., Жуковицький І. В. Козаченко Д.М., Муха Ю.О., Нагорний Є.В, Мироненко В.К., Яновський П.О. та багато інших науковців та фахівців в галузі проектування залізничних станцій.

У роботі [2, с. 145] авторами розглянуто варіанти удосконалення роботи сортувальних станцій шляхом впровадження інформаційно-керуючих та автоматизованих систем. Запропоновані нові ідеї щодо вирішення цього питання. У статті [3, с. 90] автори запропонували підвищення безпеки технологічного процесу розпуску вагонів на сортуваль-

ній гірці шляхом оцінки ризиків роботи регулювальників швидкості руху вагонів та визначення першочергових заходів з їх мінімізації. Ризики, що виникають в процесі розпуску составів можуть призводити до залізнично-транспортних пригод з серйозними наслідками.

Залізничні станції є багатофазними багатоканальними системами масового обслуговування. Оцінка їх техніко-технологічних показників є досить складним завданням і зазвичай здійснюється за допомогою аналітичних, графічних та імітаційних моделей. Аналітичні моделі дозволяють використовувати прямі методи оптимізації, проте відрізняються низькою точністю, математичний апарат теорії масового обслуговування не може адекватно описати реальні транспортні потоки та структуру обслуговуючих пристроїв [4, с. 22].

Для реалізації на практиці заходів щодо покращення техніко-економічних показників роботи станції вони повинні бути встановлені і розраховані в той чи інший спосіб, а передувати даному процесу повинно бути системне дослідження технології та оснащення тієї чи іншої станції.

Певний науковий інтерес являють собою праці учених [5, с. 151], які пропонують підвищити рівень захищеності залізниць за рахунок впровадження системи управління ризиками.

Результати досліджень [6, с. 68] вказують на необхідність проведення аналізу технічного оснащення залізничної інфраструктури, що впливає на проблеми, які пов'язані з просуванням вагонопотоків.

Формулювання цілей статті. Метою статті є розгляд деяких положень аналізу завантаження технічних засобів і якісних показників роботи технічних станцій задля прийняття на його основі зважених і обґрунтованих, а відтак і ефективних управлінських рішень, що буде запорукою підвищення продуктивності, безпеки та привабливості праці.

Дієвим інструментом для виконання поставленого завдання може бути системний аналіз, який являє собою процес, за допомогою якого дослідник вивчає систему таким чином, щоб інформаційна складова системи могла бути проаналізована, змодельована та обрана логічна альтернатива розвитку. Проекти системного аналізу ініціюються за трьома аспектами: проблеми, можливості та директиви [7].

Тому встановлення відповідності технічного оснащення проектним технологічним, економічним, екологічним параметрам роботи залізничних станцій є актуальним науковим завданням, що має важливе прикладне значення.

Виклад основного матеріалу дослідження. Одним із суттєвих елементів системного дослідження технології та оснащення станцій є аналіз завантаження технічних засобів і якісних показників її роботи. При оцінці якісних показників здійснюється їх порівняння з проектними (базовими, еталонними) для подальшого визначення як напрямів дослідження, так і видів, обсягів виконуваних робіт технічного і технологічного напрямків.

Для виявлення складнощів в роботі станції необхідно досконально дослідити завантаження її технічних пристроїв і елементів, які задіяні в міжопераційних простоях вагонів [8]. З метою встановлення загальних закономірностей в структурі завантаження станційних пристроїв і простоїв вагонів на важливих сортувальних станціях обстежено роботу сортувальних гірок, маневрових локомотивів та інших технічних засобів. На основі чого, шляхом хронометражних спостережень, встановлені складові простоїв вагонів.

Станції, які були обстежені, відрізняються числом сортувальних комплектів і взаємним розташуванням парків. В системах з послідовним розташуванням парків на сортувальних гірках експлуатуються, як правило, по дві колії насуву і дві колії розпуску вагонів, в сортувальних парках існує дві-чотири витяжні колії для формування составів. В кожній із систем, в залежності від

обсягів виконуваної роботи на сортувальних гірках і витяжних коліях, працювали по три-чотири маневрових локомотиви. Маневрові локомотиви, які задіяні в операції завершення формування і перестановки составів, на час проведення хронометражу, за витяжними коліями, як правило, не закріплювалися.

На основі хронометражних обстежень роботи сортувальних гірок, гіркових локомотивів і маневрових локомотивів сортувальних парків встановлені фактичні витрати часу на виконання технологічних операцій, протяжність перерв в роботі локомотивів та їх причини. Обсяг проведеного хронометражу становить приблизно 100 сформованих і розформованих составів в кожній сортувальній системі.

Дані щодо тривалості і питомого значення операцій, перерв в роботі на найбільш характерних сортувальних гірках наведені в таблиці 1.

Завантаження сортувальних гірок основними операціями з розформування-формування составів становить 75-85%, з урахуванням додаткових операцій – 85-94%, а з врахуванням вимушених простоїв – більше 97%.

На сортувальних гірках, які досліджувалися, середній час розпуску составів становив від 8 до 13 хвилин, відповідно на 20 і 80% станцій. При цьому реалізовувалися наступні швидкості роз-

Таблиця 1

Тривалість і питома значення операцій, перерв в роботі на найбільш характерних сортувальних гірках

Найменування операцій і перерв	Тривалість (чисельник, хв) та питома вага (знаменник, %) на 1 розформований состав по станціях			
	Станція 1	Станція 2	Станція 3	Станція 4
Заїзд локомотива за составом	0,09/0,7	–	3,44*/17,1	0,36/1,5
Насув, не суміщений з розпуском	2,00/15,9	1,77/12,1	2,13/10,6	3,18/13,6
Розпуск составу	7,94/63,1	8,51/58,1	9,26/46,0	13,18/55,9
В тому числі зупинки з причин нерозчепів, осаджування розрядних та ін.	0,22/1,7	1,02/7,0	0,61/3,0	1,53/6,4
Осаджування вагонів	0,21/1,7/	0,68/4,6	2,39/11,9	1,27/5,4
Всього на операції розформування	10,24/81,4	10,96/74,8	17,22/85,6	17,99/76,3
Повторний розпуск вагонів	0,52/4,1	0,42/2,8	0,76/3,8	1,46/6,2
Інші операції (формування збірних, підбір вагонів на вантажний район, подача вагонів з вагонного депо та інші операції)	0,60/4,8	1,07/7,4	1,00/5,0	2,15/9,1
Всього з урахуванням додаткових операцій	11,36/90,3	12,45/85,0	18,98/94,4	21,60/91,6
Технологічне «вікно» і зміна локомотивних бригад	0,02/0,1	0,76/5,2	0,38/1,9	0,58/2,4
Зайнятість сортувальних колій	0,39/3,1	0,55/3,8	0,52/2,6	0,47/2,0
Зайнятість передгіркових горловин прийомом «розборок», пропуском поїзних локомотивів	0,44/3,5	0,46/3,1	-	0,84/3,7
Неготовність составу до розпуску, відсутність «розборок»	0,37/3,0	0,43/2,9	0,22/1,1	0,10/0,8
Всього	12,58/100	14,65/100	20,10/100	23,59/100

*Включаючи витягування на витяжну колію.

пуску з урахуванням зупинок з різних причин: на станції 1 – 5,4 км/год (в складі в середньому налічувалося 51 вагон), на станціях 2, 3, 4 – відповідно 5,1 км/год (51 вагон), 4,8 км/год (53 вагони) і 4,0 км/год (63 вагони). Середня кількість вагонів у відчепках на станції 4 становило 2,4 вагони, на інших – від 2-х до 7-ми вагонів. Порівняно низька швидкість розпуску пояснюється наступним:

- профіль сортувальних колій не виправлений;
- не відповідає «ГБН В.2.3-37472062-1:2012

Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування»;

- на більшості станцій паркова гальмівна позиція немеханізована.

Значна частка робочого періоду гірки припадає на насув, який не суміщений з розпуском (12-16%). Суттєвий вплив на роботу гірки має зайнятість сортувальних колій, звільнення яких очікують сформовані склади, а також, виникаюче внаслідок цього, повторне сортування вагонів (втрати становлять 7-8% робочого часу). Вплив на роботу сортувальної гірки є ще більшим.

За результатами обстеження встановлено витрати локомотиво-хвилин на розформування одного складу за умови різної організації роботи гіркових локомотивів. При виконанні операцій з розформування, осаджування одними і тими ж локомотивами, витрати на розформування одного складу становлять 30-32 локомотиво-хвилини, а з врахуванням зміни локомотивних бригад і простоїв на «ворожих» маршрутах – приблизно 42 локомотиво-хвилини.

Приблизно половину робочого періоду маневрові локомотиви простоюють внаслідок наявності «ворожих» маршрутів, в очікуванні дозволу на насув та ін.

При спеціалізації локомотивів тільки для насуву і розпуску витрати на розформування одного складу з урахуванням зміни локомотивних бригад й простоїв з причин наявності «ворожих» маршрутів зменшується до 25-27 локомотиво-хвилин. Але в даному випадку недостатньо ефективно використовуються локомотиви, які зайняті тільки осаджуванням вагонів. На осаджування і повторний розпуск ними витрачається на один розформований склад в середньому 11-13 хвилин. Було встановлено, що на операції заїзду і осаджування фактична витрата часу становила на 2-3 хвилини більше, ніж це передбачалося технологічними нормативами.

Сумарні витрати часу на операції закінчення формування, перестановку складів, повернення маневрового локомотиву після перестановки, які

віднесені на один сформований склад, складають 23-30 локомотиво-хвилин, а на додаткові операції і технологічні простої – 13-15 локомотиво-хвилин. Їх питома вага в загальних витратах складає відповідно 43-56% і 22-36%. На всіх станціях досить значні простої з причини наявності «ворожих» маршрутів і в очікуванні звільнення колій в парку відпралення – 6-9 локомотиво-хвилин (10-20% загальних витрат) на один сформований склад.

Проведений аналіз показує, що на обстежених станціях в структурі завантаження сортувальних гірок і маневрових локомотивів значну питому вагу складають додаткові операції та вимушені технологічні простої. Але в технологічних процесах роботи станцій ці особливості, зазвичай, не враховуються. Фактична протяжність виконуваних операцій і рівні завантаження технічних засобів перевищують встановлені нормативи.

На всіх станціях обстеження протяжність безпосередньої обробки документів в технічній конторі по прибуттю і відправленню не перевищувала технологічні нормативи. Відсутність пневматичної пошти великого діаметру на момент обстеження (в даному випадку на станції 3) призводило до затримок доставки документів. В результаті, на станції 3, наприклад, в період обстеження (4 зміни) в 93% випадків обробка документів на поїзди, склади яких підлягали розформуванню, завершувалася пізніше обробки самих складів в парку прийому.

Кількість, склад і спеціалізація бригад ПТО вагонів в парках станцій залежить від обсягів виконуваної роботи, схеми колійного розвитку станції та інших особливостей. Фактичний час обробки частини складу окремою групою бригади практично не перевищував норми (табл. 2), які встановлені для кожної станції технологічним процесом її роботи (в парку прийому – 15 хвилин, в парку відправлення – 20 хвилин). Але внаслідок того, що групи закінчують обробку своїх частин неодноразово, то протяжність обробки складу бригадою в цілому суттєво збільшується.

В технологічних процесах роботи сортувальних станцій час технічного обслуговування одного складу бригадою ПТО встановлюється без врахування обсягів роботи бригад. В результаті, обсяги роботи, які виконуються однією бригадою, на різних станціях виходять різні. В умовах нерівномірності прибуття поїздів і накопичення складів такий стан призводить до суттєвої відмінності величин міжопераційних простоїв вагонів на станціях.

Однією з визначальних умов стійкої роботи технічних станцій є своєчасне забезпечення

Фактичний час обробки частини складу окремою групою бригади

Станція і парк	Кількість		Час обробки, хв.		Коефіцієнти завантаження бригади
	бригад	груп в бригаді	частини складу групою	складу бригадою в цілому	
1, парк прийому	1	3	11	12,7	0,79
2, парк прийому	2	3	13,8	19,4	0,62
1, транзитний парк	1	2	21,9	24,8	0,52
2, парк відправлення 1	1	3	16,3	22,5	0,60
2, парк відправлення 2	2	3	16,7	23,3	0,62
4, транзитний парк	1	3	14,8	18,4	0,77
4, парк відправлення	2	3	18,5	25,8	0,81

готових складів локомотивами і локомотивними бригадами. За такої умови швидше звільняються колії відправлення, менше виникає складнощів при перестановці складів із сортувального парку, ефективніше працює гірка. На всіх станціях, на яких здійснювалося обстеження, відмічалися ускладнення з вивозом готових складів поїздів. Основні з них полягають в наступному:

- погіршення технічного стану локомотивів, особливо тепловозів;
- несвоєчасне оперативне регулювання локомотивами і локомотивними бригадами з причини недостовірності прогнозів підходу поїздів й готовності складів;
- відсутність належного технологічного резерву локомотивів і бригад на станціях.

Надійність забезпечення готових складів поїзнями локомотивами і локомотивними бригадами на кожній станції може бути оцінено часткою складів, які не простоювали в очікуванні видачі локомотивів, або явкою локомотивних бригад (табл. 3).

Таблиця 3

Оцінка надійності забезпечення готових складів поїзнями локомотивами і локомотивними бригадами

Станція і парк	Надійність
2, парк відправлення 1	0,49
2, парк відправлення 2 (частина транзитних поїздів пропускається тільки зі зміною локомотивних бригад).	0,81
В середньому по станції 2	0,67
3, парк відправлення	0,43
4, парк відправлення 1	0,61
4, транзитний парк	0,82
В середньому по станції 4	0,68
В середньому по інших станціях	0,44

З вищенаведеного видно, що лише в окремих парках, надійність забезпечення готових складів

локомотивами і бригадами трохи більше 0,8, а на деяких станціях вона менше 0,5.

Відмінності в завантаженні сортувальних пристроїв, маневрових локомотивів, бригад ПТО вагонів, в надійності забезпечення готових складів локомотивами і локомотивними бригадами та інші причини призводять до значних відмінностей в фактичних простоях вагонів на сортувальних станціях. Під час проведення обстеження простій вагонів з переробкою на одній зі станцій становив 5,7 годин (станція 2), а на іншій станції – 14,3 години.

Існуючий порядок обліку часу знаходження транзитних вагонів на станції дає можливість встановити тільки загальний простій вагонів в парках прийому і відправлення, в процесі розформування і формування та не дозволяє здійснити детальний аналіз за всіма елементами простою.

Як показали обстеження і хронометражні заміри, елементи простою в парках залежать від характеру виконуваних операцій. Простій в парку відправлення, наприклад, можна розчленувати на очікування обробки, обробку, очікування поїзного локомотиву, пробу автоматичних гальм і очікування відправлення. Приклади розчленування простою вагонів в парках відправлення наведено в таблиці 4.

Міжопераційний простій в сортувальних парках у звітних даних, зазвичай, відносять до елемента накопичення. Цей простій (очікування закінчення формування і очікування перестановки), як показали хронометражні спостереження, на деяких станціях становить в середньому біля години, в тому числі очікування перестановки з причини зайнятості колій парку відправлення – приблизно 0,33 години.

Простій в парках прийому на станціях, які обстежувалися, змінювався від 1,1 години (станція 2) до 2,2 години на станції 4. Найбільшу

Приклади розчленування простою вагонів в парках відправлення

Елементи простою	Тривалість (чисельник, хв.) і питома вага (знаменник, %) елементів простою на станціях					
	Станція 1		Станція 2		Станція 4	
	ПВ 1	Транзитний парк	ПВ 1	ПВ 2	ПВ 1	Транзитний парк
Очікування обробки	25,4/22,8	31,5/27,1	17,2/20,6	16,8/23,8	22,3/21,5	25,4/32,1
Обробка	26,7/24,1	24,8/21,4	22,5/27,0	23,3/33,1	25,8/24,9	18,4/23,2
Очікування локомотиву (з урахуванням проби автогальм)	38,8/35,0	51,0/44,1	27,3/32,8	10,2/14,5	28,0/27,0	11,5/14,5
Очікування відправлення	20,2/18,2	8,6/7,4	16,3/19,6	20,2/28,6	27,6/26,6	24,0/30,2
Всього	111,1/100	115,9/100	83,3/100	70,5/100	103,7/100	79,3/100

питому вагу становить простій вагонів в очікуванні розформування – 50-70%. Це пояснюється значним завантаженням гірок, суттєвим впливом на їх роботу парків відправлення і сортування.

В умовах нерівномірності надходження поїздів, коливань тривалості технологічних операцій, несвоєчасного вивозу готових составів, а також з причини наявності обмежень в колійному розвитку виникають затримки поїздів на підходах до станцій (максимальне значення затримок поїздів в порівнянні з графіком руху становило 25% від загальної кількості прийнятих поїздів).

Висновки. На обстежених станціях в структурі завантаження сортувальних гірок і маневрових локомотивів значну питому вагу складають додаткові операції і вимушені технологічні простої. В технологічних процесах роботи станцій ці особливості, зазвичай, не враховуються. Фактична тривалість виконуваних операцій і рівні завантаження технічних засобів перевищують встановлені нормативи.

На всіх станціях обстеження тривалість безпосередньої обробки документів в технічній конторі по прибуттю і відправленню не перевищувала технологічні нормативи.

Аналіз показав, що причинами значних міжопераційних простоїв вагонів на станціях і затримок поїздів на підходах до них є, не тільки високе завантаження деяких технічних елементів, але

і складні взаємні зв'язки між ними та прилеглими ділянками. Розроблення і обґрунтування заходів щодо зниження простою вагонів й затримок поїздів на підходах необхідна кількісна оцінка якісних показників роботи окремих парків та станцій в цілому з врахуванням особливостей їх технологій, використання технічних засобів, обмежень в схемах колійного розвитку і взаємодії станційних процесів. Така оцінка можлива тільки при системному підході до аналізу технології і технічного оснащення станцій.

В забезпеченні стійкої роботи залізниць велике значення має технологічний процес роботи станцій, для встановлення «вузьких» місць в їх експлуатаційній діяльності та для розробки і оцінки ефективних заходів щодо їх усунення, дієвим інструментом є використання системного аналізу щодо технології і технічного оснащення станцій.

При здійсненні дослідження і прийнятті управлінського рішення щодо розвитку, реконструкції технічних станцій необхідно враховувати, що залізничні станції є складною системою та включають велику кількість взаємодіючих елементів. Визначення раціональних параметрів роботи сортувальних та дільничних залізничних станцій потребує застосування методів системного аналізу з урахуванням їх специфічних особливостей, що полягають у масштабності та багатозв'язності об'єктів дослідження.

Список літератури:

1. Вернигора Р.В., Малашкин В.В. Методика технико-эксплуатационной оценки проектных решений по совершенствованию параметров железнодорожных станций. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. 2016. Вип. 11. С. 16-25.
2. Стрелко О.Г., Бердниченко Ю.А., Петриковець О.В., Грушевська Т.М., Крулик М.В. Удосконалення технології роботи сортувальних станцій шляхом застосування єдиної інформаційної системи. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Вип. 30 (69). Ч2. № 5. 2019. С. 144-148.
3. Березовий М.І., Болжеларський Я.В., Козаченко Д.М., Боричева С.В. Оцінка ризиків на сортувальних гірках згідно Європейських підходів. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. Дніпро. Вип. 23. 2022. С. 89-96. doi: 10.15802/tstt2022/261662.

4. Козаченко Д.Н. Математическая модель для оценки технико- технологических показателей работы железнодорожных станций Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2013, вип. 3 (45) с. 22-26.

5. Болвановська Т. В., Демченко Є. Б., Дорош А. С Аналіз об'єктів критичної інфраструктури. Дніпровський національний університет залізничного транспорту. Матеріали 79 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми перспективи розвитку залізничного транспорту» ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), Україна. 2019 с.151-152.

6. Козаченко Д.М., Березовий М.І., Малашкін В.В., Мілянч А.Р. Аналіз перспектив та передумов створення в Україні операторів залізничної інфраструктури. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень. Дніпро. Вип. 20. 2020. С. 66-73. doi: <https://doi.org/10.15802/tstt2020/217408>

7. Орловский П.Н. Системный анализ (Основные понятия, принципы, методология). Навч. посібник. К.: ІЗМН, 1996. 360 с.

8. Гирба А. А., Болвановська Т. В. Аналіз потужності вагонопотоків, що формуються на технічних станціях Придніпровської залізниці. Тези 2-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств». Кострина, 2013. С. 37-38.

Toropov B.I., Strelko O.H., Hrushevska T.M., Bolvanovska T.V. APPLICATION OF SYSTEM APPROACH IN RESEARCH OF TECHNOLOGY AND EQUIPMENT OF TECHNICAL STATIONS

The article examines technologies and equipment of technical stations using a system approach. As a result of the system analysis, "bottlenecks" and their causes were identified, which is the basis for developing measures to improve the technology and technical equipment of the station in order to improve the technical and economic indicators of its operation. The complex of technological operations with wagons, trains and trains was investigated. Depending on the nature and sequence of these operations, interdependent phases of the processing of car flows are distinguished in the fleets of sorting stations: in the receiving fleet there are two phases - preparation of trains for disbanding, disbanding them on the sorting chute; in the sorting park there are two phases - the accumulation of wagons into trains, the formation and rearrangement of trains into the departure park; in the dispatch park there are three phases – preparation of trains for departure, supply of ready-made trains with locomotives and locomotive crews, dispatch of trains to output stations.

In the process of researching the operation of the stations, it was found that the most often necessary measures are to improve the performance of sorting slides and extraction tracks for the formation of trains, to reduce the idle time of trains under processing and waiting for their supply by train locomotives and locomotive crews.

Depending on the local conditions of the studied stations, the creation of an appropriate technological reserve of train locomotives and locomotive crews at the station was considered and evaluated. In relation to such a multi-phase model of the process of processing wagons at the sorting station, the study established qualitative indicators of the station's operation: the time of the wagons in the parks with a breakdown by elements, the duration of the idle time of the wagons delayed due to the reasons of not receiving trains, the operational reliability of the station, etc.

Key words: railway stations, station operation technology, performance indicators, system analysis, system approach, timing of station processes, wagon, train, sorting hill, fleet.

УДК 62-7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/50>**Фалович Н.М.**

Західноукраїнський національний університет

Верес М.В.

Західноукраїнський національний університет

Розум Р.І.

Західноукраїнський національний університет

Буряк М.В.

Західноукраїнський національний університет

Прогній П.Б.

Західноукраїнський національний університет

Шевчук О.С.

Західноукраїнський національний університет

ОГЛЯД ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА РЕМОНТУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

У статті проведено оглядовий опис основних характеристик обладнання необхідного для проведення повного комплексу діагностики та ремонту двигунів внутрішнього згорання. Необхідно відмітити, що останніми роками відмічається різке зростання кількості різновидів двигунів внутрішнього згорання, які поступають на сервісні підприємства для обслуговування та ремонту. Проблема підвищення якості процесів діагностики та ремонту двигунів завжди була актуальною. Однією із основних проблем сервісного обслуговування є оптимальний підбір необхідного технологічного обладнання, оскільки проведення ремонтних робіт вимагає використання відповідного технологічного обладнання, що володіє різним призначенням, у зв'язку з чим, потреба у спеціальному обладнанні стає все гострішою. Якість проведення ремонтних робіт, а також умови праці та продуктивність персоналу, в першу чергу, залежить від технологічного оснащення ремонтних дільниць підприємства. Сучасний стан питання охорони праці спонукає до максимального впровадження механізації та автоматизації виробничих процесів, а постійне підвищення вимог щодо рівня якості технічного обслуговування як автомобілів в цілому так і їх окремих агрегатів – використання нових технологічних процесів і обладнання, які здатні забезпечити використання прогресивних методів діагностики та ремонту. Відповідно до запитів автосервісних підприємств ринок технологічного обладнання сформував широку гаму пропозицій від універсального обладнання до спеціалізованого та спеціального, від аматорського до професійного, а також різні його цінові категорії. У зв'язку з останнім, виникає дилема як обрати найкращий варіант і не переплатити. Вибір того чи іншого обладнання для конкретного випадку впливає із мінімально необхідної його кількості, а також фінансової можливості суб'єкта господарювання.

Ключові слова: автосервісне обладнання, обладнання для діагностики та ремонту, двигуни внутрішнього згорання, підприємства технічного сервісу, ремонт двигунів, діагностика двигунів.

Постановка проблеми. Однією із основних проблем сервісного обслуговування є оптимальний підбір необхідного технологічного обладнання, оскільки проведення ремонтних робіт автомобіля в цілому чи окремих його частин вимагають використання відповідного технологічного обладнання, що володіє різним призначенням. Якість проведення ремонтних робіт, а також умови праці та продуктивність персоналу, в першу

чергу, залежить від технологічного оснащення ремонтних дільниць. Сучасний стан питання охорони праці спонукає до максимального впровадження механізації та автоматизації виробничих процесів, а постійне підвищення вимог щодо рівня якості технічного обслуговування автомобілів – використання нових технологічних процесів і обладнання, які здатні забезпечити прогресивні методи ремонту. Останніми роками відмічається

різке зростання кількості різновидів ДВЗ, які приходять на сервісні підприємства, у зв'язку з чим, потреба у спеціальному обладнанні стає все гострішою. Відповідно до запитів автосервісних підприємств ринок технологічного обладнання сформував широку гаму пропозицій від універсального обладнання до спеціалізованого та спеціального. У зв'язку з останнім, виникає дилема як обрати найкращий варіант і не переплатити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема підвищення якості діагностики та ремонту двигунів завжди була актуальною. Одним із основних елементів, що мають найбільший вплив, є технологічне обладнання та кваліфікація персоналу. Дослідники та практики, як правило, багато уваги приділяють кваліфікації майстрів і забувають про саме технологічне обладнання сервісних підприємств. Однак на якість проведення діагностики та ремонту значний вплив має також і технологічне обладнання за допомогою якого саме і проводяться дані процеси. Так, дослідниками [1] проведено аналіз чинників, які впливають на якість ремонту двигунів і встановлено, що між технологічним обладнанням, показниками стабільності та удосконаленням технології, кваліфікацією працівників повинні бути раціональні співвідношення. Оскільки, на певні технологічні операції основний вплив має технологічне обладнання, а на інші – кваліфікація. У праці [2] проведено аналіз методів діагностування автомобільних дизельних двигунів, який показав, що наявні методи діагностування доповнюють один одного, що, в свою чергу, дозволяє знайти причини різнотипних відмов. При використанні інструментальних методів разом із комп'ютерною діагностикою забезпечується усестороння комплексна оцінка роботоздатності двигуна, а це є можливим тільки у разі застосування спеціалізованого обладнання, ліцензійного програмного забезпечення та висококваліфікованих працівників, які володіють необхідним досвідом роботи.

Постановка завдання. Формування методики підбору технологічного обладнання для діагностики та обслуговування двигунів внутрішнього згорання, технічної оснащеності автосервісу і впровадження новітніх технологічних рішень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ремонт двигунів внутрішнього згорання як виробничий процес відновлення втраченої ними працездатності появився разом із їх появою. Подальший розвиток автомобілебудування зумовив і розвиток підприємств автомобільного сервісу.

У процесі експлуатації ДВЗ їх характеристики з часом погіршуються, що відбувається з різних при-

чин, до яких належать: зношення, корозії, механічного пошкодження, нагару тощо. З метою попередження виникнення дефектів, а також їх усунення, ДВЗ надають технічному обслуговуванню та ремонту.

Ринок обладнання для автосервісу безперервно зростає – pojawiaються усе новіші сучасніші зразки професійного устаткування, виробниками пропонується гаражне обладнання. Світова практика показує, що відбувається постійне підвищення як попиту на сервісні послуги, так і конкуренції серед сервісних підприємств. Замовники сервісних послуг ставлять усе більші вимоги до якості обслуговування, що призводить до постійної модернізації устаткування та розширення номенклатури послуг. Практика свідчить, що достроковий вихід із ладу до 30% двигунів є наслідком неправильного їх технічного обслуговування.

Розглянемо основні етапи проведення технічного обслуговування і ремонту ДВЗ.

Перед тим, як починати ремонт ДВЗ, необхідно встановити причину несправності. Хоча деякі несправності й мають явно виражені риси (витрата чи підтікання робочих рідин, наявність стороннього шуму, колір відпрацьованих газів, втрата потужності, зростання витрати палива тощо) першим етапом є проведення діагностики. Так для проведення якісної діагностики ДВЗ сервісне підприємство повинно мати мотор-тестер та сканер, газоаналізатор, стенд діагностування й очищення форсунок, тестер тиску в паливній системі, ендоскоп тощо.

Мотор-тестер забезпечує отримання інформації за допомогою системи електричних датчиків, і проводячи їх аналіз робляться висновки щодо несправності. Використання мотор-тестерів є можливим для проведення діагностування двигунів різних конструкцій та років випуску. До переваг мотор-тестерів необхідно віднести наступне: вони є універсальними, тобто дозволяють проводити діагностування транспортних засобів різних років випуску та виробників; мають малу похибку вимірювання; володіють можливістю знімати покази декількох сигналів одночасно; мають доволі хорошу візуалізацію результатів; дозволяють проводити тестову діагностику; можуть працювати разом із газоаналізатором. Разом з тим вони володіють і низкою недоліків, до яких належить: значна вартість; значний час пошуку відмови; не дозволяють знайти статистичні несправності; вимагає залучення висококваліфікованого персоналу.

Сканери дозволяють проводити діагностування транспортних засобів за рахунок отримання

інформації з внутрішньої пам'яті блоку управління автомобіля. На відміну від мотор-тестерів, сканери є спеціалізованими приладами, оскільки їх можливості обмежені програмним забезпеченням, що дозволяє працювати лише з транспортними засобами певних виробників і моделей. Використовуючи сканер можна одержати лише ту інформацію яка, знаходиться у системі самодіагностики транспортного засобу, і не більше. Іншими словами, можливості сканерів обмежені не лише їх програмним забезпеченням, а й програмним забезпеченням блоку управління транспортного засобу. Перевагами сканерів є: малі витрати часу на діагностування; порівняно невелика вартість; не вимагає висококваліфікованого персоналу; дозволяє одержувати дані щодо статистичних збоїв; забезпечують можливість видалення кодів помилок; мають компактні розміри. Недоліками сканерів є: спеціалізованість (по марках транспортних засобів і їх моделях); повна прив'язка до системи самодіагностування транспортного засобу; недостатня чіткість встановлення об'єкту відмови. Яким чином обрати сканер? При виборі, в першу чергу, береться до уваги для чого він потрібний і досвід роботи з даними пристроями. У випадку коли є навик програмування електронного блоку управління двигуном, то необхідно звернути увагу на дилерський сканер. Він забезпечить зчитування кодів, проведення перепрошивки системи, зітре помилки тощо. У іншому випадку – недорогі моделі, що дозволять достатньо просто та швидко провести діагностику автомобіля та розшифрувати коди помилок. До недорогих, однак достатньо дієвих автосканерів відносяться: Orion ELM 327, ScanToolPro, Launch CReader V, Delphi DS150E. Професійні сканери є більш дорогими, найбільш популярними моделями яких є мультимарочні сканери LAUNCH X-431 PADV II, LAUNCH X-431 PADV, LAUNCH X-431 IMMO PAD, Thinkcar Thinktool SE, ArtiPad I.

Газоаналізатор – прилад, що дозволяє проводити вимірювання та аналіз вихлопних газів ДВЗ. Автомобільні газоаналізатори забезпечують можливість проведення діагностування та регулювання як бензинових так і дизельних ДВЗ. В залежності від конструкції газоаналізатори здатні проводити вимірювання одного чи декількох компонентів газової суміші (одно- та багатокомпонентні). За допомогою однокомпонентного газоаналізатора можна визначити лише концентрацію одного певного компонента, у більшості випадків оксиду вуглецю, у вихлопних газах, як правило, методом допалювання згорілих складо-

вих. Запровадження стандартів ЄВРО стимулювало розвиток і виробництво багатокомпонентних газоаналізаторів. Визначення кількісних характеристик компонентів газової суміші за допомогою сучасних багатокомпонентних приладів проводиться без застосування хімічних реактивів, а, як правило, за допомогою інфрачервоного (теплого) методу вимірювання. Необхідно відмітити, що сучасні газоаналізатори, окрім визначення кількісних характеристик компонентів газової суміші, мають можливість відображати інформацію щодо технічних параметрів ДВЗ (кількість обертів двигуна, момент запалювання, температура мастильних матеріалів, початок роботи ТНВД, показник надлишку повітря тощо). Перед вибором газоаналізатора необхідно чітко визначитися для чого він потрібний. У випадку, коли є необхідність у періодичному визначенні концентрації оксиду вуглецю, що знаходиться у вихлопних газах, достатньо простого однокомпонентного газоаналізатора. У випадку, коли проводиться комплексна діагностика транспортних засобів, досліджувати вміст шкідливих речовин у вихлопних газах, необхідно розглядати багатокомпонентні моделі, що мають спеціальний зонд, який вводять безпосередньо у вихлопну трубу, що забезпечує підвищення точності вимірювання у порівнянні із однокомпонентними.

Використання стендів діагностування й очищення форсунок забезпечує проведення оцінки основних робочих параметрів паливних форсунок, а також, при необхідності, їх очищення. Відповідно до функціональних можливостей дані стенди поділяють на стенди для проведення діагностувальних операцій та стенди для промивки. Однак, необхідно відмітити, що в комплект діагностувальних стендів, як правило, входять ємності для ультразвукового очищення форсунок, чи вони володіють додатковою функцією їх промивки сольвентом. Отже, як бачимо, стенди для діагностування, на відміну від стендів промивки, забезпечують комплексний підхід до обслуговування форсунок, в той час як, останні не мають можливості проводити діагностування, а лише очистку форсунок. Разом з тим, стенди промивки забезпечують очистку форсунок без їх знімання, що додатково забезпечує часткове чи повне промивання паливної системи транспортного засобу. По способу очищення форсунок методи очищення поділяють на хімічні та ультразвукові методи. Хімічні методи, на відміну від ультразвукових, дозволяють проводити очищення не лише знятих форсунок, а й без їх знімання. До переваг

хімічної промивки форсунок без їх демонтажу відносяться: малі витрати робочого часу на проведення очистки; високі показники промивки паливної системи транспортного засобу у випадку регулярного проведення; нижча вартість. Недоліками таких методів є: згубний вплив свічки запалювання та моторні масла, що потребують обов'язкової заміни по завершенню промивання, у зв'язку з чим, хімічні методи рекомендують проводити при планових замінах свічок запалювання та мастила; ймовірність забиття форсунок відшарованими нерозчиненими у сольвенті відкладеннями; неможливість провести пряму оцінку ефективності процедури промивання, а лише при подальшій експлуатації двигуна; низький показник ефективності промивання для двигунів із великим пробігом; шкідливий для навколишнього природного середовища і здоров'я (використання екосольвенту значно підвищує вартість процесу очищення). На сьогоднішній день популярністю користуються наступні моделі стендів діагностування й очищення форсунок: бензинових – LAUNCH CNC-402A, LAUNCH CNC-603A, Sprint 6, Sprint6K+ та дизельних – FOCUS-DIESEL, Bosch DCI 700, Force 905G13.

Тестер тиску паливної системи є універсальним та достатньо популярним діагностичним приладом. Його використовують для проведення діагностики паливної системи центрального та розподіленого впорску двигуна. Також, для даної мети використовують і універсальні вимірювачі тиску, які забезпечують проведення вимірювання тиску окрім паливної системи й у інших системах автомобіля. Універсальні вимірювачі, як правило, комплектується широким комплектом перехідників та адаптерів. Найбільш популярними моделями є: пневмотестер для дизелів 938G1 Force, тестер тиску для бензинових двигунів універсальний 946G1 Force, набір для діагностики інжекторних систем YT-0670 YATO, тестер паливної системи, AI020064A JONNESWAY, цифровий тестер тиску палива ADD Tool ADD600, тестер для інжекторів універсальний (професійний), JGAI8101 TORPTUL.

Автомобільний ендоскоп. Автомобільні двигуни постійно удосконалюються, що приводить до ускладнення їх конструкції, а отже і до збільшення витрат часу і праці на розбирання-збирання. У зв'язку з чим, автосервісне підприємство повинно володіти автомобільним ендоскопом, так як зробити точну діагностику сучасного двигуна, базуючись лише на власному досвіді, не може жоден майстер. Ендоскоп забезпечує візу-

алізацію діагностики стану внутрішніх систем, які є невидимими ззовні. Ендоскоп має вигляд оптичної трубки із підсвічуванням, вводиться у технологічні отвори в середину об'єкта діагностування. Отримане таким чином зображення відображається на моніторі, що дозволяє проводити візуальний огляд без проведення процесів розборки. Даним методом можна виявити наявність: внутрішніх тріщин, корозії, поверхневого зносу, сторонніх предметів тощо. Деякі моделі ендоскопів володіють спеціальним призначенням, однак більшість, із представлених на ринку, мають широкий спектр використання. Так, для прикладу, з метою оцінки стану камери згоряння робочу частину ендоскопа вводять у отвір свічки запалювання, далі зображення з нього виводиться на зовнішній пристрій (планшет, монітор, телефон тощо), що дозволяє провести оцінку стану клапанів, поршня, стінок циліндрів та ухвалення майстром рішення щодо подальшої долі даного двигуна. Щодо критеріїв вибору, то необхідно відмітити, що останнє покоління ендоскопів успішно справляється із поставленими перед ними завданнями, однак при виборі необхідно звернути увагу на наступне: наявність можливості відобразити зображення в онлайн режимі та його збереження, присутність необхідних роз'ємів передачі даних, якість відео не нижче 640 на 480, діаметр зонду не більше 5 мм, наявність насадок для проведення огляду під різними кутами, а також те наскільки стійкий зонд до нафтопродуктів та автохімії.

Основним призначенням механічної дільниці є проведення ремонту деталей кривошипно-шатунних механізмів двигунів, які, як правило, потребують проведення механічної обробки зношених поверхонь. У деяких випадках, роботи обмежуються лише розбирально-збиральними операціями та проведенням заміни зношених вузлів або деталей, в інших виникає необхідність механічної обробки. У зв'язку з цим, автосервісне підприємство може оснащуватися як лише обладнанням для проведення діагностики та розбирально-збиральних операцій (мийка агрегатів і деталей, верстак, стапель (стенд для проведення ремонтних робіт), стенд для діагностики та регулювання паливної апаратури, обладнання для оцінки герметичності агрегатів, гідравлічний прес), так і мати металообробні верстати (свердлильний, розточний, заточний, хонінгувальний, для шліфування клапанних гнізд і фасок клапанів тощо). З метою полегшення проведення ремонтних робіт механізмів двигуна використовують спеціальні стенди – стапелі. Стапелі дозволяють

проводити повертання двигунів, утримання їх в необхідному положенні та збирати технологічні рідини у випадку їх витікання, іншими словами забезпечують зручність і доступність до різних елементів ДВЗ. Повертання двигуна може проводитися за допомогою ручного чи електромеханічного приводу. Кріплення може бути одностороннє (консольне) чи двостороннє. При виборі також необхідно звернути увагу на вантажопідйомність стапеля: до 500 кг, до 1000 кг чи понад 1000 кг. До 500 кг використовуються для проведення робіт із двигунами легкових автомобілів, а понад 1000 кг – автобусів і вантажних автомобілів.

Висновки. Отже, підсумовуючи вищесказане ми бачимо, що від правильного підбору обладнання ремонтних дільниць напряму залежить як якість проведеного технічного обслуговування та ремонту двигунів так і продуктивність роботи ремонтно-обслуговуючого персоналу. На сьогоднішній день на ринку обладнання для станцій технічного обслуговування автомобілів пропонується широка гамма обладнання для діагностики та ремонту двигунів внутрішнього згорання. Вибір того чи іншого обладнання для конкретного випадку впливає із мінімально необхідної його кількості, а також фінансової можливості суб'єкта господарювання.

Список літератури:

1. Дашивець Г. І., Паніна В. В. Дослідження факторів, що впливають на якість ремонту двигунів: Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2014. Вип. 4. Т. 1. С. 101-106.
2. Розум Р., Буряк М., Попович П., Прогній П., Захарчук О. (2022). Методологія діагностування автомобільних дизельних двигунів. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 1(18), 138-142.
3. Тригуб О. А. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навч. посіб. [Електронний ресурс] / О. А. Тригуб ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2021. – 187 с.
4. Rozum R.I., Shevchuk O. S., Prohniy P. B. Optimization of working processes of internal combustion engines with the purpose of improving their environmentality. Modern engineering and innovative technologies. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany) 2022. – Issue 19. Part 1. – P. 147 - 150.
5. Rozum R.I., Buriak M. V., Zakharchuk O. P. Innovative engines in the history of automobile building. Modern engineering and innovative technologies. Sergeieva&Co Karlsruhe (Germany) 2021. – Issue 18. Part 2. – P. 64 – 67.

Falovych N.M., Veres M.V., Rozum R.I., Buriak M.V., Prohniy P.B., Shevchuk O.S. OVERVIEW OF EQUIPMENT FOR DIAGNOSTIC AND REPAIR OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES

The article provides an overview description of the main characteristics of the equipment necessary for carrying out a full complex of diagnostics and repair of internal combustion engines. It should be noted that in recent years there has been a sharp increase in the number of types of internal combustion engines that come to service enterprises for maintenance and repair. The problem of improving the quality of diagnostic and engine repair processes has always been relevant. One of the main problems of service maintenance is the optimal selection of the necessary technological equipment, since carrying out repair work requires the use of appropriate technological equipment with different purposes, in connection with which, the need for special equipment becomes more and more acute. The quality of repair work, as well as the working conditions and productivity of personnel, primarily depends on the technological equipment of the company's repair departments. The current state of the issue of labor protection encourages the maximum introduction of mechanization and automation of production processes, and the constant increase in requirements for the level of quality of maintenance of both cars as a whole and their individual units - the use of new technological processes and equipment that can ensure the use of progressive methods of diagnosis and repair. In accordance with the requests of car service enterprises, the technological equipment market has formed a wide range of offers from universal equipment to specialized and special equipment, from amateur to professional, as well as its various price categories. In connection with the latter, a dilemma arises as to how to choose the best option and not overpay. The choice of one or another piece of equipment for a specific case follows from the minimum necessary amount of it, as well as the financial capacity of the business entity.

Key words: auto service equipment, diagnostic and repair equipment, internal combustion engines, technical service companies, engine repair, engine diagnostics.

Фоменко Г.Р.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ПРИРОДНОГО РЕЛЬЄФУ НА ФУНКЦІОНАЛЬНУ КЛАСИФІКАЦІЮ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ І ДОРІГ

У статті розглянуті питання пов'язані із особливостями природного рельєфу і впливом його на містобудівні рішення міських територій, функціональне зонування територій, композиційні рішення покращення планування та благоустрою. Рельєф території в значній мірі визначає планувальну композицію вулично-дорожньої мережі. Вулично-дорожня мережа міст є частиною міських шляхів сполучення, які забезпечують необхідні вантажні та пасажирські зв'язки між окремими функціональними зонами у містах та в середині окремих зон і інших міських територій. При плануванні та розробці проектів із раціональною структурою вулично-дорожніх мереж в умовах перспективного розвитку міст необхідне використання методів їх удосконалення.

Питанням, спрямованим на удосконалення класифікації міських вулиць і доріг, з урахуванням їх функціонального призначення, останнім часом приділяється значна увага. Відомо, що у розвинених країнах світу діють функціональні класифікації вулиць і доріг. Такі класифікації являють собою процес за допомогою якого дороги і вулиці підлягають групуванню у класи, які обслуговуються відповідно з характером діючих транспортних зв'язків. Як свідчить аналіз закордонного досвіду, використання функціональної класифікації вулиць і доріг має позитивні показники на протязі тривалого часу. З урахуванням цього і з метою покращення умов руху вулично-дорожньої мережі, її комфортності мінрєгіоном України розглянуто питання про внесення змін у класифікації міських вулиць і доріг за їх функціональним призначенням. В разі цього передбачається розглянути залежність на кого вони будуть розраховані, а саме: автомобілі, громадський транспорт або змішаний рух, пішоходів, велосипедистів. Такі принципи мають місце у країнах Європи, США, Канади та інших. Велике значення приділяється підвищенню безпеки руху та зниженню конфліктних ситуацій і ДТП. Не менш важливим є розвиток велосипедної інфраструктури, влаштування транспортних розв'язок із створенням композицій елементів. Значну увагу слід приділити питанням забезпечення безпеки пішоходів, особливо безперешкодного пересування маломобільних груп населення. Підготовка схем вулично-дорожньої мережі повинна бути невід'ємно пов'язана з її планувальною композицією. Особливу увагу слід приділяти зв'язку вулично-дорожньої мережі з формуванням функціональних зон у містах, які пов'язані із тими чи іншими змінами рельєфу. При плануванні необхідним є досягнення гармонії рельєфу з особливостями забудови, ландшафту та використання елементів дизайну.

Ключові слова: природний рельєф, вулиці і дороги, функціональні зони, міста, класифікація, вулично-дорожня мережа.

Постановка проблеми. Природний рельєф, який створений в природних умовах, характеризує і визначає стан поверхні на тій, чи іншій території. Рельєф безпосередньо впливає на містобудівні рішення міських територій, на креслення мережі вулиць, зонування території, розміщення житлових районів та ін. Зокрема, рельєф визначає планування та забудову житлових районів, а його форми враховуються при розташуванні будов і впливають на загальну композицію забудови. Велике значення має рельєф при влаштуванні стоків поверхневих вод на міських територіях, а також при прокладках підземних інженерних комунікацій. Природний рельєф не завжди, та не в повній мірі, задовольняє містобудівні вимоги на території міста. Для перетворення і задоволення

рельєфу вимогам планування та благоустрою здійснюється вертикальне планування міської території.

При вертикальному плануванні територій міста вирішуються наступні основні задачі:

– забезпечення вертикальних поздовжніх ухилів міських вулиць і доріг для зручного і безпечного руху транспорту і пішоходів на території міста;

– створення рельєфу, який сприяє розміщенню і забудові будов та споруд;

– влаштування стоку поверхневих вод за допомогою водовідвідних відкритих та закритих систем [1].

У більшості випадків територія для розміщення або розвитку населеного пункту не однакова

за ухилами та ступенем розчленованості. Вона може складатися із ділянок з різною крутизною і лінійних розмірів, які до того ж по вертикалі розділяються на різну висоту.

При вертикальному плануванні території житлових кварталів і мікрорайонів здійснюється:

- створення відповідно з проектом забудови площадок для будов і споруд з урахуванням їх конфігурації, призначення і загального композиційного рішення планування території;

- забезпечення поздовжніх і поперечних ухилів, зручних для комфортного та безпечного руху транспорту і пішоходів на проїздах, тротуарах, пішохідних дорогах і доріжках;

- організація збору і видалення за межі кварталів або мікрорайонів поверхневих дощових та талих вод;

- розміщення на території кварталу або мікрорайону надлишкових мас ґрунту, який утворюється в наслідок будівництва будівель і споруд, проїздів та підземних комунікацій [1].

Рельєф території в значній мірі визначає планувальну композицію вуличної мережі. Для її розвитку найбільш сприятливий рельєф із ухилами від 5 до 50 % для магістральних вулиць і від 5 до 70 % для житлових вулиць і проїздів, в залежності від їх класифікації. При значних ухилах місцевості (в гірських умовах), як правило, рекомендується будову розміщати по терасам, а трасування вулично-дорожньої мережі проводити по серпантинах.

Вертикальне планування або штучна зміна природнього рельєфу є одним із основних елементів інженерної підготовки території. Одним із найважливіших принципів, якими слід керуватися при висотній організації місцевості є максимальне збереження природнього рельєфу.

Для досягнення гармонії рельєфу і забудови, що проектується необхідно ретельно оцінити ступінь відповідності його особливостей для нового будівництва, або дати чіткі рекомендації по вирашному використанню рельєфу для розміщення окремих елементів міського середовища [1, 2].

Особливості питань в ході планування та розвитку міст невід'ємні від вирішення складного комплексу питань, а саме таких, як композиційні задачі та технічні рішення. Важливою складовою у комплексі питань є розвиток та робота вулично-дорожніх мереж у населених пунктах. Вулично-дорожня мережа міст є частиною міських шляхів сполучення, які забезпечують необхідні вантажні та пасажирські зв'язки між окремими функціональними зонами у містах та всередині окремих

зон і інших міських територій. При плануванні та розробці проектів з раціональною структурою вулично-дорожніх мереж в умовах перспективного розвитку міст необхідно враховувати можливість покращення роботи існуючих, та удосконалення їх методів. Необхідно відмітити, що вулично-дорожня мережа міст формує систему вулиць і доріг із різних категорій для забезпечення переміщень транспорту усередині міст. В цілому склад вулично-дорожньої мережі розподіляють на вулиці і дороги магістрального і місцевого значення [3]. Особливостями магістральної мережі є її характеристики і планувальні та функціональні структури. Важливою задачею є трасування вулиць, а наступним етапом їх диференціація за видами вирішуваних задач та категорій. В першу чергу, до планувальної структури необхідно передбачити проектні розробки. Не менш важливою є їх функціональна складова, яка визначається діючим нормативним документом [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанням, спрямованим на удосконалення класифікацій міських вулиць і доріг, з урахуванням їх функціонального призначення, останнім часом приділяється значна увага. Суттєва увага питанням модернізації, розвитку критеріїв та функціональної ефективності міських вулиць і доріг, покращення безпеки та організації дорожнього руху і пішоходів приділяється у роботах Девятова М.М., Стащенко М.С., Михайлова А.Ю., Степанчука О.В., Ландо Е.А., та ін [4-7]. Зростання рівня автомобілізації привело до значних змін у співвідношенні різних видів транспорту. Внаслідок цього на міських вулицях і дорогах значно погіршуються умови руху, що супроводжується створенням конфліктних ситуацій.

Постановка завдання. Метою даної роботи є проведення аналізу існуючих у країнах світу методів функціональної класифікації міських вулиць і доріг з урахуванням впливу природнього рельєфу території, на якій планується вулично-дорожня мережа і особливості формування транспортного і пішохідного руху, спрямованих на покращення умов і безпеки руху.

Виклад основних матеріалів. Важливою складовою вулично-дорожньої мережі є щільність, особливості ландшафту, геометричних схем її побудови та перспективного розвитку території міста. В нормативному документі, що в теперішній час діє в Україні – ДБН В.2.3-5-2018, передбачається розподіл, а саме: магістральні дороги, магістральні вулиці загальноміського значення з безперервним і регульованим рухом,

а також магістральні вулиці районного значення та місцеві промислово-складські вулиці і дороги [3]. Відомо, що у розвинутих країнах світу діють функціональні класифікації вулиць і доріг. Такі класифікації являють собою процес за допомогою якого дороги і вулиці групують у класи, які обслуговуються відповідно з характером діючих транспортних зв'язків. Як свідчить аналіз закордонного досвіду, використання функціональної класифікації вулиць і доріг має позитивні показники на протязі тривалого часу. З урахуванням цього і з метою покращення умов руху на вулично-дорожній мережі, їх комфортності мін-регіоном України розглянуто питання про внесення змін у класифікацію міських вулиць і доріг за їх функціональним призначенням [4, 6]. В разі цього передбачається розглянути залежність на кого вони будуть розраховані, а саме: автомобілі, громадський транспорт або змішаний рух, пішоходів, велосипедистів. Такі принципи мають місце у країнах Європи, США, Канади та ін. Велике значення приділяється підвищенню безпеки руху та зниженню кількості конфліктних ситуацій і дорожньо-транспортних пригод. Не менш важливим є розвиток велосипедної інфраструктури, влаштування транспортних розв'язок із створенням композицій елементів. Значну увагу слід приділити питанням забезпечення безпеки пішоходів, особливо безперешкодного пересування маломобільних груп населення [8-10].

В містобудівній практиці зарубіжних країн характерною особливістю є високий рівень автомобілізації та щільність транспортних потоків. Розглянемо особливості американських класифікацій та норм. Відомо, що функціональна класифікація (Functional Classification) у США та Канаді використовує домінуючу функцію тієї чи іншої дороги. Необхідно відмітити, що в якості головної ознаки розподілу вулиць і доріг на категорії приймається співвідношення функцій «обслуговування руху – обслуговування доступу» (traffic circulation, versus access) [11]. У американських та канадських текстах пов'язаних із дорожнім проектуванням та міським плануванням території використовують терміни «доступ» (access), «доступ до володінь» (property access), доступ до території (land access) [12].

Слід звернути увагу, що чим нижчою буде категорія дороги, тим більш значною є її роль по забезпеченню доступу [12]. Відомо, що у США і Канаді функціональні категорії вулиць і доріг розподіляють на 7 рівнів доступу.

Функції вулиць також вміщують:

- доступ до володінь, інфраструктури, об'єктам тяжіння;
- розміщення громадської інфраструктури;
- переміщення людей і транспорту, доставка;
- надання простору для стоянки транспортних засобів;
- забезпечення впорядкованого простору для відпочинку і культурних заходів, вуличної торгівлі та ін.

Згідно з таким підходом функціональні класифікації вулиць і доріг, у яких головним критерієм їх розподілу є співвідношення функцій обслуговування руху і обслуговування доступу. Відповідно з цим обслуговування поїздок на великі відстані є головною функцією міських доріг (freeway, expressway). Чим нижча категорія дороги, тим більш значною буде її роль для забезпечення доступу. Згідно з даною функціональною класифікацією місцеві вулиці (local streets) належать до низької категорії і виконують функції по забезпеченню доступу до забудови та землеволодінь. У зв'язку із цим при прийнятті проектних рішень передбачається, що місцеві вулиці повинні перешкоджати транзитному руху через територію, яку вони обслуговують [11].

В цих умовах на місцевих вулицях має місце часте використання заспокоєння руху. Згідно з визначенням Інституту транспортних інженерів США, це сполучення фізичних заходів, які зменшують негативний ефект використання автомобілів і покращують умови для інших користувачів вулиці.

Надійність функціонування північноамериканських міських фрівеїв забезпечує система freeway management, яка об'єднує:

- регламенти і правила забудови, місцеві законодавчі акти;
- норми проектування, а саме: розміщення розв'язок, протяжність зон перебудови;
- управління доступом до фрівеїв (access management);
- управління транспортними потоками, якщо передбачається використання заходів і методів інтелектуальних транспортних систем, моніторингу потоків у режимі реального часу, фіксацію ДТП, управління потоками за умов заторів, управління потоками при евакуаційних заходах, використання систем інформування водіїв.

Фрівеї відносяться до класу магістралей з повним контролем доступу (controlled-access road), тобто доступ до них здійснюється тільки через розв'язки в різних рівнях. Важливою скла-

довою попередження заторів і управління за умов їх виникнення є регулювання в'їзду на фрівеї з рамп розв'язок (ramp metering) і забезпечення пропускної здатності на виході з фрівея (egress capacity). Останнє передбачає нормування розміщення найближчих до розв'язки перетинів та організацію руху на них, тобто координацію управління фрівеями і вулицями (coordinated freeway and arterial operations). Задача такого координованого управління – не допустити утворення черги на рампі і розповсюдження її на основну проїзну частину. Управління рухом у реальному часі на міських швидкісних дорогах (active traffic management), а також з метою запобігання заторів, зводиться до підтримки оптимальної щільності та швидкості транспортного потоку. Таким чином, повторний контроль доступу є обов'язковим і головною умовою ефективного використання усіх заходів управління транспортними потоками на фрівеях.

Необхідно відмітити, що у США розробляються класифікації міських доріг і вулиць в залежності від особливостей законодавства та адміністративного устрою штату. Вона є компетенцією чи Департаменту транспорту (ДОТ), чи відповідних установ графств і муніципальних органів міст штату. Також необхідно звернути увагу, що при підготовці класифікацій і призначенні технічних норм користуються «зеленою книгою» (Green book), цей документ періодично оновлюється і видається Американською асоціацією дорожніх і транспортних службовців (AASHTO).

Особливістю підготовки і створення функціональних класифікацій провінціями і муніципалітетами у Канаді є «Керівництво по геометричним стандартам проектування доріг Канади», згідно якого здійснюється вибір і призначення норм.

Таким чином, згідно розробок США і Канади і особливостей функціональної класифікації та стандартів проектування необхідно відмітити, що вони спрямовані на вирішення важливішої задачі, а саме – отримання розподілу потоків при якому рух на великі відстані обслуговують дороги вищих категорій, а місцева мережа спрямована на обслуговування прилеглих територій. З урахуванням цих вимог, на магістральних дорогах передбачається обмеження або заборона паркування, а також контроль так званого доступу та ізоляція від пішохідного або велосипедного руху. Для умов місцевої мережі житлових районів розглядається виключення транзитного руху. З метою покращення безпеки руху передбачається обмеження швидкості та використання заспокоєння руху.

Використання таких заходів дозволяє отримати можливість диференціації елементів вулично-дорожньої системи по швидкості руху.

Для узагальнення роботи транспортної системи Федеральна дорожня адміністрація США отримує статистичні показники по регіонам і проводить їх аналіз на національному рівні.

Розробка класифікацій де переважають критерії пов'язані із рухом транспорту не означає, що тільки цим обмежені професійні розробки спеціалістів та муніципальної влади США і Канади. Значна увага приділяється руху пішоходів та переміщенню інвалідів, що має місце у ряді спеціальних актів США.

Слід звернути увагу на програму по організації, як руху пішоходів, так і покращенню благоустрою та дизайну вулиць, збереженню історичних районів не тільки у великих містах і агломераціях, а і у інших групах міст.

Дизайн простору вулиць загалом визначає облік житлових районів і дозволяє створити їх образ. У північноамериканських класифікаціях має місце проектування з використанням двох типів трасування, а саме – петлі і тупики. Ці прийоми трасування дозволяють скоротити територію вулиць на 16-25 %, тобто прийняти більш компактні планувальні рішення. Також планувальні рішення «петлі» і «тупики» забезпечують задовільний доступ до індивідуальної забудови, високу безпеку руху внаслідок того, що виключено транзитний рух. При цьому такі планувальні рішення мають і ряд недоліків, таких як:

- погіршується пішохідна доступність;
- однотипність житлових районів суттєво знижує естетичну якість проєктів;
- незадовільна пішохідна доступність приводить до залежності населення від автомобілів.

У ряді регіонів значна увага приділяється пішохідному руху і підтримується використання багатофункціональних вулиць. Також у класифікації розглядаються категорії транспортних і пішохідних вулиць серед яких слід відмітити бульвари. Це вулиці, які обслуговують поїздки на великі відстані з помірною швидкістю руху, при цьому дозволяється паркування. Бульвар, як категорія вулиць, введений у класифікацію провінції Онтаріо[13]. Для провінції Онтаріо бульвар представлений, як широка вулиця із змішаними функціями, насичена об'єктами тяжіння, зеленими насадженнями і розділювальними смугами. Бульвари мають цілий ряд ознак: розміщення головних міських центрів, рух громадського транспорту, пішоходів, баланс різних транспортних функцій,

що пов'язані із обслуговуванням територій, які інтенсивно використовують.

Загалом, функціональні класифікації США і Канади характеризуються великою кількістю різноманітних планувальних рішень відповідно з різними умовами тих, чи інших штатів.

Таким чином, розглянувши особливості функціональних класифікацій США та Канади, які формуються на особливостях цих континентів, їх планувальних схем, щільності вулично-дорожніх мереж та інших характеристик, дозволяють використання тих, чи інших елементів для покращення умов руху в Україні.

Не менш важливим, є розгляд критеріїв функціональних класифікацій, які використовуються у Європейських країнах. Аналіз Європейських класифікацій та основних норм проектування проводився «Комітетом по міським територіям» Світової дорожньої асоціації (PIARC), а також у рамках програм Європейської комісії виконувався спеціальний проект ARTISTS [14]. Необхідно відмітити, що Європейські класифікації в порівнянні із північноамериканськими значно відрізняє більша різноманітність функціональних ознак у функціональних класифікаціях [15].

Великий час був потрібен для роботи над класифікаціями, на основі якого із 39 критеріїв були визнані 14 основних, а також додаткові які визначили архітектурно-планувальні характеристики.

На основі визначених критеріїв, для доповнення класифікацій учасники проекту запропонували використовувати окрім основних 14 критеріїв додаткові, які пов'язані із архітектурно-планувальними характеристиками: назва вулиці, поперечний профіль вулиці; форма забудови; озеленення; характер середовища вулиці; характер міського середовища; просторова структура; візуальна вісь; просторова інтеграція; морфологія міського середовища; структурна роль вулиці; роль вулиці, як комунікаційного коридора; роль вулиці на рівні міського району; використання прилеглих територій і фронту забудови; наявність центрів та ін.. Необхідно підкреслити, що класифікації які існують, головним чином базуються на основних транспортних критеріях та критеріях організації руху з використанням співвідношення функцій «Обслуговування руху – обслуговування доступу».

В цілому ідеї створення комфортних умов руху як транспорту, так і пішоходів, забезпечення пріоритетного проектування вулиць підтримуються багатьма професійними і громадськими організаціями [15].

Значний інтерес представляють класифікації міських вулиць і доріг у Великобританії. Причиною особливої уваги до англійських класифікацій, а також нормуванню швидкості руху є вже як традиція, високі показники безпеки руху навіть по Європейським стандартам. Необхідно відмітити, що відмінною рисою у класифікаціях Англії є їх раціональність. Розробка цих документів та їх затвердження здійснюється у містах і графствах. У компетенції місцевого законодавства знаходяться вимоги до правил забудови і акцентується увага для категорій вулиць, найбільш характерних та важливих у даному муніципалітеті.

Основою для класифікацій і норм графств муніципалітетів, так званих «Місцевих посібників з проектування» (Local Design Guides) є документ «Дороги і пішохідні шляхи житлових територій». Сучасна британська містобудівна і проектна політика враховує досягнутий в невеликих містах і сільській місцевості рівень автомобілізації [16]. У зв'язку з цим особливу увагу приділяють безпеці руху, чим обумовлені показники розрахункової швидкості.

Англійський досвід розробки норм проектування місцевих вулиць може знайти відповідне використання в нашій країні.

Важливі характеристики представлені у методичних документах Світової Дорожньої Асоціації – PIARC [15]. В них виділяються особливості напрямків у проектуванні транспортних мереж у містах, а саме:

- використання зниження інтенсивності руху у центрах міст;
- надання пріоритету громадському пасажирському транспорту;
- забезпечення організації паркування;
- взаємодія міського середовища та вулично-дорожньої мережі.

Техніко-економічні і містобудівні прогнози показують, що подальше зростання рівня автомобілізації при збереженні попереднього рівня використання легкового автомобіля потребує великих витрат на транспортну інфраструктуру (реконструкцію вулично-дорожньої мережі, парковку, відторгнення міських територій). У теперішній час в закордонній практиці розвиток систем NOV, в тому числі відродження громадського транспорту, забезпечення йому пріоритетних умов, розглядається як один із самих ефективних заходів зниження більшості негативних показників характеристик автомобілізації. Під терміном NOV-high occupancy vehicles в більшості випадків позначають транспортні засоби, що використовуються

більше чим 2-3 чоловіками разом із водієм [16]. Смуги для руху маршрутного пасажирського транспорту є одним із видів смуг HOV. Такі смуги почали використовувати у США у минулому віці в період енергетичної кризи, а на сьогодні їх протяжність досягає більше 3000 км. У США смугами HOV користуються більше 3 млн. чоловік в день.

Забезпечення пріоритетних умов руху громадського пасажирського транспорту є найбільш ефективним заходом для утримання зростання інтенсивності руху і запобігання перевантаження вулично-дорожніх мереж, особливо у центральних історичних частинах міст.

Тому зберігання і розвиток інфраструктури громадського транспорту в містах України може сприяти зниженню навантаження на вулично-дорожній мережі. Забезпечення пріоритетних умов руху є одним із найбільш ефективних методів підвищення швидкості сполучення і провізної здатності громадського пасажирського транспорту і збільшення його привабливості.

Окрім того, необхідно обов'язково оцінювати ефективність самих проектних рішень. У зв'язку з цим критерії і методи складають один із важливіших розділів методичного забезпечення проектування вулично-дорожніх мереж [7-9].

Висновки. Таким чином, для забезпечення комфортного переміщення по міським вулицям

необхідно в процесі їх проектування значну увагу приділяти особливостям рельєфу місцевості. Підготовка схеми вулично-дорожньої мережі невід'ємно пов'язана із її планувальною композицією. Значну увагу слід приділяти зв'язку вулично-дорожньої мережі із формуванням функціональних зон у містах, які пов'язані із тими чи іншими змінами рельєфу. Важливим є досягнення гармонії рельєфу із особливостями забудови. Особливу увагу слід приділити ландшафтному проектуванню з використанням елементів дизайну.

В процесі розробки функціональної класифікації вулиць і доріг у містах необхідно використання розробок створених у тих, чи інших країнах світу, які уже мають практичне впровадження і їх результати. Особливу увагу треба звернути на створення умов безпечного переміщення пішоходів і маломобільних груп населення. В ході планувальних робіт, питань реконструкції на вулично-дорожніх мережах забезпечити умови для розширення велосипедного руху. Важливим є питання забезпечення безпеки руху, зниження кількості ДТП, що можливо, в ряді випадків, досягти використанням умов заспокоєння руху. Використання додаткових положень при розробці функціональної класифікації міських вулиць і доріг дозволить отримати позитивні результати при їх впровадженні.

Список літератури:

1. Безлюбченко О.С. Планування і благоустрій міст. Харків, ХНАМГ, Будівництво, 2011, 191 с.
2. Губіна М.В. Формування житлової забудови у містах. Київ, 1994. 136 с.
3. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Мінрегіонбуд. Київ: 2018. 50 с.
4. Стащенко М.С. Розвиток вулично-дорожніх мереж на сучасному етапі автомобілізації в Україні. сб. Проблемы теории и истории архитектуры Украины. 2019. Вып. 19. С. 132-139.
5. Степанчук О.В. Особливості функціонування вулично-дорожньої мережі міста. сб. Проблеми розвитку міського середовища. 2015. Вип. 2. С. 37-46.
6. Івасенко В.В. Удосконалення вулично-дорожніх мереж з урахуванням принципів універсального дизайну. Містобудування та територіальне планування. 2016. Вип. 59. С. 149-154.
7. Ландо Е.А. Автомобильные дороги и уровень автомобилизации. Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. 2013. № 10. С. 36-40.
8. Ковальов В.В. Організація модернізації транспортно-дорожньої інфраструктури при комплексній реконструкції міської забудови. Науковий вісник будівництва. Харків: ХНУБА, 2018. Т. 92, № 2. С. 167-172.
9. Скворцов О.В. О функциональной классификации дорог. Автомобильные дороги. 2015. № 4 (1001). С. 34-38.
10. Семенова О.С. Комфорт пешеходных перемещений. Градостроительство. 2014. № 5 (33). С. 43-47.
11. Forbs G. Urban Roadway Classification. Urban street symposium. Conference Proceedings. TRB Circular E-CO19, Dallas, Texas June 28-30, 1999, 8 p.
12. NCHRP Report 420. Impacts of Access Management Techniques Transportation Research Board. Washington D.C.: National Acad. Press, 1999, 158 p.
13. City of Tshwane. Streetscape Design Guidelines. Housing, City planning and Environmental Management Department. Second Ed. August 2007. 75 p.
14. PIARC: Urban road design and architecture, reference: 10.08.B, Routes/Roads special issue II-1995. P. 51-126.
15. City of London Unitary Development Plan 2002 Chapter 9: Transport and Movement 2002. P. 99-136.
16. PIARC: Priority for public transport and other high occupancy vehicles (HOV) on urban roads. Roads special issue II. 1995. P. 1-51.

Fomenko H.R. FEATURES OF THE INFLUENCE OF NATURAL RELIEF ON THE FUNCTIONAL CLASSIFICATION OF CITY STREETS AND ROADS

The article deals with issues related to the features of the natural relief and its influence on urban planning solutions for urban areas, functional zoning of territories, compositional solutions for improving planning and landscaping. The relief of the territory largely determines the planning composition of the road network. The street and road network of cities is part of urban communication routes that provide the necessary freight and passenger connections between individual functional areas in cities and within individual zones and other urban areas. When planning and developing projects with a rational structure of street and road networks in the context of the prospective development of cities, it is necessary to use methods for their improvement.

Issues aimed at improving the classification of city streets and roads, taking into account their functional purpose, have recently received considerable attention. It is clear that in the developed countries of the world there are multifunctional classifications of streets and roads. Such classifications are the process by which roads and streets are grouped into classes served according to the nature of the transport links in use. As the analysis of foreign experience shows, the use of functional classifications of streets and roads has positive indicators for a long time. With this in mind and in order to improve the traffic conditions of the road network, its comfort, the Ministry of Regional Development of Ukraine is considering making changes to the classification of city streets and roads according to their functional purpose. In this case, it is supposed to consider the dependence on whom they will be designed, namely: cars, public transport or mixed traffic, pedestrians, cyclists. Such principles take place in the countries of Europe, the USA, Canada and others. Much attention is paid to improving traffic safety and reducing conflict situations and accidents. Equally important is the development of cycling infrastructure, the arrangement of transport interchanges with the creation of compositions of elements. Considerable attention should be paid to the issues of pedestrian safety, especially the unhindered movement of people with limited mobility. The preparation of road network schemes should be inextricably linked with its planning composition. Particular attention should be paid to the connection of the road network with the formation of functional zones in cities associated with certain changes in the relief. When planning, it is necessary to achieve harmony in the relief with the features of building, landscape and the use of design elements.

Key words: *natural relief, streets and roads, functional areas, cities, classification, road network.*

Чуйко С.П.

Відокремлений структурний підрозділ «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

Шумляківський В.П.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ОСНОВНІ ПАРАМЕТРИ І ПРЕДМЕТ РОЗВИТКУ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ АВТОБУСНИХ МІСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Наявна транспортна інфраструктура міських перевезень автобусами потребує подальшої модернізації. Для реалізації завдань ефективності функціонування міської транспортної системи та якості транспортних послуг необхідно підвищити інвестиційну привабливість транспорту шляхом забезпечення розвитку правового конкурентного середовища, впровадження новітніх взаємовигідних технологій, як для користувачів послуг, так і для перевізників, підвищити доступність населення і забезпечити безпеку перевезень.

У статті, на підставі результатів обстеження, встановлені основні характеристики маршрутної мережі м. Житомира та проаналізовано підходи науковців щодо підвищення транспортного обслуговування пасажиро перевезень у містах. Визначено рівень якості транспортних послуг і сформульовано нові технічні рішення удосконалення транспортної системи міста, проведено розрахунки основних показників маршрутної системи міста. Розраховано маршрутний коефіцієнт, який характеризує розгалуженість маршрутної мережі і за результатами обстеження виходить за рекомендовані межі. Це показує про дещо підвищену насиченість міської території маршрутним міським транспортом і може свідчити про середню дальність підходів пасажирів до зупинки. Було показано, що автобусна транспортна мережа міста характеризується щільністю (δ), тобто насиченістю території міста лініями автобусного транспорту. Чим вище щільність маршрутної мережі, тим менше витрати часу пасажирів на підхід до зупинок.

Найважливішою функцією транспортної системи є задоволення потреб мешканців міста в перевезеннях. Важливим фактором, що впливає на роботу транспортної системи, є безпека дорожнього руху, яка забезпечується якістю перевезень та оцінюється комфортністю транспортних засобів, середнім інтервалом руху транспортних засобів на маршруті і швидкістю доставки.

Ключові слова: транспортна система, пасажирські перевезення, маршрутна мережа, міський автобус.

Постановка проблеми. Автобусні перевезення в найближчій перспективі для більшості міст України залишаються основним видом пасажирських перевезень і мають велике соціальне значення. Надійна і ефективна робота міського пасажирського транспорту є найважливішим показником соціально-політичної і економічної стабільності міста.

Для громадського пасажирського транспорту ринковим регулятором є конкуренція перевізників за досягнення оптимального відповідності попиту і пропозиції на транспортні послуги, заснована на ціновому і нецінових факторів. Відомо, що в останні роки галузь автомобільних пасажирських перевезень зазнала значні зміни, які виражені у зміні державних автопідприємств на велику кількість підприємств різної форми господарювання, структура рухомого складу часто

не відповідає ситуації на ринку транспортних послуг, зростання об'ємів пасажирських перевезень і дорожнього руху проходить в умовах відставання темпів розвитку дорожньої інфраструктури [1, с. 161-164].

Це свідчить, що невідкладне завдання по підвищенню якості автобусних перевезень поширюється одночасно на всіх учасників транспортного процесу: пасажирів, перевізників, суспільство.

Усунути вище враховані недоліки можливо на основі визначення основних показників розвитку маршрутної мережі міста та створенні механізму впровадження концепції ефективності і якості транспортних послуг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Основними напрямками реалізації Національної Транспортної стратегії України на період до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету

Міністрів від 30.05.2018 № 430-р, визначені пріоритети комплексного формування транспортної політики та ефективного державного управління, задоволення потреб населення у перевезеннях та забезпечення правової конкурентоспроможності [2, с. 3].

Сучасні наукові підходи формування нових і вдосконалення існуючих маршрутних мереж у містах країни розглядаються в роботах Сахно В.П., Горбачова П.Ф., Біліченка В.В., Форнальчика Є.Ю., Долі К.В., Мурованого І.С., Гульчак О.Д., Толока О.В. та інших.

Міські транспортні системи в Україні характеризуються високим завантаженням транспортної мережі, збільшенням часу затримки пасажирського транспорту біля зупиночних пунктів, що призводить до утворення загорів біля них. В зв'язку з цим знижується безпека і швидкість сполучення міського пасажирського транспорту [3, с. 134].

У роботі [4, с. 132] обґрунтовані критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розроблений метод, що забезпечує автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях. Отримані результати досліджень свідчать, що застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» на ізольованому регульованому перехресті дає змогу зменшити на 87% середню затримку автобусів порівняно з адаптивним керуванням без забезпечення пріоритету автобусів.

Науковці у роботі [5, с. 16] пропонують для визначення привабливості різних типів транспортних засобів на маршрутах міського громадського транспорту враховувати такі чинники, як вартість проїзду, час переміщення та динамічний коефіцієнт використання місткості транспортного засобу а також рівень доходу користувачів транспортних послуг.

Актуальним є комплексне обстеження пасажиропотоків маршрутної мережі міст Запоріжжя і Кременчука за критерієм тривалості пересування пасажирів, оптимальної структури транспортних засобів з метою заміни рухомого складу на автобуси великого та середнього класів [6, с. 312. 7, с. 163].

Для вирішення задачі маршрутизації міського пасажирського транспорту доцільно застосовувати евристичний алгоритм [8, с. 46], який дозволяє отримати раціональний варіант маршрутної мережі з урахуванням наявності транспортних засобів та можливостей їх оновлення. Показано, що подальше упорядочення маршрутної мережі пасажирських перевезень в м. Вінниці доцільно проводити за критеріями використання автобусів великої пасажиромісткості а також водночас оновлення парку тролейбусів.

Авторами статті [9, с. 36] запропоновано методу за результатами дослідження режимів руху маршрутного автомобільного пасажирського транспорту в центральній частині м. Харкова. Визначена доцільність використання екологічно чистих транспортних засобів з невисокою максимальною швидкістю руху.

У роботі [10, с. 17] представлена математична модель функціонування міського автобусного маршруту у вигляді імітаційної динамічної моделі з двома одночасними режимами руху транспортних засобів, один з яких звичайний, а інший комбінований. Застосування розробленої методики оптимізації дозволяє вибрати домінуючі параметри маршруту, які визначають організацію процесів перевезень пасажирів у часі.

Узагальнюючи огляд останніх досліджень і публікацій можна зробити висновок, що проблемі вдосконалення міської маршрутної мережі повинна передувати розробка концепції розвитку пасажирських перевезень.

Постановка завдання. Встановлення рівня якості функціонування міської маршрутної автобусної мережі на підставі загального обстеження (на прикладі м. Житомира) і визначення основних критеріїв розвитку.

Виклад основного матеріалу і дослідження. Доцільно вважати, що методичні підходи по вдосконаленню маршрутної мережі міських автобусних маршрутів великих, середніх і малих міст повинні відрізнятися по технологічним підходам. Це визвано тим, що автобусний транспорт у містах різної величини відіграє свою роль у забезпеченні потреб населення у перевезеннях (інфраструктурні особливості, наявність лінії метро, швидкісного трамваю і т.і.).

Система міського пасажирського транспорту повинна, з одного боку, створювати можливість комфортного і безпечного пересування пасажирів при найменших як тимчасових, так і грошових витратах, а з іншого – відповідати пропускній спроможності вулично-дорожній мережі (ВДМ), мінімізувати навантаження на навколишнє середовище, а також забезпечувати безпеку дорожнього руху. Це вимагає вдосконалення існуючих, а також розробки нових методів управління міськими транспортними системами, впровадження яких дозволить громадському транспорту скласти гідну конкуренцію поїздам на особистих автомобілях.

Міський пасажирський транспорт в м. Житомирі налічує 22 міських автобусних маршрутів загального користування, на яких задіяно більше 150 автобусів та 19 тролейбусних маршрутів, за

якими закріплено 152 одиниці тролейбусів. Наявний один трамвайний маршрут обслуговує муніципальне трамвайно тролейбусне підприємство, де в розпорядженні знаходиться 30 трамвайних вагонів. Загальна довжина автобусної маршрутної мережі становить 242 км, а електротранспорту міста, відповідно -125 км. Для зручності пасажирів, майже вся територія міста знаходиться у межах крокової доступності. Перевезення пасажирів автобусами здійснюється у двох режимах руху – звичайному, як основного виду перевезень, та у режимі маршрутного таксі.

Комплексне обстеження здійснювалось на міських автобусних маршрутах загального користування в місті Житомирі, рис. 1.

Основні характеристики міських маршрутних систем визначені за підходами [8, с. 46]:

- маршрутний коефіцієнт;
- середня довжина маршруту;
- коефіцієнт розгалуженості маршрутів.

Критерії визначення складності автобусного маршруту за умовами експлуатації представлені у роботі [1, с. 164].

Маршрутний коефіцієнт K_m характеризує розгалуженість маршрутної мережі. Даний коефіцієнт визначається як відношення суми довжин усіх маршрутів до суми довжин вулиць, по яким проходять ці маршрути:

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n l_{mi}}{\sum_{j=1}^m l_{cj}}, \quad 1.1$$

де, l_{mi} - довжина i -го маршруту, км; $i = (1; n)$; n - кількість маршрутів; l_{cj} - протяжність j -ї ділянки транспортної мережі, по яким проходять маршрути пасажирського транспорту, км; j - число ділянок транспортної мережі.

При розрахунках враховано, що по одній ділянці транспортної мережі проходить декілька маршрутів. Маршрутний коефіцієнт показує скільки в середньому маршрутів проходить по кожній ділянці транспортної мережі і характеризує очікувану кількість напрямлень, в яких пасажир може їхати з кожної точки мережі. Чим він більший, тим більше прямих зв'язків між мікрорайонами населеного пункту, що відповідно

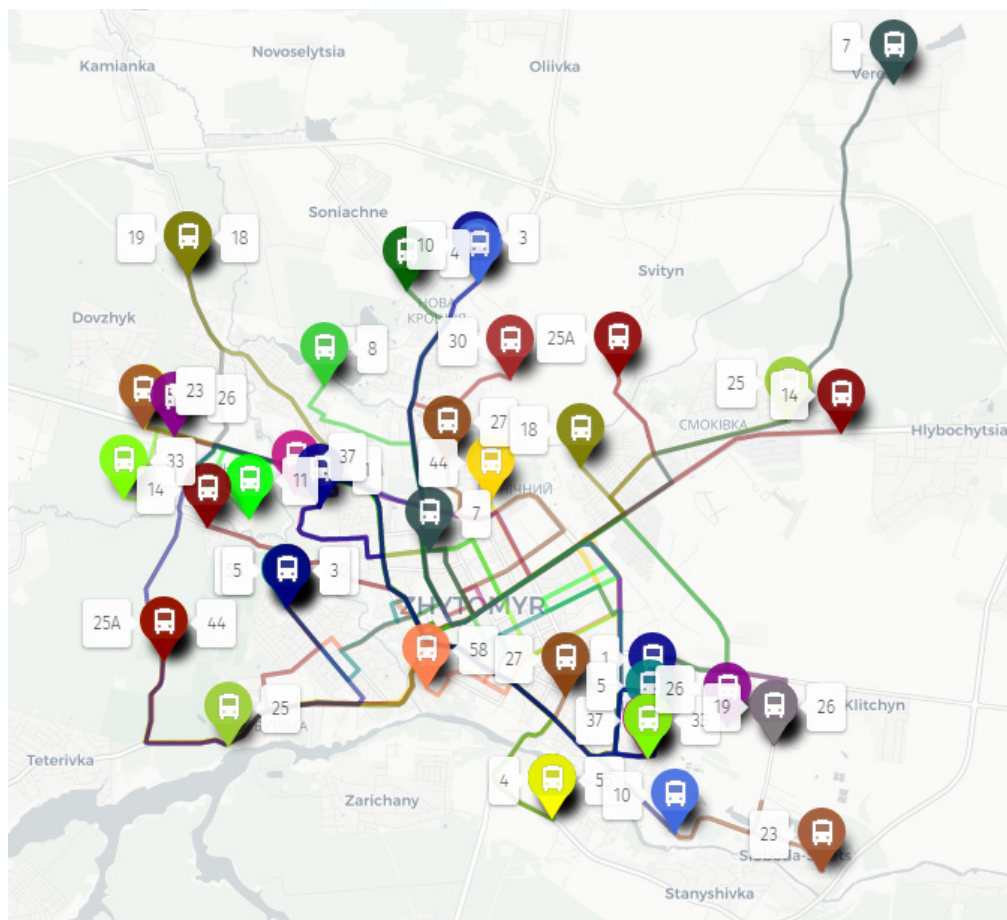


Рис. 1. Інтерактивна схема автобусної маршрутної мережі м. Житомира

характеризує про недоцільність частих пересадок пасажира при переїздах. Для добре розвинутої маршрутної мережі міста значення коефіцієнта знаходиться в межах: $K_m + 2 \dots 3,5$ і навіть більше.

Інформація отримана на підставі результатів обстеження пасажиропотоків [11, с. 7-9], сформована в матрицю в якій вказано кількість поїздок пасажирів за певний час. Крім того, для оптимізації маршрутної системи необхідно мати дані про пасажирооборот.

Середня довжина маршруту l_{cp} представляє собою середнє значення протяжності усіх маршрутів:

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{mi}}{n} \quad 1.2$$

Середня довжина маршруту безсумнівно впливає на величину експлуатаційної та технічної швидкості, використання пасажиромісткості рухомого складу, режиму роботи водіїв по змінності, експлуатаційні витрати і т.і. Значення середньої довжини маршруту доцільно пов'язувати з розмірами міста. Експертний аналіз маршрутних систем міст показав, що середня протяжність маршрутів знаходиться в межах 3...4 середніх відстаней поїздки пасажира l_{nac} . Мінімальна довжина будь якого маршруту не повинна бути менше l_{nac} , а максимальна не повинна бути більша за численне значення експлуатаційної швидкості V_e .

Коефіцієнт розгалуженості маршруту K_n – це показник відхилення траси маршруту від направлення руху пасажира по найкоротшій відстані що сполучає кінцеві пункти маршруту і визначається за підходом [12, с. 199]:

$$K_n = \frac{l_m}{l_o} \quad , \quad 1.3$$

де, l_m – довжина маршруту, км; l_o – відстань між кінцевими пунктами (по повітряній лінії, км).

Значення цього коефіцієнту свідчить про найкоротший шлях слідування пасажирів. Тому із зростанням коефіцієнта розгалуженості пов'язано збіль-

шення витрат на перевезення, витрати часу пасажирів на поїздки, непродуктивний пробіг автобусів.

Одним з головних показників оцінки планувальної структури міста є щільність ВДМ, яка визначається за формулою [13, с. 47]:

$$\delta = \frac{L_m}{S_m} \quad 1.4$$

де, δ – щільність ВДМ міста, км/км²,

L_m – сумарна довжина ВДМ, км,

S_m – площа території міста, км².

Щільність транспортної мережі, це протяжність шляхів сполучення, які припадають на 1 тис.км² площі регіону (міста) і можуть бути рекомендовані наступні значення [12, с. 202]:

У містах середня щільність транспортної мережі коливається в межах 2,0–2,5 км². У центральній частині великих міст цей показник може наближатися до 6 км².

Розраховані показники внаслідок дослідження заносимо у таблицю 2.

За результатами обстеження можна зробити наступні висновки: маршрутний коефіцієнт виходить за рекомендовані межі, так як його рекомендовані значення знаходяться в межах 1,5...2,5 км/км², це показує про дещо підвищену насиченість міської території маршрутним міським транспортом і може свідчити про середню дальність підходів пасажирів до зупинки. Щільність маршрутної мережі, розгалуженість маршрутів знаходиться у допустимих межах. Значно збільшений інтервал руху автобусів за рахунок коефіцієнту випуску і непередбачуваних відмов на лінії в поєднанні зменшеної кількості автобусів на маршруті у вечірні години.

Значення середньої технічної швидкості V_m на міських автобусних маршрутах мають понижені показники (межі $V_m = 25..30$ км /год.). Технічна швидкість найбільш повно характеризує швидкісні властивості при русі в певних умовах експлуатації і підходи її визначення представлені у роботі [14, с. 63-65].

Таблиця 2

Основні показники розвитку маршрутної мережі м. Житомира

Показник	Одиниця виміру	Значення показника	
		фактичний	довідковий
Маршрутний коефіцієнт, K_m	од.	3,27	Не надався
Щільність, δ	км/ км ²	1,84	2,5
Середня відстань поїздки, l_{cp}	км	5,3	5,3
Розгалуженість маршруту, K_n	од.	1,24	1,17
Інтервал руху автобусів, \bar{t}_{cp}	хв.	23,5	10,0
Середня технічна швидкість, V_t	км/год	22,8	28,0
Термін експлуатації автобусів	роки	5	5
Розгалуженість маршрутних схем міста автобусних маршрутів	од.	2,1	2,5

Одним з основних напрямлень досконалості перевізного процесу в автомобільній галузі є підвищення енергетичної ефективності міських автобусних перевезень. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності, отриманню відповідного соціального ефекту від стримання зростання тарифів на перевезення [15, с. 237].

З транспортної точки зору, маршрутна мережа міського пасажирського транспорту повинна бути координованою у просторі і часі по зовнішніх та внутрішніх зв'язках з системою приміського і міського транспорту всіх типів, забезпечувати максимально рівномірний розподіл пасажиропотоку по довжині маршрутів, забезпечувати мінімальний інтервал між поїздками і максимальну швидкість сполучення [16, с. 2967].

Подальшим першочерговим завданням по удосконаленню маршрутної мережі пасажирських перевезень у місті має полягати у створенні механізму впровадження концепції ефективності і якості транспортних послуг, які надаються підприємствами пасажирського транспорту:

1. оновлення парку маршрутних автобусів з відповідним рівнем комфорту і екологічної безпеки;
2. досягати збільшення технічної швидкості впровадженням автоматичної системи управління рухом і збільшенням пропускної здатності ВДМ;
3. забезпечення пріоритетних умов руху пасажирському маршрутному транспорту (організація виділених смуг для руху, забезпечити пріоритетний сигнал на світлофорних об'єктах);
4. підвищити доступність до пасажирського транспорту усім верствам населення, використовувати системи GPS– моніторингу, які в режимі реального часу інформують про прибуття транспорту на зупинку;

5. забезпечити інвестиційну привабливість шляхом оптимізації автобусних маршрутів та правової конкуренції перевізників.

З введенням в автотранспортних підприємствах сучасного моніторингу роботи автобусів на міських маршрутах за допомогою GPS– навігації назріла потреба у створенні системи отримання оперативної інформації з метою прийняття рішення щодо зменшення витрати палива. Це є актуальним при контролі витрати палива автобусами з кондиціонером [17, с. 66].

Раціонально організована і якісна робота громадського транспорту дозволяє забезпечувати сталий розвиток країни та окремих міст і регіонів.

Висновки. Розвиток громадського транспорту багато в чому залежить від гармонійного поєднання загальних принципів державної транспортної політики та врахування регіональних особливостей міст і населених пунктів, а також системи поглядів суспільства і владних структур на проблему мобільності в цілому. Сформовано основні завдання по вдосконаленню маршрутної системи міста в частині якості надання послуг. Вирішенню питань вдосконалення маршрутної мережі міста, повинно передувати розробка концепції розвитку пасажирських перевезень.

Подальша реалізація цього підходу може бути направлена на нові розробки по прогнозуванню попиту транспортної привабливості при автобусних перевезеннях на міських маршрутах та підвищення екологічних показників рухомого складу. З метою зменшення впливу на забруднення атмосферного повітря на вулицях міста відпрацьованими газами від транспортних засобів електрифікація автобусного парку може розглядатись як одне з потенційних рішень.

Список літератури:

1. Чуйко С.П. Визначення складності автобусного маршруту за умовами експлуатації. Вісник ЖДТУ. Житомир : ЖДТУ, 2018. № 2 (82). С. 160–165.
2. Урядовий портал органів виконавчої влади України. Київ. 2018. URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/proshvalennya-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku> (дата звернення 17.06.2022).
3. Хітров І.О., Кристопчук М.Є., Пашкевич С.М. Моделювання параметрів функціонування зупиночних пунктів громадського пасажирського транспорту. Вісник машинобудування та транспорту. 2019.– Вінниця: ВНТУ, – № 2(10). С.134-140.
4. Зубачик Р.М. Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста: дис... канд. техн. наук: 05.22.01. НУ «Львівська політехніка», Львів. 2015.185 с.
5. Аулін В. В., Голуб Д.В. Теоретичне обґрунтування прогнозування розподілу попиту пасажирів на послуги різних типів міського транспорту. Вісник ЖДТУ: Сер. Технічні науки. 2014. № 2(69). С. 16 – 20.
6. Кузькін О.Ф. Аналіз розвитку та рівня якості послуг громадського транспорту Запоріжжя. Журнал Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 29(68) № 2, 2018. С 305-313.
7. Мороз М.М. Удосконалення транспортної системи пасажирських перевезень м. Кременчук. Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво).– Вип. 2 (41). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – С. 156–164.

8. Біліченко В.В. Проблеми та перспективи розвитку маршрутної мережі пасажирських перевезень у м. Вінниці. Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". Луцьк, 2014. Випуск № 45. С. 42-47.
9. Горбачов П.Ф., Воронков А.І., Колій О.С., Нікітченко І.М. Параметри руху маршрутного автомобільного пасажирського транспорту в центральній частині м. Харкова. Вісник ХНАДУ, вип.60, 2013. С. 34-37.
10. Гульчак О. Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 / Гульчак Оксана Дмитрівна. – Київ, НТУ:2005. -25 с.
11. Рудзінський В.В., Маяк М.М., Мельничук С.В., Рафальський О.І., Чуйко С.П. Обстеження пасажиропотоків на транспорті загального користування м. Житомир та оцінка основних техніко-експлуатаційних параметрів для вибору міських автобусів. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Науковий журнал. Серія «Технічні науки». – Житомир: ЖДТУ, 2016. – № 2(77) – С. 6-9.
12. Маруніч В.С., Шморгун Л.Г. та ін. Організація та управління пасажирськими перевезеннями: підручник/ за ред. доц. В.С. Маруніч, проф. Л.Г. Шморгуна – К.: Міленіум, 2017. – 528 с.
13. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посібник / К. Є. Вакуленко, К. В. Доля ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 257 с.
14. Маяк М.М., Мельничук С.В., Головня Р.М., Чуйко С.П. До питання визначення технічної швидкості міського маршрутного автобуса в залежності від умов експлуатації. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. Луцьк: ЛНТУ.1018. № 1(10). С. 58-65.
15. Чуйко С.П. Кравченко О.П. Зниження енергоємності перевізного процесу міського автобуса по контролю витрати палива. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції, 25-27 жовтня 2021р. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 237-240.
16. Біліченко В. В. Методичні підходи до вдосконалення міської маршрутної мережі. Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ. Вінниця, 22-24 березня 2017р. С. 2967-2969.
17. Чуйко С.П., Кравченко О.П. Особливості управління витратою палива міських автобусів в системі супутникового моніторингу. Транспорт та логістика: Сучасні виклики та перспективи розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 18 листопада 2021р. Одеса: ДУ ІПЕЕД НАН України, 2021. С. 66-69.

Chuiko S.P., Shumlyakivsky V.P. AIN PARAMETERS AND THE SUBJECT OF THE ROUTE NETWORK DEVELOPMENT OF THE BUS CITY TRANSPORTATION

The existing transport infrastructure of the urban transportation by buses requires further modernization. It is necessary to increase the investment attractiveness of the transport by ensuring the development of a legal competitive environment, the introduction of the latest mutually beneficial technologies for both service users and carriers, to increase the accessibility of the population and the safety of the transportation to achieve the objectives of the efficiency of the urban transport system functioning and the quality of transport services.

Based on the results of the survey, the main characteristics of the route network of Zhitomir are established; and the approaches of scientists to improve the transport service of city passenger operations are analyzed in this paper. The level of the transport services quality was determined and new technical solutions were provided to improve the transport system of the city, calculations of the main indicators of the city route system were made. The route coefficient characterizing the branching of the route network and, according to the results of the survey, goes beyond the recommended limits is calculated. This shows a somewhat increased density of the urban area with public transport and may indicate the average distance of passengers' way to the bus stop. It is shown that the city transport network is characterized by the density (δ), that is, the vehicle population of the city area with bus transport lines.

The higher the density of the route network is, the less time passengers spend on approaching stops. The most important function of the transport system is to meet the needs of city residents in transportation. An important factor affecting the operation of the transport system is a road safety, which is ensured by the quality of the transportation and is assessed by the comfort of vehicles, the average interval of vehicles on the route and the speed of delivery.

Key words: transport system, passenger operations, route network, city bus.

БУДІВНИЦТВО

УДК 614.841

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/53>

Семичаєвський С.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Присяжнюк В.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Осадчук М.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ОБҐРУНТУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ І МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЗАХИСНОГО СПОРЯДЖЕННЯ ПОЖЕЖНИКА ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ НАТУРНИХ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ

У цій публікації наведено актуальність проведення дослідження, направлено на впровадження в Україні відповідного національного стандарту, що встановлює сучасний метод оцінювання комплексного проведення натурних вогневих випробувань захисного спорядження пожежника. Акцентовано увагу на необхідності реалізації вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд з метою забезпечення безпечності рятувальних команд під час гасіння пожежі.

Наведено сутність методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань. Зазначено, що на теперішній час в існуючих чинних нормативних документах в країнах ЄС та світу відсутній метод та загальний підхід до реалізації натурних вогневих випробувань спеціального захисного спорядження пожежника у комплексі. В Україні відсутні лабораторії, які можуть реалізувати такий метод випробувань, навіть в європейських країнах таке устаткування не всюди є, зокрема таке устаткування мають такі країни, як США, Великобританія, Швейцарія та Німеччина.

Описано загальні принципи методу випробування для оцінювання показників якості предметів одягу або сукупності елементів захисного одягу в умовах спалаху полум'я, а також інших короточасних впливів. Акцентовано увагу на тому, що результатами цих випробувань потрібно користуватися для оптимізації комбінацій та будови предметів одягу. В той же час, цим методом не можна користуватися для оцінювання властивостей матеріалів або пакетів матеріалів, з яких виготовлено предмет одягу, за винятком випадків, коли зразки для випробування однакові за розмірами. Крім того, цим методом не можна користуватися для опису та оцінювання пожежної небезпеки й пожежного ризику в умовах реальної пожежі. Разом з тим, результатами цього випробування можна користуватися як елементами оцінки пожежного ризику, що враховують усі чинники, які потрібно брати до уваги під час оцінювання пожежної небезпеки в умовах певного виду використання. Це випробування забезпечує можливість визначення реакції матеріалу на тепловий вплив та показників якості предмета одягу, що міститься на стаціонарному вертикальному встановленому манекені.

Цей метод випробування не передбачає оцінювання впливу місцеположення тіла і рухів. Також цей метод випробування не застосовний для оцінювання ефективності захисту кистей рук і ступень. Визначено основні питання, що підлягають дослідженню в рамках науково-дослідної роботи «Захисне спорядження – натурні випробування».

Ключові слова: манекен, метод комплексного оцінювання, натурні вогневі випробування, спеціальне захисне спорядження пожежника.

Вступ. На сьогоднішній день для виконання завдань за призначенням пожежно-рятувальні підрозділи України використовують низку різного (як за захисними властивостями так і за типами) спеціального захисного спорядження. Під час вибору захисного спорядження не враховується низка небезпечних факторів, які можуть виникнути під час гасіння пожеж тому існуюче спорядження не може в повній мірі захистити пожежника від дії тих або інших небезпечних факторів, які виникають на пожежі. Існуючі на сьогоднішній день в Україні національні стандарти встановлюють лише мінімальні технічні вимоги до такого спорядження, а також передбачають проведення випробувань на окремих його елементах, що не в повній мірі достатньо для перевірки їх основних захисних властивостей. В результаті чого недоброякісна продукція потрапляє на оснащення у ці підрозділи. Тому для недопущення застосування такого неякісного захисного спорядження необхідно проаналізувати показники якості, критерії їх оцінювання та запровадити в Україні комплексну оцінку готових виробів спеціального захисного спорядження шляхом проведення відповідних натурних вогневих випробувань.

Вищезазначене обумовлює актуальність проведення дослідження, направлено на впровадження в Україні відповідного національного стандарту, що встановлює сучасний метод оцінювання комплексного проведення натурних вогневих випробувань захисного спорядження пожежника. Це необхідно для реалізації вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд з метою забезпечення безпечності рятувальних команд під час гасіння пожеж.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У звіті [1] наведено результати пошукової науково-дослідної роботи з визначення шляхів удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання. В той же час у цій роботі не наведено результатів обґрунтування показників якості і методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань.

Мета та завдання дослідження. Для сприяння у вирішенні зазначеної проблеми з метою удосконалення вимог до якості спеціального захисного спорядження пожежника та обґрунтування положень проекту відповідного національного стандарту України в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту за

замовленням ДСНС України виконується науково-дослідна робота за темою: «Обґрунтування показників якості і методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань» («Захисне спорядження – натурні випробування»).

Для досягнення поставленої мети в цій публікації необхідно вирішити такі задачі:

– дослідити сутність методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань;

– визначити основні питання, що необхідно дослідити в рамках зазначеної науково-дослідної роботи.

Сутність методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань

На теперішній час в існуючих чинних нормативних документах в країнах ЄС та світу відсутній метод та загальний підхід до реалізації натурних вогневих випробувань спеціального захисного спорядження пожежника у комплексі. В Україні відсутні лабораторії, які можуть реалізувати такий метод випробувань, навіть в європейських країнах таке устаткування не всюди є, зокрема таке устаткування мають такі країни, як США, Великобританія, Швейцарія та Німеччина.

Проведення натурних вогневих випробувань спеціального захисного спорядження пожежника передбачено тільки на окремих видах захисного спорядження, зокрема на захисному одязі пожежника згідно з вимогами ДСТУ EN 469 [2], тепловідбивному захисному одязі пожежника згідно з вимогами ДСТУ EN 1486 [3] та касці пожежника згідно з вимогами ДСТУ EN 443 [4]. Для всіх інших видів захисного спорядження такий метод не передбачено.

Згідно з додатком Е ДСТУ EN 469 [2] передбачено метод випробування предметів одягу в цілому, а саме описано загальні принципи методу випробування для оцінювання показників якості предметів одягу або сукупності елементів захисного одягу в умовах спалаху полум'я, а також інших короточасних впливів. Цей метод випробування характеризує захист від тепла, який забезпечують предмети одягу, і ґрунтується на вимірюванні теплопередачі до манекена, виготовленого в натуральну величину, якого піддають імітованому впливові спалаху полум'я в лабораторних умовах за контрольованих густини теплового потоку, тривалості впливу і розподілу полум'я. Результати вимірювання теплопередачі можна використовувати також у розрахунку прогнозованої

важкості опіків у результаті теплового впливу. Крім того, здійснюють записи щодо загальної реакції предмета одягу на тепловий вплив під час випробування та після нього.

Одержані результати застосовні тільки до конкретних предметів одягу або їх сукупності, які піддавали випробуванню, і тільки за заданих теплових умов під час кожного досліду, особливо з огляду на густину і тривалість впливу теплового потоку, а також розподіл полум'я. Для цілей цього методу випробування густину теплового потоку, що надходить, обмежують номінальною величиною 80 кВт/м^2 . Цим додатком потрібно користуватися для вимірювання та опису реакції на тепловий вплив виробів і предметів одягу, а також сукупності предметів одягу в умовах передавання теплоти конвекцією або випромінюванням у контрольованих лабораторних умовах.

Результатами цих випробувань потрібно користуватися для оптимізації комбінацій та будови предметів одягу. В той же час, цим методом не можна користуватися для оцінювання властивостей матеріалів або пакетів матеріалів, з яких виготовлено предмет одягу, за винятком випадків, коли зразки для випробування однакові за розмірами. Це зумовлено тим, що на результати випробування значно впливають показники якості зразка та його розташування на манекені. Крім того, цим методом не можна користуватися для опису та оцінювання пожежної небезпеки й пожежного ризику в умовах реальної пожежі. Разом з тим, результатами цього випробування можна користуватися як елементами оцінки пожежного ризику, що враховують усі чинники, які потрібно брати до уваги під час оцінювання пожежної небезпеки в умовах певного виду використання.

Це випробування забезпечує можливість визначення реакції матеріалу на тепловий вплив та показників якості предмета одягу, що міститься на стаціонарному вертикально встановленому манекені. Цей метод випробування не передбачає оцінювання впливу місцеположення тіла і рухів. Також цей метод випробування не застосовний для оцінювання ефективності захисту кистей рук і ступень.

Метод передбачає оцінювання захисних властивостей матеріалів, які використовують у складі одягу, а також будови зразка для випробування, який є предметом одягу або їх сукупністю. Показники якості залежать як від матеріалів, які використано у складі одягу, так і від його будови. Зразок для випробування одягають на манекен, що відтворює розміри тіла дорослої людини, за звичайних

атмосферних умов, і піддають імітованому впливові спалаху пожежі в лабораторних умовах за контрольованих густини і тривалості теплового потоку та розподілу полум'я. Методику випробування, збирання даних, а також складання протоколу випробування реалізують із використанням комп'ютерного обладнання і комп'ютерних програм.

Тепловий потік, який проходить через зразок для випробування під час теплового впливу на нього та після цього впливу, вимірюють за допомогою давачів теплового потоку. Результатами цих вимірювань користуються для обчислення площ ділянок, на яких виникають опіки першого, другого та третього ступенів, а також сумарної площі ділянок, на яких виникли опіки в результаті впливу спалаху полум'я. Реєструють ідентифікаційні ознаки зразка предмета одягу для випробування, умови проведення випробування, опис компонентів і пояснення стосовно мети випробування та реакції зразка для випробування на тепловий вплив, ці дані є частиною протоколу випробування. Показники якості зразка для випробування подають у формі розрахунку сумарного теплового потоку, що передається, сумарної площі ділянок, на яких виникають опіки, а також особливостей реакції зразка на тепловий вплив, наявних під час випробування.

Згідно з додатком Е ДСТУ EN 469 [2] потрібно користуватися вертикально встановленим манекеном, який за формою та розмірами відповідає дорослій людині чоловічої статі. Схему манекену, оснащеного засобами вимірювальної техніки наведено на рисунку 1, а його загальний вигляд наведено на рисунку 2.

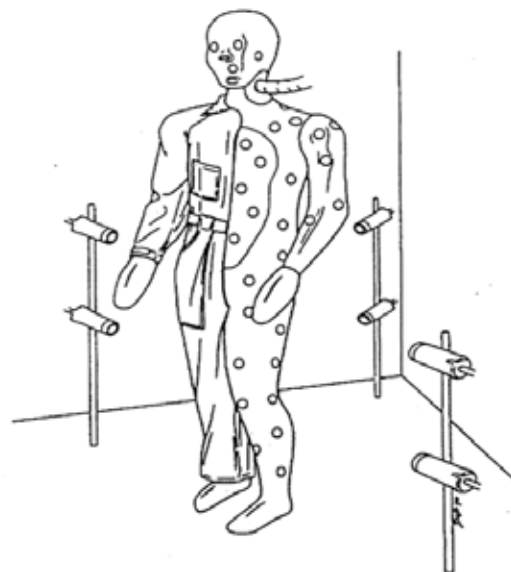


Рис. 1. Схема манекену, оснащеного засобами вимірювальної техніки



Рис. 2. Загальний вигляд манекену, оснащеного засобами виміральної техніки

Аналіз основних питань, що підлягають дослідженню в рамках науково-дослідної роботи «Захисне спорядження – натурні випробування»

Враховуючи вищенаведене, для досягнення мети науково-дослідної роботи «Захисне спорядження – натурні випробування» дослідженню підлягатимуть такі питання, а саме:

– аналіз нормативних документів, літературних та інших джерел інформації стосовно існуючих вимог до показників якості і методу оцінювання комплексного проведення натурних вогневих випробувань захисного спорядження пожежника, які впроваджено в міжнародних, регіональних і національних стандартах;

– проведення робіт зі створення та встановлення на пожежно-випробувальному полігоні ІДУ НД ЦЗ випробувального обладнання, необхідного для проведення експериментальних досліджень та комплексного проведення натурних вогне-

вих випробувань спеціального захисного спорядження пожежника;

– підготовка програми і методики комплексного проведення натурних вогневих випробувань спеціального захисного спорядження пожежника;

– проведення натурних вогневих випробувань спеціального захисного спорядження пожежника з метою комплексної оцінки елементів спеціального спорядження в умовах спалаху полум'я, а також інших короткочасних впливів;

– обґрунтування показників якості і методу оцінювання комплексного проведення натурних вогневих випробувань захисного спорядження пожежника;

– розроблення проекту національного стандарту України, що встановлює сучасний метод оцінювання комплексного проведення натурних вогневих випробувань захисного спорядження пожежника.

Висновки.

1. Встановлено сутність та особливості методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань.

2. Визначено основні питання, які підлягатимуть дослідженню в рамках науково-дослідної роботи стосовно обґрунтування показників якості і методу комплексного оцінювання захисного спорядження пожежника під час проведення натурних вогневих випробувань.

3. Впровадження результатів науково-дослідної роботи сприятиме збереженню життя та здоров'я особового складу пожежно-рятувальних підрозділів ДСНС України під час виконання завдань за призначенням завдяки підвищенню якості спеціального захисного спорядження пожежника.

Список літератури:

1. Провести пошукові дослідження та визначити шляхи удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання. Загальні технічні умови: звіт про НДР (заключний) УкрНДНЦ; кер. Борис О.П. Київ, 2016. 784 с;
2. ДСТУ EN 469:2017 (EN 469:2005; A1:2006; AC:2006, IDT). Захисний одяг для пожежників. Вимоги щодо показників якості захисного одягу для пожежників. – Введ. 2018-02-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 27 с.;
3. ДСТУ EN 1486:2010 (EN 1486:2007, IDT). Одяг захисний для пожежників. Методи випробування та вимоги до відбивального одягу пожежників. – Введ. 2012-01-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2012. – 32 с.;
4. ДСТУ EN 443:2017 (EN 443:2008, IDT). Засоби індивідуального захисту голови. Каски пожежні. – Введ. 2018-02-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 45 с.

Semychayevsky S.V., Prisyajnyuk V.V., Osadchuk M.V. JUSTIFICATION OF QUALITY INDICATORS AND METHOD OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF FIREFIGHTER'S PROTECTIVE EQUIPMENT DURING REAL FIRE TESTS

This publication shows the relevance of conducting a study aimed at the implementation in Ukraine of the relevant national standard, which establishes a modern method of evaluating the complex conduct of live fire tests of firefighter's protective equipment. Emphasis is placed on the need to implement the requirements of the Technical Regulations for construction products, buildings and structures in order to ensure the safety of rescue teams during firefighting.

The essence of the method of comprehensive evaluation of the firefighter's protective equipment during live fire tests is given. It is noted that currently in the existing regulatory documents in the EU countries and the world, there is no method and general approach to the implementation of full-scale fire tests of the special protective equipment of a firefighter in a complex. There are no laboratories in Ukraine that can implement such a test method, even in European countries such equipment is not available everywhere, in particular countries such as the USA, Great Britain, Switzerland and Germany have such equipment.

The general principles of the test method for evaluating the quality indicators of items of clothing or a set of elements of protective clothing under the conditions of a flame outbreak, as well as other short-term effects, are described. Attention is focused on the fact that the results of these tests should be used to optimize the combinations and structure of clothing items. At the same time, this method cannot be used to evaluate the properties of materials or packages of materials from which a garment is made, except when the test samples are of the same size. In addition, this method cannot be used to describe and assess fire hazard and fire risk under real fire conditions. However, the results of this test can be used as elements of a fire risk assessment that takes into account all the factors that need to be taken into account when assessing the fire hazard in the conditions of a certain type of use. This test provides an opportunity to determine the reaction of the material to thermal effects and the quality indicators of the article of clothing contained on a stationary vertically installed mannequin.

This test method does not assess the effect of body position and movements. Also, this test method is not applicable for evaluating the effectiveness of protecting hands and feet. The main issues to be investigated as part of the research work "Protective equipment - field tests" have been determined.

Key words: *mannequin, comprehensive assessment method, live fire tests, firefighter's special protective equipment.*

Семичасівський С.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Присяжнюк В.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Якіменко М.Л.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ЩОДО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗРАЗКІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗАХИСНОГО СПОРЯДЖЕННЯ ПОЖЕЖНИКА

У цій публікації наведено актуальність проведення експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків спеціального захисного спорядження пожежника, до якого відноситься: каска пожежна, підкашник для пожежників, одяг пожежника захисний, рукавички захисні для пожежників, взуття пожежника захисне та одяг пожежника захисний - тепловідбивний. Акцентовано увагу на необхідності удосконалення підходів та вимог до проведення випробувань спеціального захисного спорядження пожежника, наведених в існуючих національних стандартах та обґрунтування положень відповідного проекту національного стандарту України, що встановлюватиме класифікацію, вимоги до показників якості спеціального захисного спорядження пожежника, методи і процедури їх оцінювання. Зазначено, що дослідження проводились в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту за замовленням ДСНС України в рамках науково-дослідної роботи за темою: «Обґрунтування показників якості і методів оцінювання спеціального захисного спорядження пожежника» (код теми: Захисне спорядження – показники якості). Описано основне атестоване обладнання науково-випробувального центру інституту, яке застосовувалось під час проведення вищевказаних експериментальних досліджень. Зазначено, що експериментальні дослідження проводились за такими показниками якості, як: «поширення полум'я», «теплопередача полум'ям», «теплопередача випромінюванням», «конвективний тепловий опір», «контактна теплопередача» на сімнадцяти різних видах захисного спорядження пожежника, яке на сьогоднішній день експлуатується в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України, як іноземного так і вітчизняного виробництва. Коротко описано хід проведення відповідних експериментальних досліджень. Наведено графік підвищення температури на прикладі зразку № 1 пакета матеріалів виробника № 1 захисного одягу пожежника. Приведено табличні результати експериментальних досліджень на прикладі зразків захисного одягу пожежника за показниками якості «обмеження поширення полум'я» та «конвективне тепло».

Ключові слова: експериментальні дослідження, методи випробувань, спеціальне захисне спорядження пожежника.

Вступ. На сьогоднішній день для виконання завдань за призначенням підрозділами ДСНС України використовується низка різного (як за технічними характеристиками так і за типом) спеціального захисного спорядження, яке не завжди може захистити пожежника від дії тих або інших небезпечних факторів, які виникають на пожежі [1]. До такого спорядження відноситься: каска пожежна, підкашник для пожежників, одяг пожежника захисний, рукавички захисні для пожежників, взуття пожежника захисне та одяг пожежника захисний - тепловідбивний.

У статті [2] було зазначено доцільність проведення дослідження, направленого на впрова-

дження в Україні сучасних вимог до показників якості спеціального захисного спорядження пожежника, методів і процедур їх оцінювання. Одним з етапів вказаного дослідження є проведення експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків такого захисного спорядження.

Актуальність зазначених вище експериментальних досліджень полягає в необхідності удосконалення підходів та вимог до проведення випробувань спеціального захисного спорядження пожежника, наведених в існуючих національних стандартах та обґрунтування положень

проекту національного стандарту України, що встановлюватиме класифікацію, вимоги до показників якості спеціального захисного спорядження пожежника, методи і процедури їх оцінювання. Це необхідно для реалізації вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд з метою забезпечення безпечності рятувальних команд під час гасіння пожеж.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У звіті [3] наведено результати пошукової науково-дослідної роботи з визначення шляхів удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання. В той же час у цій роботі не наведено результатів експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків спеціального захисного спорядження пожежника.

Мета та завдання дослідження. Для сприяння у вирішенні зазначеної проблеми з метою удосконалення підходів та вимог до проведення випробувань спеціального захисного спорядження пожежника, наведених в існуючих національних стандартах та обґрунтування положень проекту національного стандарту України в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту за замовленням ДСНС України виконується науково-дослідна робота за темою: «Обґрунтування показників якості і методів оцінювання спеціального захисного спорядження пожежника» (код теми: Захисне спорядження – показники якості), в рамках якої проведено низку експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків спеціального захисного спорядження пожежника.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз результатів експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків спеціального захисного спорядження пожежника.

Аналіз результатів експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків спеціального захисного спорядження пожежника

Експериментальні дослідження проводились за такими показниками якості: «поширення полум'я», «теплопередача полум'ям», «теплопередача випромінюванням», «конвективний тепловий опір», «контактна теплопередача» з використанням методів випробувань, наведених в ДСТУ EN 15090:2017 [4], ДСТУ EN 469:2017 [5], ДСТУ EN 659:2017 [6], ДСТУ EN

13911:2015 [7], ДСТУ EN 1486:2010 [8], ДСТУ EN 443:2017 [9] тощо.

Експериментальні дослідження проводились на 17 різних видах спеціального захисного спорядження пожежника, яке на сьогоднішній день експлуатується в пожежно-рятувальних підрозділах України, як іноземного так і вітчизняного виробництва, а саме:

- 5 типах захисного одягу пожежника;
- 4 типах тепловідбивного захисного одягу пожежника;
- 4 типах підкашників для пожежників;
- 2 типах захисних рукавиць для пожежників;
- 1 типі захисного взуття;
- 1 типі пожежної каски.

Під час проведення експериментальних досліджень використовувалось атестоване обладнання науково-випробувального центру ІДУ НД ЦЗ, яке наведено на рисунках 1–5.



Рис. 1. Зовнішній вигляд установки з визначення обмеження поширення полум'я тканин



Рис. 2. Зовнішній вигляд установки з визначення теплопровідності матеріалів, що піддаються дії джерела теплового випромінювання

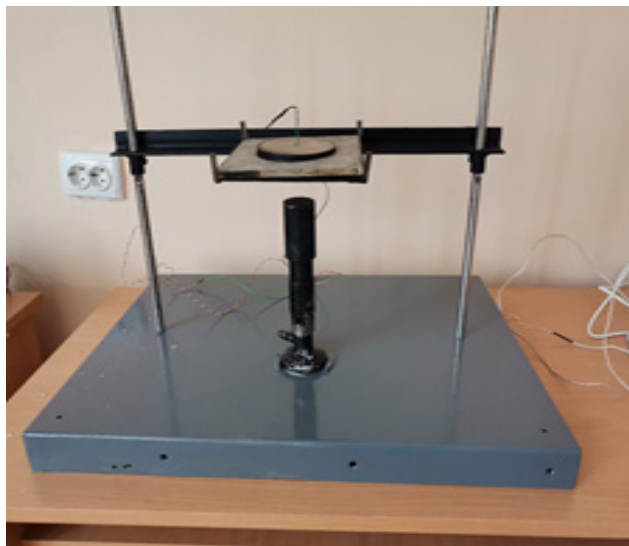


Рис. 3. Зовнішній вигляд установки з визначення теплопровідності матеріалів підданих впливові полум'я



Рис. 4. Зовнішній вигляд установки з визначення контактної теплопередачі тепла від нагрівального циліндра



Рис. 5. Зовнішній вигляд термошафи з горизонтальною циркуляцією повітря

Експериментальні дослідження зразків матеріалів, що призначені для виготовлення захисного одягу пожежника II типу за показником якості «обмежене поширення полум'я» проводились з використанням методу, наведеного у пункті 6.1 ДСТУ EN 469:2017 [5].

Перед початком досліджень 6 зразків пакета матеріалів, з яких 3 зразки зі швами та 3 зразки матеріалу верху без шва розмірами (200 ± 160) мм були піддані 5 циклам прання та сушіння відповідно до вимог пункту 5.2 ДСТУ EN ISO 11612:2018 [10]. Прання відбувалось за допомогою побутової автоматичної пральної машини.

Відповідно до ДСТУ EN ISO 15025 [11] зразок закріплювали в пристрої вертикально таким чином, щоб відстань між соплом пальника і зовнішньою стороною зразка становила (17 ± 1) мм. Тривалість дії відкритого полум'я на зразки складала (10 ± 1) с. За результатами досліджень фіксували інформацію про поширення полум'я і жевріння, а також про утворення залишків, палаючих залишків або отворів. Реєстрували час залишкового горіння і час жевріння.

Результати досліджень на прикладі зразків матеріалів захисного одягу пожежника з характеристиками матеріалів виробника № 1 на «обмеження поширення полум'я» наведено у таблиці 1.

Експериментальні дослідження зразків матеріалів, що призначені для виготовлення захисного одягу пожежника II типу за показником якості «конвективне тепло» проводились відповідно до пункту 6.2 ДСТУ EN 469 [5] за методом зазначеним згідно з ДСТУ EN ISO 9151 [12].

Під час проведення експерименту нами було досліджено всі пакети матеріалів п'яти виробників з яких виготовляється одяг. Дослідженню було піддано 15 зразків пакета матеріалів розмірами (140×140) мм.

Відповідно до ДСТУ EN ISO 9151 [12] зразок розміщували лицьовою стороною вниз на пристрій для заправки зразків, після чого поверх зразка розміщували пластину зі спеціальним отвором в яку встановлювали калориметр таким чином щоб він контактував з верхом внутрішнього шару.

Після чого пальник пересувався в потрібне положення і одночасно вмикався пристрій для реєстрації температури. Одночасно реєстрували початок нагрівання пристроєм, що реєструє, що вмикався залежно від використаного обладнання.

Випробування проводили доки температура не підвищиться на $(24,0 \pm 0,2)^\circ\text{C}$. Також вели спостереження за зразком і слідкували за виникненням

**Результати досліджень на прикладі зразків матеріалів захисного одягу пожежника
з характеристиками матеріалів виробника № 1 на «обмеження поширення полум'я»**

№ зразка	Вимоги ДСТУ EN ISO 15025 [11]	Результати досліджень	Оцінювання за ДСТУ EN ISO 11612 [10]
Пакет матеріалів, що випробувався до прання			
1	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
2			
3			
Пакет матеріалів, що випробувався після прання			
4	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
5			
6			
Пакет матеріалів зі швом по середині, що випробувався до прання			
1	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
2			
3			
Пакет матеріалів зі швом по середині, що випробувався після прання			
4	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
5			
6			
Матеріал термостійкого шару, що випробувався до прання			
1	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
2			
3			
Матеріал термостійкого шару, що випробувався після прання			
4	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
5			
6			
Матеріал водотривкого шару, що випробувався пальником по основі			
1	Реєструють час залишкового горіння і час жевріння, а також фіксують утворення палаючих залишків і утворення отворів	Зразки не горіли, не жевріли та не утворювали палаючі чи розплавлені фрагменти, під час випробувань полум'я не досягало боків та верхнього краю проби, не утворювались палаючі залишки та отвори, залишкове горіння та тління відсутні	Зразки відповідають обмеженню поширення "A1"
2			
3			

будь-яких змін на зразку протягом випробування. Після закінчення випробувань відводили пальник та вимикали пристрій для реєстрації температури. Графік підвищення температури на прикладі зразку № 1 пакета матеріалів виробника № 1 наведено на рисунку 6. Результати досліджень наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Результати досліджень на прикладі зразків матеріалів, що призначені для виготовлення захисного одягу пожежника II типу за показником якості «конвективне тепло»

№ зразка	Індекс теплопередачі ІП ₂₄ , с	Рівень експлуатаційних властивостей за ДСТУ EN ISO 11612 [10]
1	27	В 3
2	26	В 3
3	28	В 3
Середній час підвищення температури	27	–

Для кожного зразка було визначено індекс теплопередачі як середній час підвищення температури на $(24,0 \pm 0,2)^\circ\text{C}$, з точністю до цілого

числа. За результатами випробувань на всіх зразках, що випробувались були відсутні деформування, обпалювання, плавлення і капання. Спостерігалось тільки обвуглювання матеріалу верху всіх зразків у частині дії пальника.

Висновки. За результатами експериментальних досліджень спеціального захисного спорядження пожежника встановлено:

- існуючі методи випробувань не в повній мірі розкривають вимоги щодо процедур підготовки зразків до випробувань та їх необхідної кількості;
- зміст методів випробувань не містить чіткої інформації щодо необхідності проведення випробувань окремих елементів захисного спорядження;
- окремі методи випробувань потребують змін та доповнень в частині оцінки результатів випробувань;
- в цілому існуючі методи випробувань спеціального захисного спорядження пожежника, які запроваджено в Україні, дають можливість оцінити якість такої продукції;
- отримані результати експериментальних досліджень будуть враховані під час розробки національного стандарту України на спеціальне захисне спорядження пожежника.

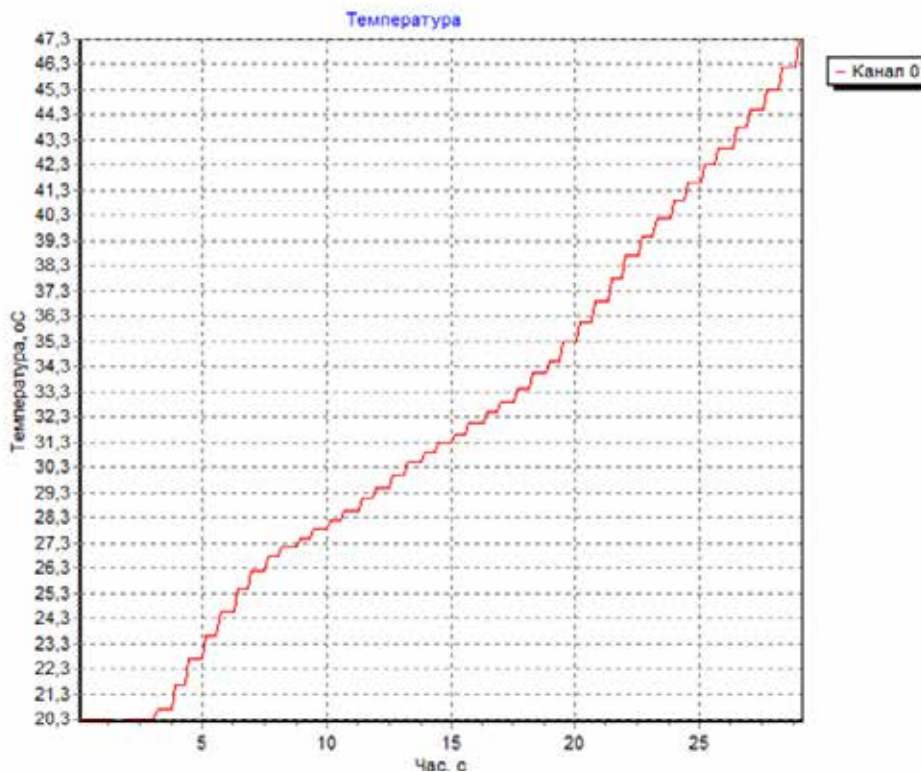


Рис. 6. Графік підвищення температури на прикладі зразку № 1 пакета матеріалів виробника № 1

Список літератури:

1. Довідник пожежного - рятувальника : П.А. Ковальов, Р.В. Пономаренко, П.Ю. Бородич. – Х.: 2017. – 114 с.
2. Присяжнюк, В.В., Щодо обґрунтування показників якості та методів їх оцінювання спеціального захисного спорядження пожежника / С. В. Семичаєвський, М. Л. Якіменко, М. В. Осадчук, В. В. // Комунальне господарство міст. – 2021. – Том 1, випуск 161. – С. 290-295.
3. Провести пошукові дослідження та визначити шляхи удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання. Загальні технічні умови: звіт про НДР (заключний) УкрНДНЦ; кер. Борис О.П. Київ, 2016. 784 с;
4. ДСТУ EN 15090:2017 (EN 15090:2012, IDT). Взуття для пожежників. – Введ. 2019-01-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 34 с.;
5. ДСТУ EN 469:2017 (EN 469:2005; A1:2006; AC:2006, IDT). Захисний одяг для пожежників. Вимоги щодо показників якості захисного одягу для пожежників. – Введ. 2018-02-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 27 с.
6. ДСТУ EN 659:2017 (EN 659:2003+A1:2008, IDT). Захисні рукавички для пожежників. Загальні технічні вимоги та методи випробування. – Введ. 2018-02-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 14 с.;
7. ДСТУ EN 13911:2015 (EN 13911:2004, IDT). Захисний одяг для пожежників. Вимоги та методи випробування протипожежних капюшонів для пожежників. Введ. 2016-01-01 – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 12 с.;
8. ДСТУ EN 1486:2010 (EN 1486:2007, IDT). Одяг захисний для пожежників. Методи випробування та вимоги до відбивального одягу пожежників. – Введ. 2012-01-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2012. – 32 с;
9. ДСТУ EN 443:2017 (EN 443:2008, IDT). Засоби індивідуального захисту голови. Каски пожежні. – Введ. 2018-02-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 45 с.;
10. ДСТУ EN ISO 11612:2018 (EN ISO 11612:2015, IDT; ISO 11612:2015, IDT). Одяг захисний. Одяг для захисту від тепла та полум'я. Мінімальні технічні вимоги. – Введ. 2018-11-15. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 28 с.
11. ДСТУ EN ISO 15025:2016 (EN ISO 15025:2002, IDT; ISO 15025:2000, IDT). Одяг захисний. Захист від тепла та полум'я. Метод випробування на обмежене поширення полум'я. – Введ. 2017-10-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 32 с.
12. ДСТУ EN ISO 9151:2018 (EN ISO 9151:2016, IDT; ISO 9151:2016, IDT). Одяг для захисту від тепла та полум'я. Визначення теплопередачі під дією полум'я. – Введ. 2018-11-15. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 27 с.

Semychayevsky S.V., Prisyajnyuk V.V., Yakimenko M.L. ON EXPERIMENTAL RESEARCH OF OPERATING CHARACTERISTICS OF SAMPLES OF SPECIAL PROTECTIVE EQUIPMENT OF A FIREFIGHTER

This publication presents the urgency of conducting experimental studies of the performance characteristics of special protective equipment of a firefighter, which includes: fire helmet, fireman's helmet, firefighter's protective clothing, protective gloves for firefighters, firefighter's protective shoes and firefighter's protective clothing - heat-reflective. Emphasis is placed on the need to improve approaches and requirements for testing special protective equipment for firefighters, provided in existing national standards and substantiate the provisions of the draft national standard of Ukraine, which will establish the classification, quality requirements for special protective equipment for firefighters, methods and procedures for their evaluation. It is noted that the research was conducted at the Institute of Public Administration and Research in Civil Protection by order of the State Emergency Service in the research work on "Substantiation of quality indicators and methods of assessing special protective equipment firefighter" (topic code: "Protective equipment - quality indicators"). The main certified equipment of the research and testing center of the institute, which was used during the above experimental studies, is described. It is noted that experimental studies were conducted on such quality indicators as: "flame spread", "flame heat transfer", "heat transfer radiation", "convective thermal resistance", "contact heat transfer" on seventeen different types of protective equipment for firefighters, which is currently operated in fire and rescue units of the State Emergency Service, both foreign and domestic. The course of the relevant experimental studies is briefly described. The graph of temperature increase on the example of sample № 1 package of materials of the manufacturer № 1 protective clothes of the firefighter is resulted. The tabular results of experimental researches on an example of samples of protective clothes of the firefighter on indicators of quality "restriction of distribution of a flame" and "convective heat" are resulted.

Key words: experimental research, test methods, special protective equipment for firefighters.

Семичаєвський С.В.

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ПРО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗРАЗКІВ ОДЯГУ ПОЖЕЖНИКА ЗАХИСНОГО – ТЕПЛОВІДБИВНОГО

У цій публікації наведено актуальність проведення експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного, що є одним із видів спеціального захисного спорядження пожежника та який використовується в сукупності з іншим спорядженням та призначений для захисту пожежника під час гасіння пожеж і проведення пожежно-рятувальних робіт в умовах високої температури навколишнього середовища, інтенсивного теплового випромінювання та тривалої дії відкритого полум'я. Акцентовано увагу на необхідності удосконалення підходів та вимог до проведення випробувань одягу пожежника захисного – тепловідбивного, наведених в існуючих національних стандартах та обґрунтування положень відповідного проекту національного стандарту України, що встановлюватиме класифікацію, вимоги до показників якості спеціального захисного спорядження пожежника, методи і процедури їх оцінювання. Зазначено, що дослідження проводились в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту за замовленням ДСНС України в рамках науково-дослідної роботи за темою: «Обґрунтування показників якості і методів оцінювання спеціального захисного спорядження пожежника» (код теми: Захисне спорядження – показники якості. Зазначено, що експериментальні дослідження проводились за такими показниками якості, як: «обмежене поширення полум'я», «контакт із теплом», «теплостійкість», «теплопередача (конвективне тепло)» на чотирьох різних видах одягу пожежника захисного – тепловідбивного, який на сьогоднішній день експлуатується в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України. Наведено габаритні розміри та кількість зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного, які використовуються для проведення досліджень на теплостійкість та визначення зміни лінійних розмірів після теплового впливу. Далі коротко описано хід проведення відповідних експериментальних досліджень. Приведено табличні результати експериментальних досліджень на прикладі зразків матеріалів, що призначені для виготовлення тепловідбивного одягу пожежника за показником якості «теплостійкість».

Ключові слова: експериментальні дослідження, методи випробувань, одяг пожежника захисний – тепловідбивний, спеціальне захисне спорядження пожежника.

Вступ. Одним із видів спеціального захисного спорядження пожежника є одяг пожежника захисний – тепловідбивний, який використовується в сукупності з іншим спорядженням та призначений для захисту пожежника під час гасіння пожеж і проведення пожежно-рятувальних робіт в умовах високої температури навколишнього середовища, інтенсивного теплового випромінювання та тривалої дії відкритого полум'я.

У публікації [1] наведено доцільність проведення дослідження, направлено на впровадження в Україні сучасних вимог до показників якості спеціального захисного спорядження пожежника, методів і процедур їх оцінювання. Одним з етапів вказаного дослідження є проведення експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків такого захисного спорядження, в тому числі одягу пожежника захисного – тепловідбивного.

Актуальність зазначених вище експериментальних досліджень полягає в необхідності удо-

сконалення підходів та вимог до проведення випробувань одягу пожежника захисного – тепловідбивного, наведених в існуючих національних стандартах та обґрунтування положень проекту національного стандарту України, що встановлюватиме класифікацію, вимоги до показників якості спеціального захисного спорядження пожежника, методи і процедури їх оцінювання. Це необхідно для реалізації вимог Технічного регламенту будівельних виробів, будівель і споруд з метою забезпечення безпечності рятувальних команд під час гасіння пожеж.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. У звіті [2] наведено результати пошукової науково-дослідної роботи з визначення шляхів удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання. В той же час у цій роботі не наведено результатів експериментальних досліджень експлуатаційних

характеристик зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного.

Мета та завдання дослідження. Для вирішення вказаної проблеми з метою удосконалення підходів та вимог до проведення випробувань одягу пожежника захисного – тепловідбивного, наведених в існуючих національних стандартах та обґрунтування положень проекту національного стандарту України в Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту за замовленням ДСНС України виконується науково-дослідна робота за темою: «Обґрунтування показників якості і методів оцінювання спеціального захисного спорядження пожежника» (код теми: Захисне спорядження – показники якості), в рамках якої проведено низку експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз результатів експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного.

Аналіз результатів експериментальних досліджень експлуатаційних характеристик зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного

Експериментальні дослідження проводились за такими показниками якості: «обмежене поширення полум'я», «контакт із теплом», «теплостійкість», «теплопередача (конвективне тепло)», з використанням методів випробувань, наведених в ДСТУ EN 1486 [3], ДСТУ EN ISO 15025 [4], ДСТУ EN 702 [5], ДСТУ ISO 17493 [6], ДСТУ EN 367 [7].

Експериментальні дослідження проводились на 4 типах тепловідбивного захисного одягу пожежника, які на сьогоднішній день експлуатуються в пожежно-рятувальних підрозділах України.

Наведемо приклад експериментальних досліджень зразків матеріалів, що призначені для виготовлення тепловідбивного одягу пожежника за показником якості «теплостійкість», які проводились згідно з пунктом 6.5 ДСТУ EN 1486 [3] за методом згідно з ДСТУ ISO 17493 [6].

Для проведення досліджень на теплостійкість та визначення зміни лінійних розмірів після теплового впливу було використано зразки матеріалів кожного з п'яти виробників із габаритними розмірами у кількості:

– (375 × 375) мм (матеріал термостійкого шару, який використовується в костюмах ТКО 800 та ТКО 800 М) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 375) мм (матеріалу теплоізолюючого шару, який використовується в костюмі ТКО 800) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 375) мм (матеріалу теплоізолюючого шару, який використовується в костюмі ТКО 800 М) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 375) мм (підкладковий матеріал, який використовується в костюмі ТКО 800) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 375) мм (підкладковий матеріал, який використовується в костюмі ТКО 800 М) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 50) мм (матеріалу термостійкого шару, який використовується в костюмах ТК-400 та ТК-800) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 375) мм (матеріалу теплоізолюючого шару, який використовується в костюмах ТК-400 та ТК-800) – 5 (п'ять) од.;

– (375 × 50) мм (підкладковий матеріал, який використовується в костюмах ТК-400 та ТК-800) – 5 (п'ять) од.;

– кнопки, як система застібання в костюмах ТК-400 та ТК-800, які прикріплені до матеріалу верху ідентично як в готовому виробі – 5 (п'ять) од.;

– ілюмінатор, який використовується в костюмах ТКО 800 та ТКО 800 М – 5 (п'ять) од.;

– ілюмінатор, який використовується в костюмах ТК-400 та ТК-800 – 5 (п'ять) од.

Під час проведення експерименту нами було досліджено всі матеріали чотирьох виробників, з яких виготовляється тепловідбивний одяг. Результати досліджень зразків матеріалів виробника костюмів ТКО 800 та ТКО 800 М наведено у таблиці 1.

Випробовуванню було піддано 55 зразків матеріалів.

Відповідно до ДСТУ ISO 17493 [6] зразки закріплювали у спеціальному пристрої таким чином, щоб вони не торкалися один одного та стінок камери тепла. Потім їх розміщували у підвішеному стані в камері електрошафи за температури (255±10)°С. Тривалість розміщення зразків ілюмінатора в камері електрошафи становила 5,4 с. Тривалість дії температури (255±10)°С становила 301 с.

Після дії температури було визначено розміри зразків, а фурнітуру (залізні кнопки) на предмет її функціонування шляхом її застібання.

Зміну лінійних розмірів зразків (ΔA) після теплового впливу обчислювали за формулою (1).

$$\Delta A = [(A_0 - A_1) / A_0] \times 100 \% \quad (1)$$

де A_0 – довжина або ширина зразків до початку випробувань, мм;

A_1 – довжина або ширина зразків після випробувань, мм.

Результати досліджень зразків матеріалів, ілюмінатора та фурнітури, які використовуються для виготовлення тепловідбивного одягу пожежника ТКО 800 та ТКО 800М на теплостійкість

№ зразка	Вимоги ДСТУ EN 1486 [3] до зразка	Ширина зразка до випробувань, $A_{0,ш}$, мм	Довжина зразка до випробувань, $A_{0,д}$, мм	Ширина зразка після випробувань, $A_{1,ш}$, мм	Довжина зразка після випробувань, $A_{1,д}$, мм	Зміна лінійних розмірів ширини, ΔA %	Зміна лінійних розмірів довжини ΔA %	Зовнішній вигляд зразка після досліджень	Висновок про відповідність вимогам ДСТУ EN 1486 [3]
Результати випробувань матеріалу верху, який використовується в костюмах ТКО 800 та ТКО 800 М									
1	плавитись, капати чи запалюватися і не повинен давати усадку більше ніж на 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон	375	375	373	375	0,53	0	плавлення, капання і запалювання та усадки більше 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон у зразків матеріалу не відбулось	Відповідає
2		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає
3		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає
4		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає
5		375	375	371	365	1,07	2,66		Відповідає
5		375	375	370	367	1,33	2,13		Відповідає
Результати випробувань матеріалу теплоізолюючого шару, який використовується в костюмі ТКО 800									
1	плавитись, капати чи запалюватися і не повинен давати усадку більше ніж на 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон	375	375	370	365	1,33	2,66	плавлення, капання і запалювання та усадки більше 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон у зразків матеріалу не відбулось	Відповідає
2		375	375	370	367	1,33	2,13		Відповідає
3		375	375	370	367	1,33	2,13		Відповідає
4		375	375	371	365	1,07	2,66		Відповідає
5		375	375	370	367	1,33	2,13		Відповідає
Результати випробувань матеріалу теплоізолюючого шару, який використовується в костюмі ТКО 800 М									
1	плавитись, капати чи запалюватися і не повинен давати усадку більше ніж на 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон	375	375	370	368	1,33	1,86	плавлення, капання і запалювання та усадки більше 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон у зразків матеріалу не відбулось	Відповідає
2		375	375	370	367	1,33	2,13		Відповідає
3		375	375	368	367	1,86	2,13		Відповідає
4		375	375	368	368	1,86	1,86		Відповідає
5		375	375	370	367	1,33	2,13		Відповідає
Результати досліджень підкладкового матеріалу, який використовується в костюмі ТКО 800									
1	плавитись, капати чи запалюватися і не повинен давати усадку більше ніж на 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон	375	375	373	373	0,53	0,53	плавлення, капання і запалювання та усадки більше 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон у зразків матеріалу не відбулось	Відповідає
2		375	375	373	373	0,53	0,53		Відповідає
3		375	375	373	373	0,53	0,53		Відповідає
4		375	375	373	373	0,53	0,53		Відповідає
5		375	375	373	373	0,53	0,53		Відповідає
Результати досліджень підкладкового матеріалу, який використовується в костюмі ТКО 800 М									
1	плавитись, капати чи запалюватися і не повинен давати усадку більше ніж на 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон	375	375	375	373	0	0,53	плавлення, капання і запалювання та усадки більше 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон у зразків матеріалу не відбулось	Відповідає
2		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає
3		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає
4		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає
5		375	375	375	373	0	0,53		Відповідає

Після вилучення зразків фурнітури (металеві кнопки) із електрошафи було проведено їх перевірку на функціонування шляхом з'єднання між собою. За результатами чого встановлено, що зазначена фурнітура, яка виконує функцію системи закриття в тепловідбивному одязі відповідає вимогам зазначеним в ДСТУ EN 1486 [3].

Зразки матеріалів, кнопок та ілюмінатору, які використовуються для виготовлення термозахисних костюмів ТКО 800, ТКО 800 М, ТК-400 та ТК-800 відповідають вимогам пункту 6.5 ДСТУ EN 1486 [3].

Крім того, аналогічні експериментальні дослідження проводились для зразків одягу пожежника захисного – тепловідбивного за показниками якості «обмежене поширення полум'я», «контакт із теплом» та «теплопередача (конвективне тепло)».

Висновки

1. На підставі аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень зразків матеріалів від чотирьох виробників з різними характеристиками, які призначені для виготовлення тепловідбивного одягу пожежника за показником якості «теплостійкість» можна зробити наступні висновки:

- тлумачення стандарту ДСТУ EN 1486 [3] не в повній мірі розкривають інформацію щодо елементів одягу, які повинні випробовуватися;

- за результатами досліджень встановлено, що всі досліджені матеріали не обуглюються, не руйнуються і не займаються та не дають усадку більше ніж на 5 % в напрямку вздовж та поперек волокон і окремі елементи фурнітури функціонують після дії на них температури.

2. На підставі аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень зразків матеріалів, що призначені для виготовлення тепловід-

бивного одягу пожежника за показником якості «обмежене поширення полум'я» можна зробити наступні висновки:

- тлумачення стандарту ДСТУ EN 1486 [3] не в повній мірі розкривають інформацію щодо елементів одягу, які повинні випробовуватися;

- за результатами досліджень встановлено, що всі досліджені матеріали не горять, не утворюють палаючих залишків, а також не розповсюджують полум'я по поверхні зразка і окремі елементи фурнітури функціонують після дії на них відкритого полум'я.

3. На підставі аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень можна зробити висновок, що зразки пакетів матеріалів, які використовуються для виготовлення термозахисних костюмів «ТКО 800», «ТКО 800 М», ТК-400 та ТК-800 відповідають вимогам пункту 6.4 ДСТУ EN 1486 [3] за показником якості «контакт із теплом».

4. На підставі аналізу отриманих результатів експериментальних досліджень зразків пакетів матеріалів від п'яти виробників з різними характеристиками, які призначені для виготовлення тепловідбивного одягу пожежника за показником якості «теплопередача (конвективне тепло)» можна зробити наступні висновки:

- зразки пакетів матеріалів, які використовуються для виготовлення термозахисних костюмів «ТКО 800», «ТКО 800 М», ТК-400 та ТК-800 відповідають вимогам пункту 6.3 ДСТУ EN 1486 [3];

- за результатами експерименту встановлено, що всі досліджені матеріали не горять, не утворюють палаючих залишків, а також не розповсюджують полум'я по поверхні зразка і окремі елементи фурнітури функціонують після дії на них відкритого полум'я.

Список літератури:

1. Присяжнюк, В.В., Щодо обґрунтування показників якості та методів їх оцінювання спеціального захисного спорядження пожежника / С. В. Семичаєвський, М. Л. Якіменко, М. В. Осадчук, В. В. // Комуніальне господарство міст. – 2021. – Том 1, випуск 161. – С. 290-295.

2. Провести пошукові дослідження та визначити шляхи удосконалення технічного рівня, ефективності застосування протипожежної, аварійно-рятувальної та іншої спеціальної техніки і обладнання. Загальні технічні умови: звіт про НДР (заключний) УкрНДНЦ; кер. Борис О.П. Київ, 2016. 784 с.

3. ДСТУ EN 1486:2010 (EN 1486:2007, IDT). Одяг захисний для пожежників. Методи випробування та вимоги до відбивального одягу пожежників. – Введ. 2012-01-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2012. – 32 с.

4. ДСТУ EN ISO 15025:2016 (EN ISO 15025:2002, IDT; ISO 15025:2000, IDT). Одяг захисний. Захист від тепла та полум'я. Метод випробування на обмежене поширення полум'я. – Введ. 2017-10-01. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 32 с.

5. ДСТУ EN 702:2005 (EN 702:1994, IDT). Одяг захисний. Захист від впливу тепла та полум'я. Метод визначення проходження контактного тепла крізь захисний одяг або його матеріали – Введ. 2005-12-02. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 9 с.

6. ДСТУ ISO 17493:2018 (ISO 17493:2016, IDT). Одяг і засоби захисту від високих температур. Метод визначення конвективної теплостійкості за допомогою печі з циркуляцією гарячого повітря. – Введ. 2018-11-07. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 17 с.

7. ДСТУ EN 367-2001 (EN 367:1992, IDT). Одяг захисний. Захист від нагрівання та полум'я. Метод визначення теплопровідності матеріалів, підданих впливові полум'я. – Введ. 2003-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 16 с.

Semychayevsky S.V. ON EXPERIMENTAL RESEARCH OF SAMPLES OF PROTECTIVE – HEAT REFLECTIVE FIREFIGHTER CLOTHING

This publication shows the relevance of conducting experimental studies of operational characteristics of samples of firefighter's protective – heat-reflective clothing, which is one of the types of special protective equipment of a firefighter and which is used in combination with other equipment and is intended to protect a firefighter during firefighting and fire-rescue operations in under conditions of high ambient temperature, intense thermal radiation and long-term action of an open flame. Attention is focused on the need to improve the approaches and requirements for conducting tests of firefighter's protective – heat-reflective clothing, given in the existing national standards, and the justification of the provisions of the corresponding project of the national standard of Ukraine, which will establish the classification, requirements for the quality indicators of the firefighter's special protective equipment, methods and procedures for their evaluation. It is noted that the research was carried out at the Institute of Public Administration and Research in Civil Protection by order of the State Emergency Service of Ukraine in the research work on "Substantiation of quality indicators and methods of assessing special protective equipment firefighter" (topic code: "Protective equipment – quality indicators"). It is noted that the experimental studies were carried out according to such quality indicators as: "limited flame spread", "contact with heat", "heat resistance", "heat transfer (convective heat)" on four different types of firefighter's protective – heat-reflective clothing, which on today it is used in the fire and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine. The overall dimensions and number of samples of firefighter's protective – heat-reflective clothing, which are used to conduct research on heat resistance and determine the change in linear dimensions after thermal exposure, are given. Next, the course of conducting relevant experimental research is briefly described. tabular results of experimental research on the example of samples of materials intended for the production of heat-reflective firefighter clothing according to the "heat resistance" quality indicator.

Key words: *experimental studies, firefighter's protective clothing – heat-reflective, firefighter's special protective equipment, test methods.*

Чичуліна К.В.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ПІДГОТОВКА ТА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ АРМОВАНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ ДВОТАВРОВИХ БАЛОК

Мета проведених в статті експериментальних досліджень полягає у дослідженні характеру роботи, визначенні несучої здатності та граничних руйнувань складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами та проведенні їх порівняння. Об'єктом дослідження є клеєні армовані скло-пластиковою арматурою дерев'яні бали двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами перекриття і покриття будівель та споруд. Для досягнення поставленої мети в ході проведеного дослідження було виготовлено шість складених клеєних армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами. На дію стискаючих зусиль було випробувано 9 дослідних дерев'яних зразків форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 64x38x100 мм, волокнами вздовж дії навантаження і проведено випробування згідно ГОСТ 16483.10-73. Для визначення характеристик міцності на згин деревини було випробувано 3 зразка розмірами 64x38x400 мм на дію згинаючих зусиль. Дослідження проводились за допомогою універсальної випробувальної машини «УМ-5А» згідно ГОСТ 16483.3-84. У ході проведеного дослідження було визначено межі міцності при стисканні некондиціонованих зразків вздовж волокон, модуль пружності при стисканні зразка, розрахунковий опір, характеристичне значення міцності. Дослідження базуються на експериментальних методиках і підходах. В ході дослідження було визначено характеристики міцності орієнтовано-стружкової плити. Для проведення випробувань було виготовлено 6 серій зразків, усі вони були виготовлені з матеріалу OSB-3 виробництва «Кроно-Україна», який в подальшому був застосований для стінок балок. Для досліджень міцності та деформативності композитної арматури було відібрано і підготовлено 3 зразка арматури діаметром 4 і довжиною 400 мм, усі вони з склопластикової арматури, яка являє собою стрижень отриманий поєднанням епоксидної смоли і електроізоляційного скляного ровінгу (ниток).

Ключові слова: дерев'яні балки, OSB, експеримент, руйнування, міцність, стиск, згин.

Постановка проблеми. Сучасна будівельна галузь все більше стикається з проблематикою використання екологічних та натуральних матеріалів. Історично деревина являється матеріалом з відновлювального природного ресурсу, за допомогою якого, на протязі багатьох років зводяться надійні та довговічні будівлі і споруди в усьому світі. З появою нових інноваційних технологій деревообробки з'явилась маса конструктивних форм, які дозволяють вирішити низку питань. Конструкції з клеєної деревини, армовані конструкції та багато інших типів дерев'яних конструкцій підштовхують до пошуку нових форм і технологій, експериментальних випробувань такого типу конструкцій. Тож, все більше набуває актуальності дослідження в сфері конструкцій з деревини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [1] колективом авторів проведені експериментальні дослідження двох двотаврових балок, які складаються із ОСБ-стілки, вкладеної в пази дерев'яних поясів. Сумісну роботу поясів та стінки забезпечують при цьому за допомогою поліуретанового клею.

Автори випробували балки як вільнооперті однопролітні з навантаженням у третинах прольоту. Також було визначено несучу здатність, прогин і деформації в зонах розтягу та стиску для кожного зразка та проаналізовано отримані експериментальні дані. Розглянуто результати експериментальних досліджень відповідно до схеми випробування. Треба відмітити, що руйнування обох балок відбувалося в місці стикування плит ОСБ-стілки з поступовою появою тріщин у поясах. В статті [2] науковцями досліджені нові типи балок, пояси яких виготовлено з дерев'яних брусків сосни II-го сорту, а стінки балки є складними з орієнтовано-стружкової плити, з'єднання стінки з поясами здійснено за допомогою клею. Результатами досліджень є задовільна робота дерев'яної балки двотаврового перерізу з стінками із OSB плити. У роботі [3] досліджуються два скінченно елементні рішення, розроблені для аналізу поперечної вигину на скручування дерев'яних балок-настилів, що складаються з двох балок, скріплених настилом через кріплення. Обидва рішення забезпечують гнучкість обертання, що забезпечується з'єднаннями між дошками

та балками. На основі проведеного аналізу було виявлено, що дослідження представлених у роботі подальших дерев'яних конструкцій вимагають його вивчення та експериментального підтвердження експлуатації. В [4] проведено аналіз досліджень в сфері армування конструкцій з клеєної деревини, інших конструкцій підсилених новітніми композитними матеріалами та акумульовано досвід підсилення композитними матеріалами конструкцій з клеєної деревини, що надає можливість збільшення межі використання композитних матеріалів для покращення несучої здатності балок, рам, арок тощо. Державні стандарти, які регламентують розрахунок та проектування дерев'яних конструкцій представлено в [5-6].

Постановка завдання. Метою експериментальних досліджень, представлених в статті є дослідження роботи, визначення несучої здатності та характеру руйнування складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами та проведення їх порівняння. Об'єктом дослідження є клеєні армовані скло-пластиковою арматурою дерев'яні бали двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами перекриття і покриття будівель та споруд. Для досягнення поставленої мети було виготовлено шість складених клеєних армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок двотаврового перерізу із стінкою з OSB та цілісними поясами. Дослідження базуються на експериментальних методиках і підходах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Визначення межі міцності деревини при стисненні та згині. Стиск. На дію стискаючих зусиль було випробувано 9 дослідних дерев'яних зразків форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 64x38x100 мм, волокнами вздовж дії

навантаження і проведено випробування згідно ГОСТ 16483.10-73.

Зразок поміщають в пристосування для випробування на стиснення (рис. 1, а). Зразок навантажують рівномірно з постійною швидкістю навантаження або постійною швидкістю переміщення навантажувальної головки машини. Швидкість повинна бути такою, щоб зразок зруйнувався через $(1,0 \pm 0,5)$ хв після початку навантаження. При використанні машини з електромеханічним приводом допускається проводити навантаження зразка рівномірно зі швидкістю (25000 ± 5000) Н/хв.

Руйнування зразків супроводжувалося появою характерної складки (рис.1, б), що утворювалася в результаті місцевого зламу волокон. Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск наведені в таблиці 1.

У ході проведеного дослідження було визначено межю міцності при стисканні некондиціонованих зразків вздовж волокон, модуль пружності при стисканні зразка, розрахунковий опір, характеристичне значення міцності відповідно [8].

Середнє значення руйнівного навантаження становило 79 кН, що створювало в перерізі зразка напруження $f_{c,0,d}=13.05$ МПа, яке і використовувалось для подальших розрахунків.



а) б)
Рис. 1. а – Загальний вигляд випробування на стиск деревини; б – Вигляд дослідних зразків після руйнування

Таблиця 1

Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск

№ зразка	Розміри поперечного перерізу зразків, мм		Руйнівне навантаження, P_{max}		$P_{середнє}$, кН	s , МПа	$S_{середнє}$, МПа	Модуль пружності E , МПа	Середній розрахунковий опір, $f_{c,0,d}$, МПа
	a	b	кг	кН					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	64,5	38	5500	55	79	22,4	30.8	9943	13.05
2	64	37,5	6400	64		25,8		8301	
3	64	38	6800	68		27,7		10198	
4	64	38	9500	95		40,4		7717	
5	64	37	7300	73		31,1		9314	
6	63.5	38	8200	82		35,2		7043	
7	64	38	7400	74		31,0		10690	
8	64	37.5	10000	100		40.6		10112	
9	64.5	38	10000	100		41.9		9338	

Згин. Для визначення характеристик міцності на згин деревини було випробувано 3 зразка розмірами 64x38x400 мм на дію згинаючих зусиль (рис. 2, а). Дослідження проводились за допомогою універсальної випробувальної машини «УМ-5А» згідно ГОСТ 16483.3-84. Результати досліджень зразків для визначення характеристик міцності на згин деревини представлено (Табл. 2). Руйнування зразків супроводжувалося появою характерної складки (рис.2, б), що утворювалася в результаті місцевого зламу волокон. Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск наведені (Табл. 2).



Рис. 2. а – Загальний вигляд випробування на згин деревини; б – Вигляд дослідних зразків після руйнування

У ході наступних досліджень визначимо межу міцності при стисканні некондиційних зразків вздовж волокон, модуль пружності при стисканні зразка (E_i), розрахунковий опір, характеристичне значення міцності.

Середнє значення руйнівного навантаження становило 8.09 кН, що створювало в перерізі зразка напруження $f_{m,d}=14.9$ МПа, яке і використовувалося для подальших розрахунків. Загальний графік залежності деформацій від напруження в даному випадку представлено (рис. 3).

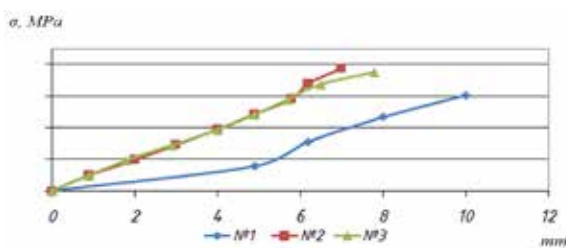


Рис. 3. Графік залежності деформацій від напруження

Визначення характеристик міцності орієнтовано-стружкової плити. Для проведення випробувань було виготовлено 6 серій зразків, усі вони були виготовлені з матеріалу OSB-3 виробництва «Кроно-Україна», який в подальшому був застосований для стінок балок.

Перша серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 150x50x10 мм, що мають повздовжнє направлення волокон.

Друга серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 200x50x10 мм, що мають поперечне направлення волокон.

Третя серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 200x170x10 мм, що мають повздовжнє направлення волокон.

Четверта серія зразків – це OSB-плити форми прямокутного паралелепіпеда розмірами 200x150x10 мм, що мають поперечне направлення волокон.

П'ята та шоста серія зразків – це OSB-плити квадратної форми розмірами 50x50x10 мм. При проведенні випробувань зразки даних серій розташовувались у випробувальній машині таким чином, щоб руйнування відбувалось вздовж або впоперек волокон.

Підготовка до випробувань і експериментальні дослідження складених дерев'яних балок виконувались в такій послідовності:

- 1) Підготовка зразка до випробування;
- 2) Кріплення вимірювальних приладів;
- 3) Встановлення зразка у випробувальну машину;
- 4) Випробування з'єднання з фіксацією необхідних параметрів на всіх ступенях завантаження.

Випробування проводилося на універсальній випробувальній машині «УВМ-5». Машина служить для статичних випробувань зразків матеріалів, деталей і вузлів машин на розтяг, стиск та згин. Мак-

Таблиця 2

Результати дослідження дерев'яних зразків кубиків на стиск

№ зразка	Розміри попер. перерізу зразків, см			Руйнівне навантаження, P_{max}		$P_{середнє}$ кН	M , кН*см	W , см ³	σ , МПа	$\sigma_{середнє}$ МПа	Середній розрахунковий опір, $f_{m,d}$
	b	h	l	кг	кН						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2
1	3.8	6.4	40	780	7.8	8.09	78	15.40	30.18	36.46	14.19
2	3.8	6.45	40	862	8.62		86.2	15.52	41.70		
3	3.7	6.4	40	785	7.85		78,5	14.60	37.5		

симальне зусилля машини складає 5 тс (50 кН). Для вимірювання деформацій взаємного зсуву елементів всіх серій були використані індикатори годинникового типу ИЧ-10 з ціною поділки 0,01 мм.

При проведенні випробувань на згин, використовувався ГОСТ 10635-88. Ці зразки було встановлено на шарнірні опори випробувального приладу по відміткам так, щоб повздожня вісь зразка була перпендикулярна осям опор, а попережна вісь знаходилась у одній вертикальній площині з віссю прикладання сили. На кожному кроці навантажень знімались відліки по приладам, для всіх зразків було зафіксовано критичну силу та відповідні деформації.

При випробуванні першої серії зразків навантаження прикладались з кроком 3 кг з однаковою швидкістю аж до руйнування (рис. 4-5).

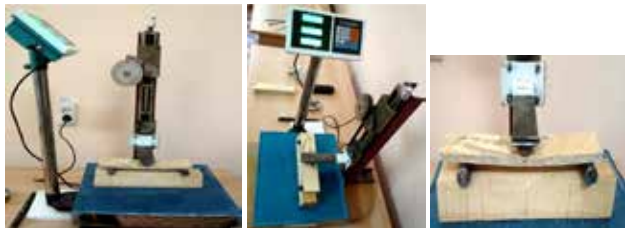


Рис. 4. Загальний вигляд випробувань зразків першої та другої серії



Рис. 5. Загальний вигляд випробувань зразків третьої та четвертої серії

При випробуванні перших двох серій зразків навантаження прикладались в залежності від шкали деформації матеріалу з кроком 5 поділом аж до руйнування. А випробуванні третьої і четвертої серії зразків навантаження прикладались з кроком 20 кг з однаковою швидкістю аж до руйнування.

Відмінність перших двох серій зразків від третьої і четвертої полягає у тому, що випробування проводилось на іншій дослідній установці.

При випробуванні п'ятої та шостої серії зразків навантаження прикладались з кроком 120 кг до руйнування зразка.

У ході роботи були визначені фізико-механічні характеристики орієнтовано-стружкових плит, використаних в якості стінки. Було виготовлено

та випробувано зразки на згин та стиск. При проведенні експерименту за ГОСТ 10635-88.

Руйнування зразків першої серії мало крихкий характер, середня руйнуюча сила при згині уздовж волокон складає 45,8 кг, межа міцності 27 МПа, модуль пружності 2300 МПа. Руйнування зразків другої серії мало крихкий характер, середня руйнуюча сила при згині поперек волокон складає 29,7 кг, межа міцності 13,1 МПа, модуль пружності 700 МПа (рис. 6-7).



Рис. 6. Руйнування зразків першої і другої серії

Рис. 7. Залежність деформацій від навантажень для першої серії зразків

До двох останніх зразків із другої серії прикладалося навантаження із витримкою 5 хв, для того щоб визначити як змінюється навантаження з часом (рис. 8).

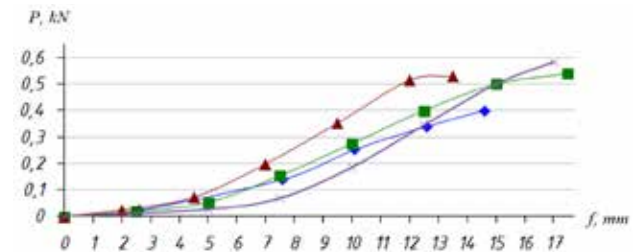


Рис. 8. Залежність деформацій від навантажень для другої серії зразків з витримкою в часі

Руйнування зразків третьої серії мало крихкий характер, руйнуюча сила при згині уздовж волокон складає близько 165 кг, межа міцності складає 27 МПа, модуль пружності 3500 МПа. Залежність деформацій від навантажень для третьої серії зразків представлено (рис. 9). А для четвертої серії руйнуюча сила при згині поперек волокон складає близько 85 кг, межа міцності складає 17,7 МПа, модуль пружності 2600 МПа.

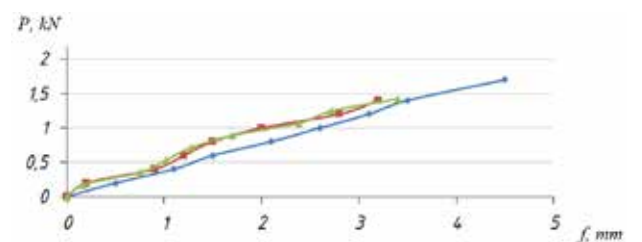


Рис. 9. Залежність деформацій від навантажень для третьої серії зразків

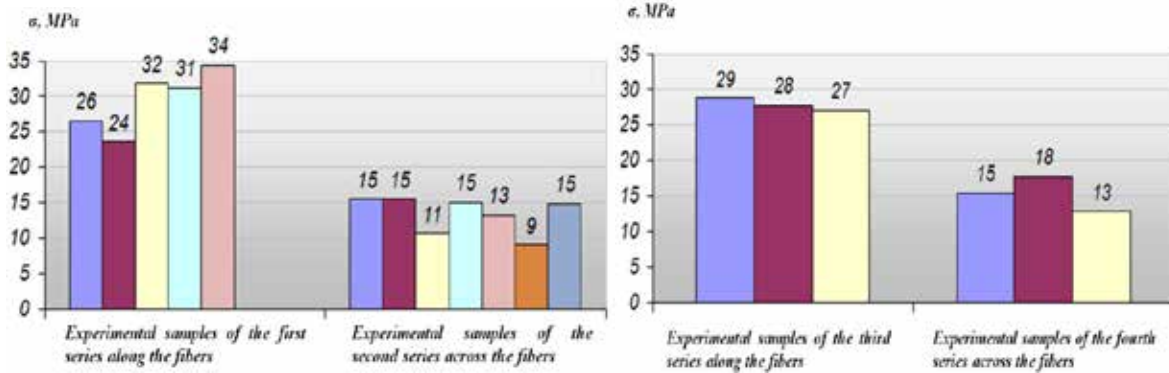


Рис. 10. Межа міцності чотирьох серій зразків OSB при випробуванні на згин

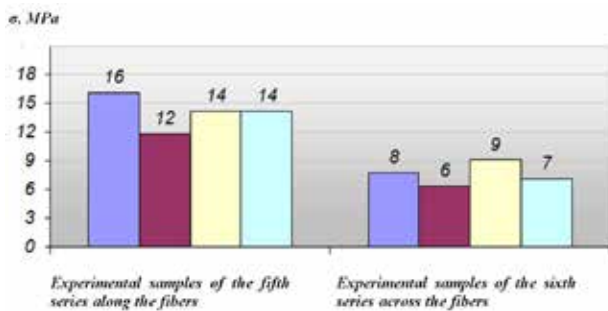


Рис. 11. Межа міцності п'ятої і шостої серії зразків OSB при випробуванні на стиск



Рис. 13. Загальний вигляд випробувань зразків із склопластикової арматури



Рис. 12. Руйнування зразків п'ятої та шостої серії

Межа міцності чотирьох серій зразків OSB при випробуванні на згин представлено (рис. 10). Руйнування зразків п'ятої та шостої серії мало крихкий характер, руйнуюча сила при стиску вздовж волокон складає близько 700 кг, а впоперек 390 кг. Межа міцності п'ятої і шостої серії зразків OSB при випробуванні на стиск та характер руйнування представлено (рис. 11–12).

Визначення межі міцності склопластикової арматури при розтягуванні. Для досліджень міцності та деформативності композитної арматури було відібрано і підготовлено 3 зразка арматури $\varnothing 4$ і довжиною 400 мм, усі вони з склопластикової арматури, яка являє собою стрижень отриманий поєднанням епоксидної смоли і електроізоляційного скляного ровінгу (ниток).

Особливе місце серед композитних матеріалів займає арматура склопластикова. Використовувалася композитна арматура з піском ТМ "Hard +". Випробування проводилося на універсальній випробувальній машині «УМ-5А», яка рекомендована для випробування металевих та інших зразків матеріалів на розтяг, стиск, поперечний вигин при статичних навантаженнях з найбільшим зусиллям 50 кН. При проведенні випробувань на розтяг, використовувався ГОСТ 12004-81 і зразки було закріплено в губках випробувального приладу та підключений прилад «АИД-4» за допомогою якого фіксувалися деформації в зразку по тензорезисторі. На кожному кроці навантажень знімалися відліки по приладам, для всіх зразків було зафіксовано критичну силу та відповідні деформації.

Руйнування композитної арматури відбувалося в робочій зоні стержня (рис. 13). Середнє значення руйнівного навантаження для склопластикової арматури становило 3,2 кН.

Висновок. Стаття презентує результати проведення ґрунтовних експериментальних випробувань складених армованих склопластиковою арматурою дерев'яних балок зі стінкою з OSB з цілісними поясами. Зокрема, визначено межі

міцності деревини при стисненні та згині, характеристики міцності орієнтовано-стружкової плити та межі міцності склопластикової арматури

при розтягуванні. Представлені результати порівняльного аналізу результатів експериментального дослідження зразків балок.

Список літератури:

1. Демчина Б., Сурмай М., Вознюк Л., Данкевич І., Шидловський Я. Випробування дерев'яних двотаврових балок каркасних будинків. *Вісник Львівського національного аграрного університету*, вип. 21, с. 41-46. Львівський національний аграрний університет, Львів. (2020). DOI:10.31734/architecture2020.21.041.
2. Кислюк Д.Я., Чапюк О.С., Самчук В.П., Залета А.О., Савенко В.І. Дослідження роботи двотаврових дерев'яних балок із OSB стінкою. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, вип. 17, с. 61-67. Луцький НТУ, Луцьк. (2022). [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7\(17\)-08](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2022-7(17)-08).
3. Dmytrenko, A. Dmytrenko, T., Derkach T., Klochko L.: Experimental Investigation and Computer-Generated Simulation of Reinforced Double-Tee Girders with a Wall of Oriented Standard Board. *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.8), pp. 115-119. Elsevier, UK. (2018). <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27224>.
4. Михайловський Д., Комар М. Армування конструкцій з деревини композитними матеріалами, стан і перспективи. Збірник наукових праць «Будівельні конструкції. Теорія і практика», вип. 9, с. 72-80. К.:КНУБА, Київ (2021). DOI:10.32347/2522-4182.9.2021.
5. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 111 с.
6. ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2017 Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. К.: ДП «УкрНДНЦ» 7, 2017. 131 с.

Chichulina K.V. PREPARATION AND CONDUCT OF EXPERIMENTAL TESTS OF REINFORCED WOODEN BEAMS

The purpose of the experimental studies carried out in the article is to study the nature of the work, determine the bearing capacity and limit failures of assembled wooden beams reinforced with fiberglass reinforcement with an OSB wall with one-piece belts and compare them. The object of the study is glued wooden beams of I-beam cross-section with a wall made of OSB and integral belts of the floor and covering of buildings and structures, reinforced with glass-plastic reinforcement. In order to achieve the set goal, in the course of the conducted research, six assembled, glued, reinforced with fiberglass reinforcement wooden beams of I-beam cross-section with an OSB wall and one-piece belts were made. 9 experimental wooden samples of the shape of a rectangular parallelepiped with dimensions of 64x38x100 mm were tested for compressive forces, with fibers along the action of the load and tested according to GOST 16483.10-73. To determine the characteristics of the bending strength of wood, 3 samples with dimensions of 64x38x400 mm were tested under bending forces. The research was carried out using the universal testing machine "UM-5A" according to GOST 16483.3-84. In the course of the research, the limit of compressive strength of unconditioned samples along the fibers, the modulus of elasticity during compression of the sample, the calculated resistance, and the characteristic strength value were determined. In the course of the study, the strength characteristics of oriented strand board were determined. For testing, 6 series of samples were made, all of them were made of OSB-3 material produced by "Krono-Ukraine", which was later used for the walls of the beams. For research on the strength and deformability of composite reinforcement, 3 samples of reinforcement with a diameter of 4 and a length of 400 mm were selected and prepared, all of them from fiberglass reinforcement, which is a rod obtained by a combination of epoxy resin and electrically insulating glass roving (thread).

Key words: wooden beams, OSB, experiment, destruction, strength, compression, load.

УДК 004.85

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/57>**Борисов Г.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Трапезон К.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВИ НА ОСНОВІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Визначено програмні способи реалізації рекурентних нейронних мереж, як основи для створення системи розпізнавання мовних сигналів за візуальними ознаками. Проаналізовано основні ланки моделі нейронної мережі прямого розповсюдження і відмічено, що за архітектурою і принципами функціонування останньої найважливішими елементами в таких мережах є комірки пам'яті та комутаційні пристрої – вентиля двох чи трьох типів за призначенням. Так вентиля дозволяють зберігати інформацію у блоці моделі мережі упродовж значного числа часових кроків, на які за тривалістю розбивається вхідна послідовність. Такий підхід дозволяє нейронній мережі працювати з мовними сигналами, які мають ознаки варіативності за часом. Показано, що для коректної роботи мережі доцільно використовувати петлі зворотного зв'язку для прихованих шарів, оскільки наявність зворотних зв'язків визначає у цьому випадку здатність мережі до навчання.

В якості вхідних даних до створеного алгоритму функціонування рекурентної нейронної мережі обрано три мовних сигнали, які мережа повинна відтворити при мінімальному значенні функції втрат. Відмічено, що в основі роботи програмного алгоритму мережі підключено відповідні бібліотеки-модулі в середовищі об'єктно-орієнтованого програмування *python*, і зокрема використано фреймворк *Keras* з цього середовища. При цьому обрано, що функцією активації у прихованих блоках моделі мережі є сигмоїдні функції, як такі, що дозволяють досить ефективно згладжувати викиди при формулюванні гіпотез в рамках роботи моделі. Представлено програмний алгоритм реалізації рекурентної нейронної мережі для розпізнавання мови. Знайдено, що при аналізі сигналів нейронна мережа при навчанні з вчителем дає високу точність розпізнавання вже на 8 циклі ітерації. При цьому отримано, що ентропійна функція втрат досягає мінімального значення на рівні $9,389 \times 10^{-5}$ наприкінці функціонування циклів моделі. Це у свою чергу свідчить про високу точність роботи нейронної мережі та підтверджує можливість її впровадження в системах розпізнавання мови.

Ключові слова: нейронні мережі, система розпізнавання мови, сигнал, аудіо, оброблення, фреймворк, функція, архітектура.

Постановка проблеми. В останні декілька років у численних областях науки і техніки все більшої популярності набуває використання нейронних мереж при вирішенні різноманітних прикладних задач. Так можна відмітити стрімкий розвиток технологій, пов'язаних з нейронними мережами в авіа- та автомобільній промисловостях. Технічні засоби в безпілотних автомобілях для оцінки зображень з вбудованих камер і для оброблення голосових команд використовують такі мережі

в складі бортових електронних комп'ютерів. В авіаційній індустрії бортові навігаційні системи для передавання та аналізу голосових команд також використовують нейронні мережі. Іншими напрямками застосувань нейронних мереж є оброблення кольорових зображень (аналіз тестових підписів до зображень), синтез та розпізнавання мовних сигналів і текстових повідомлень, оптичне розпізнавання графічних символів, створення фото реалістичних електронних портретів

голови людини. Серед наведених прикладних застосунків мереж особливий інтерес викликають електронні системи розпізнавання мови. Задача розпізнавання мовних сигналів на сьогодні вважається досить перспективним науково-технічним напрямком. Розпізнавання мови на основі візуальних ознак використовується, наприклад, при біометричній ідентифікації, а також при реалізації інтерфейсів ведення інформації. Для отримання візуальних ознак використовуються підходи, які є близькими до фізіологічного сприйняття звуків людиною. Проте тут є особливість, яка полягає у тому, що для смуг частот до 1100 Гц суб'єктивне сприйняття звуку при подвоєнні частоти майже лінійно співпадає з фізичним збільшенням частоти у 2 рази. Тоді як для частот вищих за 1100 Гц залежність подвоєння частоти більше нагадує логарифмічну. Для врахування цих особливостей сприйняття звуку рекомендується переходити від частотного діапазону до мел-шкали [1, с. 432]. Тобто значення частоти в Гц перетворюється в безрозмірне значення “висоти” сигналу. Для імітації особливостей сприйняття звуку людиною при виділенні ознак у дослідженні будемо використовувати мел-кепстральні коефіцієнти [2, с. 518]. Ці коефіцієнти визначають застосування до відрізка мовного сигналу дискретного перетворення Фур'є, спектрального згладжування, зведення до логарифмічної шкали і застосування дійсної частини прямого перетворення Фур'є. Така постановка задачі повинна бути врахована при розгляді систем розпізнавання мови. Слід відмітити, що досить популярні серед розробників варіанти реалізації систем розпізнавання мови на основі прихованих марківських моделей мають обмеження, які, зокрема, характеризуються низькою швидкістю при синтезі довгих послідовностей мовних сигналів з часовими параметрами. До того ж, “живий” мовний сигнал значно відрізняється від штучних сигналів своєю складністю за характеристиками. Ця складність обумовлена тим, що насправді існують зв'язки між окремими звуками мови. Тобто, варіативність звукових символів за часом відіграє при цьому не останню роль. Для уникнення наведених обмежень в дослідженні пропонується розглянути рекурентні нейронні мережі. Ці мережі відрізняються від схованих марківських моделей і тим, що в останніх при збільшенні контекстного вікна об'єм розрахунків стає надвеликим і моделювати на їх основі довгострокові залежності стає практично неможливим. Крім цього, рекурентні мережі можуть знаходити довгострокові часові залежності у даних при аналізі.

Метою статті є розгляд рекурентної нейронної мережі як основи для створення електронної системи розпізнавання мовних сигналів, а також розроблення програмного алгоритму на основі фреймворку для реалізації нейронної мережі, її тестування та навчання.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані наступні завдання:

- визначення ключових особливостей створення рекурентних нейронних мереж для електронних систем розпізнавання мови;
- створення програмного алгоритму з залученням відповідних бібліотек для імітації моделі рекурентної нейронної мережі;
- перевірка програмного алгоритму на основі тестових словосполучень в середовищі об'єктно-орієнтованого програмування `rsucharm`.

Виклад основного матеріалу дослідження. Нейронні мережі – це обчислювальні моделі, в яких множина простих блоків (нейронів) паралельно функціонують за умови відсутності центрального керуючого блоку [3, с. 555]. Ваги цих блоків, через відповідні коефіцієнти визначають принципи запам'ятовування інформації в нейронних мережах. Натомість, оновлення значень цих вагових коефіцієнтів а також зміщень – ключ до навчання нової інформації. Нейронні мережі завдяки своїй структурі здатні запам'ятовувати та аналізувати вхідну інформацію. Узагальнено, модель мережі можна представити через матрицю A , яка описується через систему рівнянь $Ax=b$, де сама матриця має вхідні дані, а вектор b – вихідні мітки для кожного рядка цієї матриці. В якості вектора параметра x якраз і виступають зазначені вище вагові коефіцієнти зв'язків між блоками нейронної мережі. Через правильно підбрану комбінацію вагових коефіцієнтів можна отримати правильні відповіді від нейронної мережі. Підбір правильної комбінації досягається під час навчання мережі [4, с. 1058]. На основі нейронних мереж з легкістю будуються ієрархічні багаторівневі структури і при цьому зберігається їх прозорість. Так як мова є складальною структурою і її можна розбити на окремі слова, літери, то систему розпізнавання доцільно будувати як ієрархічну структуру. Таки чином модель нейронної мережі являє собою набір взаємодіючих вузлів – нейронів. Вихід нейрону визначається через активаційну функцію. Архітектура нейронної мережі визначається наступними характеристиками: кількість нейронів, кількість шарів, типи зв'язків між шарами.

Найбільш простий тип нейронної мережі за архітектурою – багат шарова мережа прямого

розповсюдження. Ця мережа базується на ідеї біологічного нейрону. Вона має вхідний шар, один чи декілька прихованих шарів та один шар на виході. Кількість нейронів у кожному шарі може бути різною, але кожен нейрон одного шару пов'язаний з усіма сусідніми шарами. Зв'язки між нейронами утворюють граф (рисунок 1).

Через вхідний шар в нейронну мережу надходять вхідні дані. Кількість нейронів у вхідному шарі зазвичай співпадає з кількістю вхідних ознак. У прихованих шарах, а точніше через вагові коефіцієнти між цими шарами закодована інформація, яка вилучається мережею з вхідних даних у процесі навчання мережі. Основне завдання прихованих шарів – виділення специфічних ознак у вихідних даних. Залежно від архітектури використовується певна підмножина функцій активації шару. Для вхідного шару моделі функція активації не задається, оскільки маємо вхідний вектор ознак сигналу без змін.

Результат роботи нейронної мережі отримують через шар на виході. Залежно від конфігурації мережі результат може бути як дійсним числом так і набором ймовірностей і це залежить від функції активації в шарі на виході. Як правило в нейронних мережах для отримання набору ймовірностей використовується в шарі на виході функція softmax або сигмоїда. З позиції математичних співвідношень сигмоїдний шар з одним виходом – теж саме, що softmax-шар з двома нейронами.

Рекурентні нейронні мережі є різновидом нейронних мереж прямого розповсюдження і відрізняються тим, що можуть передавати інформацію між часовими кроками. Тобто, в такій мережі обирається по одному вхідному вектору і проводиться за ним моделювання. В процесі моделювання мережа може зберігати свій стан упродовж деякого часового вікна вхідних векторів. Тобто, між входом і виходом цільових функцій, які використовуються при функціонуванні мережі можуть бути часові залежності. Самі мережі моделюють часовий аспект даних на основі проходження циклів. В рекурентних нейронних мережах можуть бути циклічні зв'язки і вони можуть моделювати поведінку у часі, що є ключовою перевагою при роботі з звуковими даними та при проведенні процедур з розбірливості мови. В таких мережах є петля зворотного зв'язку, яка дозволяє проводити навчання нейронної мережі на

основі послідовностей з часовими параметрами. Крім цього, мережі мають додаткову матрицю зв'язків між часовими кроками і на основі якої можна знайти часові зв'язки, котрі присутні у даних. В рекурентних мережах на вході може бути декілька вхідних векторів даних, по одному для кожного часового кроку і у кожного вектора може бути декілька стовпчиків. Наведемо приклади послідовностей вхідних та вихідних векторів в таких мережах:

- задача підписування зображення. На вхід мережі подається зображення, а на виході маємо послідовність слів;
- задача аналізу тональності звуку. На вході звукові дані, а на виході значення параметру;
- задача класифікації послідовності відеокадрів. На виході отримуємо мітки, які характеризують конкретний кадр зображення.

На рисунку 2 представлено приклад зміни вхідних значень моделі на основі часових кроків. З аналізу даних рисунка 2 виходить, що значення у часових кроках можуть бути відсутні і повинно бути маскування, щоб була інформація де у векторі знаходяться реальні дані. Для цього вводиться додаткова матриця-маска у вигляді рядка, де відмічаються часові кроки (0 або 1), на яких присутні вхідні дані хоча б в одному стовпчику. Кількість станів в рекурентній мережі представлено через прихований шар і ця кількість експоненціально залежить від кількості блоків у шарі.

LSTM-моделі. У другій половині 90-х років ХХ століття Сепп Хохрайтер разом з іншими науковцями створили покращені варіанти штучних нейронів, які отримали назву LSTM (Long Short-Term Memory). І LSTM-мережі - це найбільш розповсюджений варіант рекурентних нейронних мереж. Важливими елементами в таких мережах є комірки пам'яті та так звані "вентилі" (вентиль входу та вентиль забуття). Якщо обидва вентилі

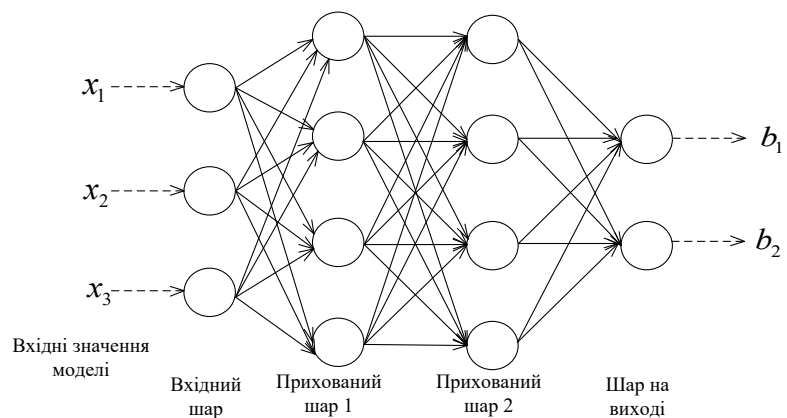


Рис. 1. Типова архітектура нейронної мережі

зачинено, то вміст блоку (нейрону) залишається незмінними при переході від одного часового кроку до іншого. Вентилі дозволяють зберігати інформацію у блоці моделі (комірці пам'яті) упродовж великого числа часових кроків. Моделі на основі LSTM-нейронів здатні запам'ятовувати інформацію на деякому проміжку часу з подальшим прогнозуванням на основі цієї інформації. Тобто, на основі попередніх даних мережа здатна спрогнозувати значення на виході одного з блоків моделі. Ці мережі можуть використовувати власну внутрішню пам'ять для оброблення послідовностей довільної довжини. До цієї послідовності можна віднести словосполучення як складових записаного мовного сигналу.

Вектори-стовпчики	Слова	Значення
	Один	0
	Два	1
	Три	0,5
	Чотири	0



Вектори-стовпчики	Часові кроки					
	Слова	0	1	2	3	4
	Один	0	0	0,2	0	0
	Два	0	0	0	0	0,7
	Три	0	0	0,5	0	0
	Чотири	0	0	0	0,9	0

Рис. 2. Часова залежність появи вхідних даних моделі

Саме такі моделі найчастіше використовуються в системах розпізнавання мови та тексту, а також при поліморфному моделюванні музики. В рекурентних нейронних мережах архітектура з рисунку 1 модернізується через додавання зворотного зв'язку між виходом і входом нейрону мережі. На рисунку 3 наведена спрощена структура такої мережі зі зворотнім зв'язком нейронів у прихованих шарах.

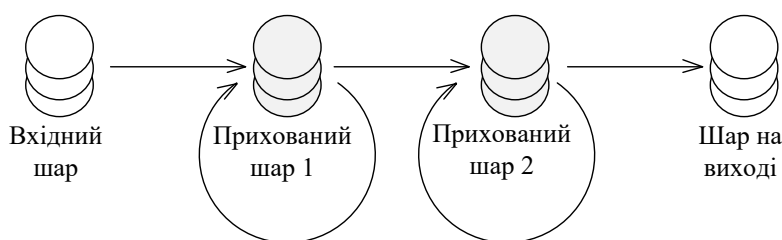


Рис. 3. Архітектура LSTM-моделі нейронної мережі

До структури блоку LSTM-мережі входять три вентилі (вхідний (input gate), вихідний (output gate) та забуття (forget gate)), комірці пам'яті (cell), вхід блоку та вихідна функція активації. Вхідний вентиль захищає блок моделі від несуттєвих вхідних подій. Вентиль забуття дозволяє стирати вміст комірці пам'яті. Вентиль на вході, блокує або ні, дані вмісту комірці пам'яті на виході блоку моделі. Вихід блоку LSTM-моделі рекурентно з'єднується з входом та усіма вентилями блоку.

Навчання нейронної мережі означає, що проводиться пошук найкращої множини значень параметрів моделі. З іншого боку, навчання мережі можна представити, як задача оптимізації, де потрібно мінімізувати функцію втрат відносно параметрів функції передбачення (на основі моделі). Алгоритми оптимізації передбачають розрахунок або матриці Якобі (якобіан, матриця, яка складається з частинних похідних функції втрат по кожному параметру) або похідної якобіана. Функція втрат кількісно визначає відхилення передбаченого від фактичного. Іншими словами, розраховується певна метрика, яка базується на спостереженні помилки передбачення. Далі помилки агрегуються по усьому набору даних і усереднюються. В результаті цієї процедури маємо число, яке показує наскільки близько знаходимось від ідеалу (еталону). Пошук ідеального стану аналогічний пошуку параметрів (вагових коефіцієнтів), які мінімізують "втрату" через помилки. Тим самим функція втрат дозволяє розглядати завдання навчання нейронної мережі, як завдання оптимізації. Як правило, оптимальні значення параметрів нейронної мережі знаходять через алгоритми апроксимації. Значення функції втрат залежить лише від вагових коефіцієнтів та зміщень нейронної мережі, а це визначає стан нейронної мережі.

У добре навченій нейронній мережі вагові коефіцієнти підбираються таким чином, що сигнал підсилюється, а шум навпаки послаблюється. Чим більше вага, тим сильніше кореляція між сигналом та виходом мережі. Входи нейронів з більшими ваговими коефіцієнтами впливають на інтерпретацію даних сильніше, ніж входи з малими ваговими коефіцієнтами. Процес навчання в алгоритмі на основі вагових коефіцієнтів полягає у послідовному перерахунку вагових коефіцієнтів так, що одні збільшуються, а інші зменшуються. У підсумку, значимість одних частин інформації збільшується, а інших зменшується. Це дозволяє моделі визначити,

які ознаки з якими виходами пов'язані і за цим можна переналаштувати вагові коефіцієнти моделі. У більшості наборів даних певні ознаки сильно корелюють з певними мітками. Ці зв'язки нейронна мережа обробляє самостійно і формує гіпотези на основі вхідних даних за якими далі вимірює правильність отриманих результатів.

У всіх трьох вентилях блоку LSTM-мережі використовуються сигмоїдні функції активації. В якості функції активації на вході та на виході використовується функція гіперболічного тангенсу. Шар в нейронних LSTM-мережах передбачає вхідний одновимірний вектор x , який є не фіксованим. На вихід шару впливає вхід та його історія через використання рекурентних зв'язків. В таких мережах для оновлення вагових коефіцієнтів та їх зміщень використовується навчання з викладачем.

Програмна реалізація рекурентної нейронної мережі на основі фреймворку Keras.

В рекурентних нейронних мережах враховується послідовний характер вхідних даних. Тобто на вхід такої мережі можна подавати текст, мову, часовий ряд, де поява елемента в послідовності залежить від попередніх елементів цієї послідовності. Задача розпізнавання мови полягає в автоматичному відновленні тексту зі слів, фраз, які промовляються людиною чи голосовою електронною системою.

Структурна схема типової системи розпізнавання мовних сигналів показана на рисунку 4. Мовний сигнал після перетворення в цифрову форму розбивається з деяким сталим кроком на вікна і для кожного блоку в модулі акустичного аналізу вираховується вектор значень деяких спектральних параметрів, і насамперед це стосується розрахунку мел-кепстральних коефіцієнтів. Далі вектори параметрів подаються послідовно на вхід блоку локального розпізнавання, який об'єднує еталонні блоки усіх слів мови. При надходженні на вхід цього модуля кожного нового вікна модифікується орієнтований граф гіпотез розпізнавання. Тобто, додаються нові гіпотези щодо вимовленої послідовності слів мови та видаляються гіпотези, ймовірність котрих менше певного порогу. В результаті такого аналізу, залишаються лише ті гіпотези, які завершуються на певне слово мови. Для ефективної роботи цього модуля суттєву роль відіграє вибір фонетичного алфавіту. І сама модель фактично проходить навчання на основі текстових та акустичних баз даних. Текстові бази

необхідні для навчання та перевірки ефективності мовних моделей, а акустичні – для налаштування параметрів алгоритмів локального розпізнавання. Побудуємо алгоритм функціонування рекурентної нейронної мережі в середовищі `ruchart` враховуючи вище наведені етапи структурної схеми з рисунку 4.

Фреймворк Keras являє собою шар рекурентної мережі SimpleRNN, де використовуються вентиля та комірки пам'яті. Використання можливостей фреймворку Keras дозволяє побудувати систему розпізнавання мови [5, с. 45].

В рамках дослідження побудуємо алгоритм взаємодії ланок рекурентної нейронної мережі для розпізнавання словосполучень на основі інструментів та бібліотек об'єктно-орієнтованого програмування `ruchart`.

Спочатку імпортуємо бібліотеки-модулі `librosa`, а з підключеного таким чином фреймворку Keras завантажуюмо складові нейронної мережі `sequential`, `LSTM`, `Dense`. На основі цих складових підключаються програмні можливості з акустичного аналізу вхідного сигналу.

```
import librosa
from os import listdir
import numpy as np
from sklearn.model_selection import train_test_split
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, LSTM
```

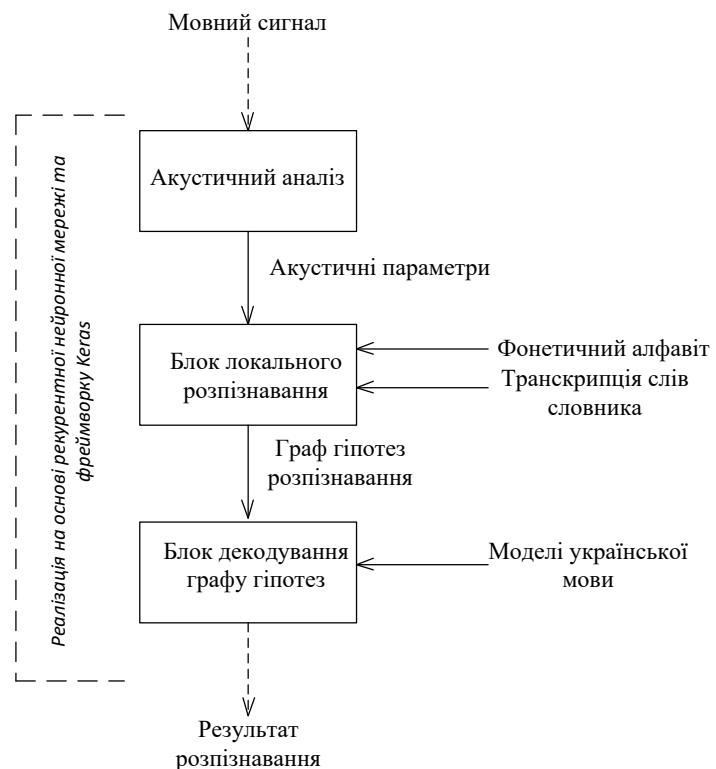


Рис. 4. Варіант системи розпізнавання мовних сигналів

Після цього, завантажуюмо тестові сигнали для роботи нейронної мережі – українські словосполучення, які записано через мікрофон. Але до цього, необхідно розрахувати функцію MFCC (мел-кепстральні коефіцієнти), яка враховує звукове сприйняття сигналів слуховою системою людини:

```
def
loadSound(path):
soundList = listdir(path)
loadedSound = []
for sound in soundList:
Y, sr = librosa.load(path + sound)
loadedSound.append(librosa.feature.mfcc(Y, sr=sr))
return np.array(loadedSound)
```

Тестові сигнали визначаються на основі наступного частину коду алгоритму:

```
first = loadSound('./ukr one/')
two = loadSound('./ukr two/')
three = loadSound('./ukr three/')
X = np.concatenate((first, two, three), axis=0)
first_label = np.concatenate((np.ones(15), np.zeros(15), np.zeros(15)))
two_label = np.concatenate((np.zeros(15), np.ones(15), np.zeros(15)))
three_label = np.concatenate((np.zeros(15), np.zeros(15), np.ones(15)))
y = np.concatenate((first_label[:, None], two_label[:, None], three_label[:, None]), axis=1)
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.01, random_state=20)
```

З'єднаємо ці сигнали в один блок даних на основі функції конкатенації і сформуємо мітки. Після цього, створимо два набори вхідних даних – для навчання та тестування. Додамо послідовну модель нейронної мережі LSTM (Dense – повністю з'єднані нейрони). Кількість нейронів складає з 256 до 3 (ємність моделі). Функцією активації в нашому прикладі буде функція softmax, яка нормує оцінки, перетворюючи їх у ймовірності.

```
model = Sequential()
model.add(LSTM(units=256, return_sequences=True))
model.add(LSTM(units=128, return_sequences=True))
model.add(LSTM(units=64, return_sequences=True))
model.add(LSTM(units=32))
model.add(Dense(units=128, activation='relu'))
model.add(Dense(units=64, activation='relu'))
model.add(Dense(units=32, activation='relu'))
model.add(Dense(units=3, activation='softmax'))
```

Оцінка точності роботи моделі в режимі тестування та навчання визначається наступним рядком алгоритму

```
model.compile(loss='categorical_crossentropy', optimizer='adam', metrics=['accuracy'])
```

Запустимо модель рекурентної нейронної мережі з ознаками навчання з вчителем. Кількість циклів моделі обрано на рівні 10000.

```
model.fit(X_train, y_train, epochs=10000, validation_data=(X_test, y_test))
```

```
Epoch 1/10000
1/1 [.....] - 10s 10s/step - loss: 1.2002 - accuracy: 0.2593 - val_loss: 1.0839 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 2/10000
1/1 [.....] - 0s 98ms/step - loss: 1.0788 - accuracy: 0.7037 - val_loss: 1.0710 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 3/10000
1/1 [.....] - 0s 87ms/step - loss: 1.0442 - accuracy: 0.8239 - val_loss: 1.0599 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 4/10000
1/1 [.....] - 0s 88ms/step - loss: 1.0078 - accuracy: 0.8719 - val_loss: 1.0430 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 5/10000
1/1 [.....] - 0s 92ms/step - loss: 0.9941 - accuracy: 0.9239 - val_loss: 1.0355 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 6/10000
1/1 [.....] - 0s 92ms/step - loss: 0.9153 - accuracy: 0.9450 - val_loss: 1.0108 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 7/10000
1/1 [.....] - 0s 88ms/step - loss: 0.8555 - accuracy: 0.9650 - val_loss: 0.9904 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 8/10000
1/1 [.....] - 0s 90ms/step - loss: 0.7998 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.9804 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 9/10000
1/1 [.....] - 0s 78ms/step - loss: 0.7221 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.9608 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 10/10000
1/1 [.....] - 0s 129ms/step - loss: 0.6493 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.9414 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 11/10000
1/1 [.....] - 0s 99ms/step - loss: 0.5718 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.9217 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 12/10000
1/1 [.....] - 0s 91ms/step - loss: 0.4878 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.9038 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 13/10000
1/1 [.....] - 0s 91ms/step - loss: 0.4034 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.8856 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 14/10000
1/1 [.....] - 0s 81ms/step - loss: 0.3209 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.8671 - val_accuracy: 0.0047
Epoch 15/10000
1/1 [.....] - 0s 81ms/step - loss: 0.2382 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.8475 - val_accuracy: 0.0047
```

Рис. 5. Результат роботи моделі нейронної мережі

```
Epoch 9998/10000
1/1 [.....] - 0s 98ms/step - loss: 9.4757e-05 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0897 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 9999/10000
1/1 [.....] - 0s 88ms/step - loss: 9.4324e-05 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0810 - val_accuracy: 1.0000
Epoch 10000/10000
1/1 [.....] - 0s 35ms/step - loss: 9.3896e-05 - accuracy: 1.0000 - val_loss: 0.0896 - val_accuracy: 1.0000
Process finished with exit code 0.
```

Рис. 6. Результат роботи моделі наприкінці

За умовами побудованого програмного алгоритму мовні сигнали подаються на вхід моделі послідовно. Тобто, три слова: “один”, “два”, “три” з різною інтонацією надходять на вхідний шар нейронної мережі. Враховуючи, що модель працює у двох режимах, і проходячи набори вхідних даних відбувається її навчання, що показує рисунок 5. Відмітимо, що функція втрат поступово зменшується, а максимальна точність розпізнавання циклу з трьох слів вже досягається на 8 циклі. Тобто, можна зробити висновок, що мережа не є навантаженою і сам процес розпізнавання відбувається дуже швидко. На рисунку 6 наведемо останні кроки роботи нейронної мережі.

В результаті отримуємо точність роботи алгоритму на рівні приблизно $9,3 \times 10^{-5}$. При цьому, один цикл проходження зменшився до 83 мс (рис.6), тобто в результаті навчання і формування правильних гіпотез нейронна мережа працює з розпізнавання окремих слів швидше.

Висновки. Проаналізовано ключові особливості зі створення програмної моделі рекурентної

нейронної мережі для системи розпізнавання мови і визначено ключові переваги цієї архітектури над прихованими марківськими моделями. Знайдено, що для роботи з мовними сигналами необхідно враховувати суб'єктивне сприйняття звучання людиною і тому, для універсальності моделі мережі запропоновано використовувати замість звичайної частотної шкали в Гц мел-шкалу, яка визначає “висоту” сигналу. Побудовано схему електронної системи розпізнавання і на її основі створено програмний алгоритм з підключенням спеціальних бібліотек-модулів. В якості перевірки моделі нейронної мережі обрано три слова і показано, що створений алгоритм досягає цілі за критерієм високої точності та мінімумом функції втрат вже на 8 циклі роботи. На основі проходження 10000 циклів (приблизно 14 хвилин роботи мережі) вдалось отримати точність роботи алгоритму на рівні приблизно $9,3 \times 10^{-5}$. Отримані результати дозволяють стверджувати про здатність створеної моделі до розпізнавання складних мовних фонетичних конструкцій з включенням іноземних слів.

Список літератури:

1. Beigi H. Fundamentals of speaker recognition. Recognition Technologies, Inc., Yorktown Heights : NY, US, 2011. 942 p.
2. Huang X. Spoken language processing: a guide to theory, algorithm, and system development. Prentice Hall : PTR, 2001. 936 p.
3. Patterson J., Gibson A. Deep Learning : a practitioner's approach. O'Reilly Media, Inc., 2017. 530 p.
4. Shahin I., Nassif A. Speaker identification in stressful talking environments based on convolutional neural network. *International Journal of Speech Technology*. 2021. Vol. 24. P. 1055–1066
5. Gulli A., Pal S. Deep Learning with Keras. Packt Publishing, 2017. 318 p.

Borisov G.O., Trapezon K.O. STUDY OF THE FEATURES OF THE CREATION OF ELECTRONIC LANGUAGE RECOGNITION SYSTEMS BASED ON NEURAL NETWORKS

Software methods for implementing recurrent neural networks are defined as the basis for creating a system for recognizing speech signals based on visual features. The main links of the direct propagation neural network model were analyzed and it was noted that according to the architecture and principles of the latter, the most important elements in such networks are memory cells and switching devices - valves of two or three types depending on the purpose. Thus, gates allow you to store information in a block of the network model during a significant number of time steps, into which the input sequence is divided by duration. This approach allows the neural network to work with speech signals that have signs of variability over time. It is shown that for the correct operation of the network, it is advisable to use feedback loops for hidden layers. After all, the presence of feedback determines in this case the ability of the network to learn.

Three speech signals, which the network should reproduce at the minimum value of the loss function, are selected as input data to the created algorithm of the functioning of the recurrent neural network. It is noted that the basis of the operation of the software algorithm of the network is connected to the appropriate libraries-modules in the Pycharm object-oriented programming environment, in particular, the Keras framework from this environment is used. At the same time, it was chosen that the activation function in the hidden blocks of the network model are sigmoid functions, as such, which allow you to effectively smooth out emissions when formulating hypotheses within the framework of the model. A software algorithm for implementing a recurrent neural network for speech recognition is presented. It was found that when analyzing signals, the neural network during training with a teacher gives high recognition accuracy already at the 8th cycle of iteration. At the same time, it was found that the entropy function of losses reaches a minimum value at the level of 9.389×10^{-5} at the end of the functioning of the model cycles. This, in turn, testifies to the high accuracy of the neural network and confirms the possibility of its implementation in speech recognition systems.

Key words: neural networks, speech recognition system, signal, audio, processing, framework, function, architecture.

Оксанич А.П.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Когдась М.Г.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Палагін В.А.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Донських О.В.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Ситник В.Ю.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Артеменко В.О.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

РОЗРОБКА СЕНСОРНИХ МАТРИЦЬ НА ПОРУВАТИХ НАПІВПРОВІДНИКАХ ДЛЯ КОНТРОЛЮ КОНЦЕНТРАЦІЇ ГАЗІВ

У статті проведено дослідження частотних залежностей ємності багатошарової структури матричних сенсорів з товстими шарами поруватого напівпровідника в умовах вакууму та газового середовища (водень, вуглекислий газ), визначено, що у вакуумі ємність мало змінюється при варіації частоти. При переміщенні датчика у середовище H_2 або CO_2 з концентрацією від 100 до 10000ppm $C(f)$ -характеристики матричного сенсору зміщуються у бік великих значень ємності, а при збільшенні концентрації ємність слабо залежить від частоти в області малих частот і значно змінюється при 10^3 Гц. Чим вище концентрація, тим більше високочастотну область зміщується ділянку різкого зростання ємності. Шляхом математичного моделювання розроблено еквівалентну схему структур із товстими шарами ПК в змінному струмі, що описує ємнісні властивості та враховує роль адсорбованих полярних молекул на стінках пір. Показано, що у області високих частот визначальний вклад у ємність дає ємність шару поруватого напівпровідника, а в області малих частот – ємність гетеро-переходу поруватий напівпровідник/метал. Отримано параметри, що визначають частотні та часові параметри контакту з бар'єром Шоттки, і постійною часу. Запропоновано апроксимацію можна використовувати при побудові кривих, апроксимуючих залежностей. Також запропоновано метод обробки сигналів від поруватих матричних сенсорів, який відрізняється застосуванням полігармонійного живлення з налаштованим набором частот, що дозволяє звести ємність вимірюваної структури до ємності шару поруватого напівпровідника та безпосередньо вимірювати величину діелектричної проникності поруватого шару. Важливою особливістю способу є застосування широкого діапазону частот (10^2 - 10^6 Гц), при яких зміна $C(\omega)$, зумовлена адсорбцією газів, та враховує лише повільні процеси струмоперенесення в газочутливому напівпровідниковому матеріалі, що визначає відповідну зміну елементів еквівалентного електричного ланцюга, в тому числі C_{PE} .

Ключові слова: матриця, серсор, газ, полігармонійний сигнал, вольт-фарадна характеристика.

Постановка проблеми. Для контролю технологічних середовищ та безпеки виробництва, необхідні системи контролю концентрації газів. Зазвичай такі системи включають в себе матрицю з газочутливих елементів та пристрій обробки сигналу. В якості датчиків сенсорних систем можуть використовуватися напівпровідникові матеріали. У даний час, для цих цілей широко використову-

ються сенсори на основі напівпровідників. Недоліком таких сенсорів є недостатньо високий діапазон робочих температур, їх низька селективність і стабільність. Особливо перспективними є розробки на поруватому GaAs, оскільки робота напівпровідникового сенсора тим ефективніше, чим більше розвинена поверхня кристалу. Одним із напрямків застосування поруватого GaAs є виготовлення

сенсорів газу, які можуть працювати при кімнатній температурі і мають підвищену швидкодію.

Незважаючи на інтенсивне дослідження властивостей поруватого напівпровідника, таких як ємність, електропровідність, фотолюмінісценція та велика площа питомої поверхні, що забезпечує високу хімічну активність матеріалу, до і після впливу газових середовищ, сенсорні, оптичні та електрофізичні властивості вивчені недостатньо. Тому виникає необхідність отримання параметрів контакту Шотткі, які в свою чергу визначаються його вольт-амперними характеристиками (ВАХ) та вольт-фарадними характеристиками (ВФХ). Створення таких сенсорів актуально, так як дозволить вирішувати комплексну задачу моніторингу атмосфери, контроль технологічних середовищ і безпеки промислового виробництва з використанням пристроїв електроніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, детектування наявності шкідливих газів або парів у навколишньому середовищі може ґрунтуватися на різних фізичних принципах. Виділяють, зокрема, електрохімічні, термохімічні, калориметричні, спектроскопічні методи контролю, а також методи контролю на основі механічного та ядерного магнітного резонансу [1].

Численні дослідження показали, що багато з властивостей поруватого шару напівпровідника, такі як інтенсивність фотолюмінісценції, ємність, електропровідність, коефіцієнт відбиття, інфрачервоне поглинання, резонансна частота резонатора [2] роблять перспективним його використання у сенсорах газів. Останні дослідження зосереджуються в основному на інтеграції поруватих шарів напівпровідника в сенсорні структури, що демонструють вдосконалені архітектури резисторного та транзисторного типу, сенсорні на основі діодів Шотткі та р-п переходу, що показано на рис. 1, а також хімічній обробці поверхні (наприклад, силанізації, карбонізації, металізації тощо) з метою підвищення чутливості, вибіркової та надійності. Сенсори газів з бар'єром Шотткі працюють за високих температур, вони є швидкими пристроями, дозволяють контролювати появу H_2 у навколишній атмосфері. Як правило, струм зростає лінійно зі збільшенням концентрації газу. Остання функція важлива для розробки вимірювальних пристроїв.

Діоди Шотткі мають унікальні електричні характеристики, які відрізняють їх від звичайних випрямляючих діодів:

- низьке значення прямої і зворотної напруги;
- високі показники струму витоку;

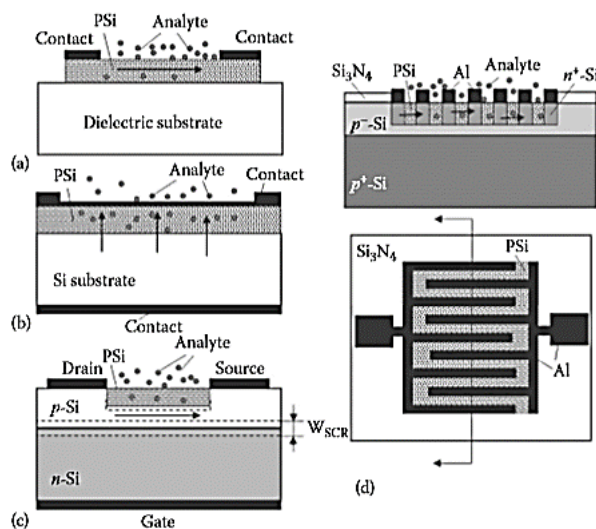


Рис. 1. Архітектури резисторного (а) та транзисторного сенсорів (с), сенсорів на основі діодів Шотткі (b) та р-п переходу (d)

– фактична відсутність заряду зворотного відновлення.

Сенсори на основі Si мають перевагу низької вартості та високорозвиненої технології, тоді як складені напівпровідникові пристрої виявляють перевагу більш високої чутливості, швидшого реагування та підвищення робочих температур [3]. Багато авторів повідомляють про сенсори на основі GaAs з забороненою зоною 1,43 eV [4, 5] для визначення газів.

Для багатьох напівпровідників III-V групи, висота бар'єру не завжди відповідає теорії через велику щільність поверхні, що викликає забруднення рівня Фермі [6]. Freeouf та ін. [7] запропонували ефективну модель роботи виходу, яка підкреслює роль проміжного шару, утвореного реакцією між металом та GaAs для визначення висоти бар'єру. Однак, деякі дослідники виявили, що забруднення рівня Фермі не відбувається, коли з'єднання метал-GaAs виготовлено на чистих (100) поверхнях GaAs [8].

Було багато повідомлень про ефективність діодів Шотткі на основі каталітичних металів (Pt і Pd)/GaAs для визначення різних газів, таких як водень [9, 10] та ін. Салехі та ін. [11] успішно виготовили сенсори на основі діодів Шотткі з $In_2O_3-Sn/GaAs$ для визначення CO. Ці сенсори спрацьовували в режимі прямого зміщення і відгук на газу був пов'язаний зі зниженням роботи виходу металу та бар'єру Шотткі у з'єднанні метал/GaAs.

Підвищення чутливості поруватого сенсора пояснювалося морфологією поверхні і було роботою двох параметрів: площі поверхні та щільності

порожнин між стінками пір (кількість пір, що важливо в каталізаторах). Також були досліджені характеристики вимірювання діодів Шотткі на основі Pd/porous GaAs та Au/porous GaAs у порівнянні з сенсорами на основі Pd/GaAs та Au/GaAs відповідно. Було встановлено, що сенсор Au/porous GaAs був дуже чутливий до газів CO та NO, в той час як сенсор Au/GaAs реагував на ці гази незначно. Значне зниження напруги пробую сенсор на основі Au/porous GaAs було зумовлено високою поруватістю структури Au/porous GaAs при появі великих електричних полів у верхній частині поруватого матеріалу.

У роботі [12] було досліджено вольт-фарадні характеристики діода Шотткі Pd/porGaAs і було показано, що висота бар'єру в атмосфері водню збільшується, при цьому збільшується і ємність. Отже, збільшення ємності як у Pd/porGaAs не може бути пов'язане зі зменшенням ширини області об'ємного заряду, а тільки з накопиченням зарядів у структурах.

У роботі [13] авторами запропоновано систему на основі виготовлених окремих сенсорів на поруватому кремнію, показано, що сенсорні елементи отримані з керованими параметрами, характеризуються суттєвим розкидом перетворювальних характеристик в системі координат “повний імпеданс-частота”. Крім того, при дії на матрицю різними концентраціями заданих газових сумішей, спостерігається кореляційна залежність індивідуального імпедансного спектру сенсора з концентрацією даного типу газу.

Постановка завдання. Під терміном матричний сенсор розумітимемо об'єднану групу сенсорів, виготовлених на одній підкладці поруватого напівпровідника (рис. 2).

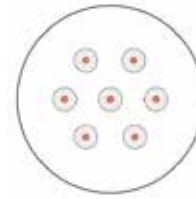


Рис. 2. Схематичне зображення матричного сенсора на поруватому напівпровіднику

У даній роботі кремнієві пластини n-типу SEP-10 (111). Діаметр платини становив 76 мм, а товщина – 420 мкм. Всього було виготовлено 4 зразка [14].

При виготовленні матричного сенсора на пластину напівпровідника з тильної сторони наносять контакт Au/Ge-Ni-Au, а з протилежної сторони формують електрохімічним методом сім поруватих шарів діаметром 10 мм, з однаковими режимами травлення імпульсним струмом. На кожен поруватий шар напильють контакт пладію діаметром 3 мм.

Основною задачею є розробка установки та способу аналізу концентрації газів шляхом вимірювання частотної залежності (спектру) вольт-фарадних характеристик $C(\omega)$ сенсорних елементів на основі поруватих напівпровідників з полігармонічним живленням при впливі різних газів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Весь процес автоматизації визначення та аналізу параметрів сенсорних елементів можна розділити на три етапи: узгодження сигналів, формування моделей, збереження і виведення даних. Схема електрична структурна системи визначення та аналізу параметрів матричних сенсорних елементів на рис. 3 [15].

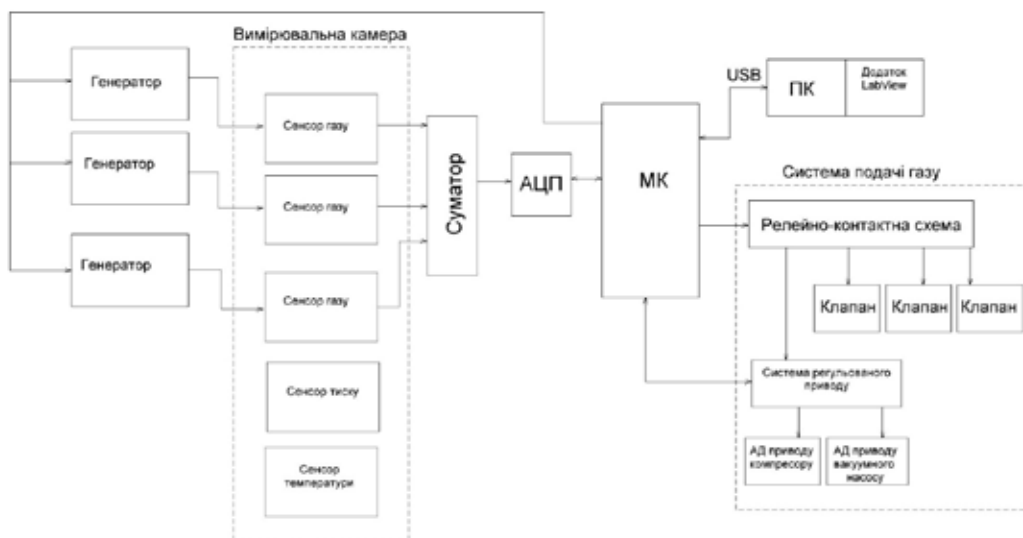


Рис. 3. Схема електрична структурна системи визначення та аналізу параметрів матричних сенсорних елементів

Апаратна частина комплексу включає:

- вимірювальну камеру;
- сенсорний елемент на основі діодів Шотткі, що утворюється поруватими плівками GaAs, сенсори тиску та газу, сенсор струму та напруги;
- блок узгодження та управління, що включає перетворювач інтерфейсів;
- пристрій збору даних;
- ПК з програмним забезпеченням та послідовним інтерфейсом USB.

До мікроконтролерної системи послідовно підключений перетворювач інтерфейсів «струмова петля-напруга» та сенсор струму та напруги по інтерфейсу I²C. Блок узгодження та управління забезпечує регулювання клапанів, двигуна насоса при надходженні необхідного значення сигналу для відкачування і напуску атмосфери. У якості об'єкта вимірювань використовується сенсорний елемент на основі діодів Шотткі, заснований на методі прямого перетворення. Цей пристрій використовується для перетворення вимірюваної величини, де кожному значенню $\{y\}$ відповідає значення величини результату вимірювання $\{x_p\}$. За допомогою формули (1) розраховується результат вимірювання методом прямого вимірювання:

$$x_p = \{x_p\} [x], \quad (1)$$

де $\{x_p\}$ – значення величини результату вимірювання, відраховане безпосередньо з показань вимірювального пристрою; $[x]$ – одиниця вимірювання фізичної величини.

Вимірювання ємності досліджуваних структур було проведено в частотному діапазоні $f = 10^2$ - 10^6 Гц. Амплітуда змінної напруги становила 0,1 В. Дослідження проводилися в умовах вакууму, в газовому середовищі водню, вуглекислого газу та на повітрі. Було помічено, що вакуумне відкачування призводить до зменшення величини ємності, що свідчить про вплив повітря та газів на ємнісні параметри вимірюваних структур. На рис.4 для кімнатної температури представлені типові $C(f)$ характеристики для кількох зразків, сформованих кремнію p-типу провідності. Як впливає з наведеного малюнка, спостерігається однаковий вид залежності $C(f)$. Місткість структури в області великих частот була мінімальною і слабо залежала від величини f . При зменшенні частоти інтервалі 10^2 - 10^5 Гц ємність збільшилася кілька порядків, а області малих частот (менше 10^2 Гц) знову слабо залежала від f . Додаткові дослідження, проведені в інтервалі 1-25 МГц, показали, що ємність при цих частотах трохи зменшувалася зі зростанням f і ця зміна для крайніх точок частотного інтервалу склала 10-20%.

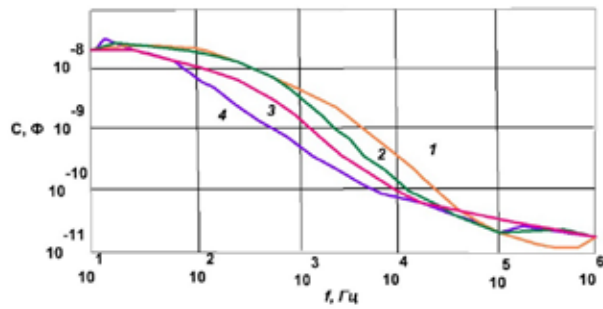


Рис. 4. Залежність ємності структур від частоти для ПК, сформованого на p⁺-Si (4). dПК: 1 – 106 мкм, 2 – 86 мкм, 3 – 67 мкм, 4 – 109 мкм.

Це можна пояснити так. В області високих частот ($f > 1$ МГц) ємність тестової структури визначається найменшою ємністю в системі послідовно з'єднаних конденсаторів (рис.5, а) – ємністю шару ПК (C2). При зниженні частоти в результаті частотної залежності ємність конденсатора C2 може підвищуватися і наближатися до ємності конденсатора, що має мінімальне значення набору C1, C3, C4. У тому випадку, коли ємність C2 перевищить другу за величиною децимі ємність у ланцюжку послідовно з'єднаних конденсаторів, ємність усієї структури визначатиметься вже конденсатором з мінімальною ємністю з ряду C1, C3, C4. Найбільш ймовірно, що такою ємністю є ємність переходу ПК/МК (C3). Саме ємність збідненого шару на межі пористий шар/кремнієва підкладка найчастіше використовується при аналізі ємнісних властивостей структур з ПК [16]. Прямим експериментальним доказом цього є вид вольт-фарадних характеристик (ВФХ), виміряної на тестових зразках у сфері малих частот, що відповідає виду ВЕХ переходу ПК/МК [16]. Таким чином, ступінчастий вид залежності $C(f)$ може бути обумовлений визначальним вкладом ємності шару ПК (C2) в області високих частот, ємності переходу ПК/МК (C3) при низьких частотах та спільним вкладом ємностей C2 та C3 при проміжних значеннях f .

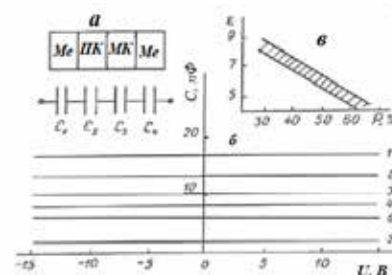


Рис. 5. а-структура Me/ПК/МК/Me та її еквівалентна ємнісна схема; б-типів ВЕХ структур на основі Si, легованого бором (1-4), фосфором (5), сурмою (6): 1-P=67%, dПК=67 мкм, 2 – P=66%, dПК=86 мкм, 3 – P = 65%, dПК = 100 мкм, 4 – P = 68%, dПК = 110 мкм, 5 – dПК = 140 мкм, 6 – dПК = 165 мкм; зразки 1-4 отримані на КДБ-0,03 за однакових умов анодування протягом різного часу; в – залежність діелектричної проникності ПК від величини вагової пористості.

На рис. 6 і 7 представлені зміни залежності $C(f)$ від газового середовища, в яке вони були поміщені для зразків з товстими шарами ПК, отриманими на підкладках n^+-Si , відповідно. Як випливає з наведених рисунків, має місце однаковий характер зміни $C_{(f)}$ H_2 і CO_2 . У вакуумі ємність мало змінюється при варіації частоти. При приміщенні датчика в середу H_2 або CO_2 з концентрацією від 100 до 10000ppm $C_{(f)}$ - характеристики структури зміщуються у бік великих значень ємності, а при збільшенні концентрації ємність слабо залежить від частоти в області малих частот і значно змінюється при 10^3 Гц.

При аналізі експериментальних результатів було розглянуто різні фізичні моделі, серед яких найкращий збіг з експериментом показала запропонована нами комбінована модель, що враховує ємнісні властивості переходу ПК/МК і що розглядає наявність адсорбованих полярних молекул на поверхні пор. Загальна еквівалентна схема такої моделі показано на рис.7. Вона включає дві послідовно з'єднані схеми, одна з яких описує електричні властивості ПК за наявності адсорбованих молекул на стінках пор (СПК), а друга враховує властивості гетеропереходу ПК/МК (СПП). У схемі використані такі позначення: C_1^* – ємність шару ПК, R_1^* – опір шару ПК, C_2^* - ємність, що враховує роль адсорбованих молекул, R_2^* – опір, пов'язаний з адсорбованими атомами, C_3^* та R_3^* - ємність та опір переходу ПК/МК. Важливо відзначити, що за своєю фізичною суттю розглянута модель відноситься до відсутності повітряного середовища (вологого повітря) в обсязі пір, коли не відбувається формування суцільного каналу провідності по стінках пір, що має місце, наприклад, датчиках вологості на постійному струмі. Ця модель відповідає вакуумним умовам і бере до уваги лише адсорбовані молекули та атоми, вакуумної десорбції яких не відбувається. Ідеологія опису ролі адсорбованих атомів на стінках пір як послідовно з'єднаних C_2^* і R_2^* . У цьому випадку результуюча ємність всього ланцюжка (C) запишеться

$$1 / C = 1 / C_{ПК} + 1 / C_{ПП}, \quad (2)$$

$$C_{ПК} = C_1^* + C_2^* / [1 + (\omega C_2^* R_2^*)^2], \quad (3)$$

$$C_{ПП} = C_3^* [1 + (\omega C_3^* R_3^*)^2] / (\omega C_3^* R_3^*)^2, \quad (4)$$

$$\omega = 2\pi f, \quad (5)$$

де ω – кругова частота, f – частота в Герцах. Формула (2) взята з роботи [13], формула (4) – з [17].

У запропонованій еквівалентній схемі є 6 невідомих параметрів, тому повний детальний аналіз

для всього інтервалу залежностей $C(f)$, представлених на рис.6 – 7, на підставі ф.(2) – (5) виявляється затрудненим. Завдання полегшується у разі, коли залежність ємності структури від частоти має вигляд плавної сходинки, що у області низьких частот (рис.6). За цих умов області мінімальної частоти ємність структури визначається ємністю переходу ПК/МК СПП, а за максимальної частоти – ємністю СПК, де визначальна роль належить ємності $C1^*$. Невідомі параметри $C1, C2, C3, R1, R2$ і $R3$ можуть бути визначені наступним чином. Ємність $C1^*$ – з ділянки $C(f)$ - характеристики в області великих частот, $C2^*$ – із частотної залежності динамічної провідності, $C3^*$ та $R3^*$ – з лінійних діаграм $R(1/C)$ [7] (R та C – провідність і ємність всієї структури на певній частоті), $R1^*$ – зі статичної ВАХ структури в області малих зсувів (із загального опору віднімається внесок $R3^*$), $R2^*$ – із частотної залежності динамічної провідності в області високих частот.

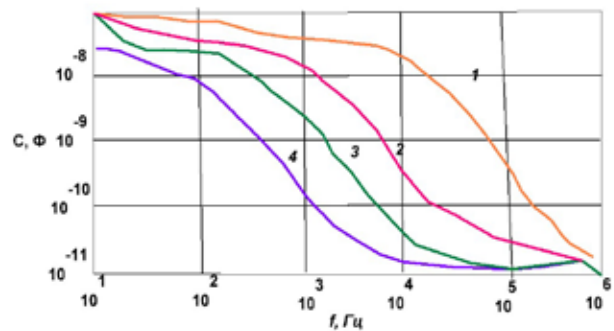


Рис. 6. Залежність $C(f,T)$ для тестової структури в газовому середовищі водню. Товщина шару ПК – 106 мкм, пористість – 65%.

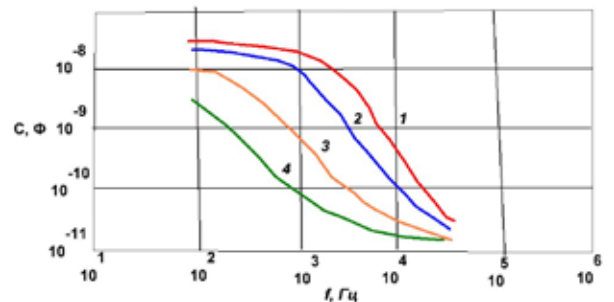


Рис. 7. Залежність $C(f,T)$ для тестової структури в газоваому середовищі вуглекислого газу. Товщина шару ПК – 91 мкм, пористість – 52%

Як конкретний приклад розглянемо зразок ПК, представлений на рис. 8 (крива 1). Набір параметрів для еквівалентної схеми такого зразка за кімнатної температури наведено в табл. 1.

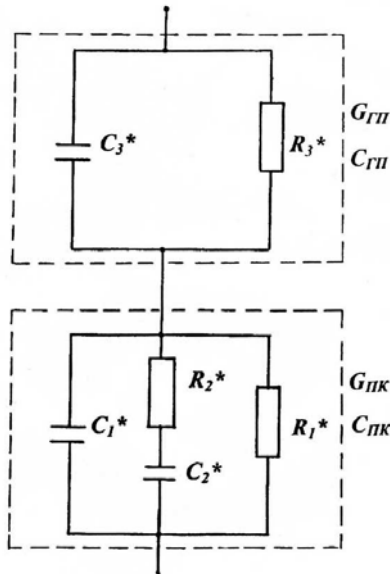


Рис. 8. Еквівалентна схема для опису електричних властивостей структур із товстими шарами ПК на змінному струмі

Таблиця 1

Параметри еквівалентної схеми для одного із зразків ПК

C_1^* , Ф	C_2^* , Ф	C_3^* , Ф	R_1^* , Ом	R_2^* , Ом	R_3^* , Ом
$1,5 \cdot 10^{-11}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-8}$	10^7	$5 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$

Важливо відзначити, що зазначені величини (за винятком C_2^*) визначені безпосередньо з експерименту без застосування підгоночних процедур. Лінійна діаграма Бермана для зразка зображено на рис.9. З таблиці слід, що опір пористого шару R_1^* набагато перевершує опір переходу R_3^* , і при вимірі на постійному струмі основний внесок у опір структури дійсно вносить опір шару ПК. На рис.10 наведено теоретичну залежність $C(f)$ (крива 2), побудована при даному наборі параметрів на підставі рис. 6 та 7, яка добре описує загальний вигляд експериментальної залежності (крива 1). Подібна хороша відповідність експериментальних та теоретичних кривих $C(f)$ була отримана нами та для інших структур з товстими шарами ПК, що підтвердило працездатність запропонованої еквівалентної схеми (рис. 8).

Фізичні процеси, що відбуваються в досліджуваних шарах ПК частотному інтервалі 10^1 - 10^6 Гц, на підставі проведеного аналізу можуть бути описані наступним чином. У вакуумі ємність структури повністю описується ємністю шару ПК, яка залежить від частоти (рис.9, рис.10). Останнє пов'язане з відсутністю впливу адсорбованих атомів, обложених на стінках пір. При приміщенні в газове середовище від 100 до 10000ppm ємність структури починає зростати, причому в області високих частот це

збільшення незначне, а в області низьких частот може досягати кількох порядків. Це пов'язане із зростаючим вкладом адсорбованих молекул, що призводить до збільшення ємності шару ПК. Чим вище концентрація, тим більше високочастотну область зміщується ділянку різкого зростання ємності. Свій вклад у цей процес вносить зменшення опору R_2^* при підвищенні температури. При подальшому підвищенні концентрації газів ємність структури області низьких частот виходить на ділянку слабого зміни ємності при зміні частоти, що з визначальною роллю ємності переходу напівпровідник/метал.

Результати досліджень дозволяють пояснити ефект аномально сильної зміни діелектричної проникності ПК при варіації концентрації молекул. Існування додаткової фази в ПК може бути пов'язане з наявністю молекул газів в обсязі пор, а у вакуумних умовах – з вкладом адсорбованих молекул на стінках пор. Якщо в досліджуваних пористих структурах взяти до уваги присутність цих двох факторів, то їх роль і стає визначальною в “аномальній” зміні діелектричної проникності ПК.

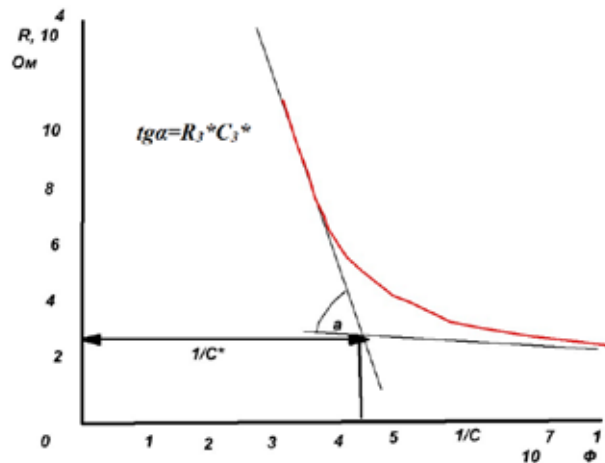


Рис. 9. Лінійна діаграма Бермана для зразка, описаного на рис.7 (крива 1), виходячи з якої визначаються величини R_3^* і C_3^*

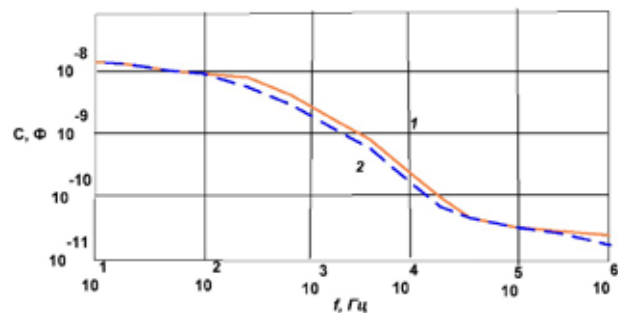


Рис. 10. Експериментальна (крива 1) та теоретична (крива 2) залежності $C(f)$ при кімнатній температурі в вакуумі для одного із зразків ПК. Підкладка – КДБ-0,03, товщина ПК – 106 мкм, пористість 65%

Висновки. Проведено дослідження частотних залежностей ємності багат шарової структури з товстими шарами поруватого напівпровідника в умовах вакууму та газового середовища, що дозволило визначити зростання ємності структури, причому в області високих частот це збільшення незначне, а в області низьких частот може досягати кількох порядків. Шляхом математичного моделювання розроблено еквівалентну схему структур із товстими шарами ПК в змінному струмі, що описує ємнісні властивості та враховує роль адсорбованих полярних молекул на стінках пір. Показано,

що у області високих частот визначальний вклад у ємність дає ємність шару поруватого напівпровідника, а в області малих частот – ємність гетеро-переходу поруватий напівпровідник/метал.

Отримав подальший розвиток метод обробки сигналів від поруватих плівкових сенсорів, який відрізняється застосуванням полігармонійного живлення з налаштованим набором частот, що дозволяє звести ємність вимірюваної структури до ємності шару поруватого напівпровідника та безпосередньо вимірювати величину діелектричної проникності поруватого шару.

Список літератури:

1. Korotcenkov G., Cho B.K. Porous semiconductors: Advanced material for gas sensor applications. Crit. Rev. Sol. St. Mater. 2010. P. 1–37.
2. Lee H. J., Lee C. H. Fabrication of NO₂ Gas sensors by using Au Schottky contacts on rough GaAs surfaces. Journal of the Korean Physical Society. 2010. Vol. 56, P. 639–642.
3. Potje-Kamloth K. Semiconductor junction gas sensors. Chemical Reviews. 2008. P. 367–399.
4. Nikfarjam A., Kalantari D. J. Experimental verification of theoretical analysis of Pd/porous-GaAs as a hydrogen sensor. Journal of Physics D: Applied Physics. 2008. Vol. 41. P. 1–6.
5. Когдась М. Г., Оксанич А. П., Холод О. Г., Притчин С. Е. Удосконалення методу створення контактів з бар'єром Шоттки до поруватого GaAs Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. – Київ: Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського. 2018. Том 29 (68) № 6, частина 2. С. 228-234
6. Potje-Kamloth K. Semiconductor junction gas sensors. Chemical Reviews. 2008. P. 367–399.
7. Freeouf J. L., Woodall J. M. Schottky barriers: An effective work function model. Applied Physics Letters. 1981. P. 727–729.
8. Salehi A., Kalantari D. J., Goshtasbi A. Rapid response of Au/Porous-GaAs humidity sensor at room temperature. Proceedings of Conference on Optoelectronic and Microelectronic Materials and Devices. 2006. P. 125–128.
9. Cheng S.-Y. A hydrogen sensitive Pd/GaAs Schottky diode sensor. Materials Chemistry and Physics. 2003. P. 525–528.
10. Salehi A., Nikfarjam A., Kalantari D. J. Pd/porous-GaAs Schottky contact for hydrogen sensing application. Sensors and Actuators, B: Chemical. 2006. Vol. 113. P. 419–427.
11. Salehi A., Kalantari D. J. Characteristics of highly sensitive Au/porous-GaAs Schottky junctions as selective CO and NO gas sensors. Sensors and Actuators, B: Chemical. 2007. Vol. 122. P. 69–74.
12. Weichsel C., Pagni O., Leitch A. W. R. Electrical and hydrogen sensing characteristics of Pd/ZnO Schottky diodes grown on GaAs. Semiconductor Science and Technology. 2005. Vol. 20, P. 840–843.
13. Монастирський Л., Яремик Р., Оленич І., Парандій П. Багатоелементні сенсорні системи на основі поруватого кремнію. Вісник Львівського ун-ту. Серія фізична. 2011. Випуск 46. С. 189-195
14. Оксанич А. П., Чебенко В. М., Притчин С. Е., Когдась М.Г., Мащенко М.А. Удосконалення методу отримання поруватих плівок GaAs з використанням нечіткого контролеру. Радиоелектроника и информатика. № 2(85) (2019). С. 4-8.
15. Оксанич А. П., Притчин С. Е., Когдась М.Г., Мащенко М.А., Остріковська Д. А. Розробка автоматизованої системи попередньої обробки сигналів з матричних сенсорів на поруватих напівпровідниках. Радиоелектроника и информатика. 2020. № 1. С. 10-14.
16. Dzhafarov T.D., Can B., Allahverdiev Z.A. Hydrogen-stimulated changes of properties of silver-porous silicon interfaces. Surface Science. 2001. P. 482–485.

Oksanych A.P., Kogdas M.G., Palagin V.A., Donskikh O.V., Sytnyk V.Yu., Artemenko V.O. DEVELOPMENT OF SENSOR MATRICES ON POROUS SEMICONDUCTORS FOR GAS CONCENTRATION CONTROL

In the article, a study of the frequency dependence of the capacitance of a multilayer structure of matrix sensors with thick layers of a porous semiconductor in vacuum and gaseous media (hydrogen, carbon dioxide) was carried out, and it was determined that the capacitance in a vacuum changes little with frequency variation.

When the sensor is moved to an H_2 or CO_2 environment with a concentration of 100 to 10,000 ppm $C(f)$ -, the characteristics of the matrix sensor shift towards large capacitance values, and when the concentration increases, the capacitance weakly depends on the frequency in the low frequency range and changes significantly at 10^3 Hz. The higher the concentration, the more the area of sharp increase in capacitance shifts to the high-frequency region. Through mathematical modeling, an equivalent scheme of structures with thick PC layers in alternating current was developed, which describes the capacitive properties and takes into account the role of adsorbed polar molecules on the pore walls. It is shown that in the region of high frequencies the determining contribution to the capacitance is the capacitance of the porous semiconductor layer; and in the region of low frequencies – the capacitance of the porous semiconductor/metal heterojunction. The parameters determining the frequency and time parameters of the contact with the Schottky barrier and the time constant were obtained. The proposed approximation can be used when constructing curves, approximating dependencies. Also proposed is a method of processing signals from porous matrix sensors, which is characterized by the use of polyharmonic power supply with a set frequency set, which allows reducing the capacity of the measured structure to the capacity of the porous semiconductor layer and directly measuring the dielectric constant of the porous layer. An important feature of the method is the use of a wide range of frequencies (10^2 - 10^6 Hz), at which the change in $C(\omega)$ is caused by the adsorption of gases, and takes into account only the slow processes of current transfer in the gas-sensitive semiconductor material, which determines the corresponding change in the elements of the equivalent electric circuit, including C_{PE} .

Key words: matrix, sensor; gas, polyharmonic signal, volt-farad characteristic.

Світловський Є.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Трапезон К.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

АНАЛІЗ МОВНИХ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ З ЧАСТКОВИМ ЗАШУМЛЕННЯМ

Метод лінійного кодування з прогнозуванням при практичному застосуванні в системах зв'язку є складовою частиною при створенні алгоритмів розпізнавання зашумленого мовного сигналу. На основі аналізу літературних джерел отримані підтвердження того, що метод лінійного кодування з прогнозуванням є зручним при створенні узагальненої дискретної моделі мовного сигналу в умовах зашумленого середовища. Розглянуто випадок, коли частина мовного сигналу знаходиться під окремою дією трьох різних видів шуму з однаковою амплітудою. Отримано, за допомогою інструментів програмного забезпечення PRAAT, енергетичні характеристики сигналу без шуму та з шумом, і на основі методу лінійного кодування з прогнозуванням знайдено коефіцієнти формантного фільтру на основі використання автокореляційної функції. За отриманими результатами виявлено, що присутність шуму призводить до зменшення усереднених значень енергетичних параметрів мовного сигналу. Причому, більше це помітно для рожевого шуму і менше для білого шуму. Крім цього виявлено, що при додаванні шуму до сигналу зменшується і середня інтенсивність сигналу (в середньому на 2-3 дБ), що може бути перешкодою при отриманні необхідної якості за розбірливістю мовного сигналу на приймальному кінці лінії зв'язку.

Додатково отримано підтвердження того, що присутність шумових компонент у мовному сигналі є напевно причиною зміни значень формантних частот моделі мовного сигналу. І ця перебудова не залежить від природи шуму, і його окремих характеристик. Тобто, можна зробити припущення, що на основі отриманих результатів, для обраного тестового мовного сигналу тривалістю близько 1 сек. метод лінійного кодування з прогнозуванням є цілком адаптивним до появи шумових складових.

Ключові слова: вокодер, акустика, сигнал, оброблення, метод, шум, прогнозування, відновлення.

Постановка проблеми. Технології з використанням мовної інформації стають все більш популярними у різних сферах життєдіяльності людини: охоронні системи, роботизовані комплекси, системи управління обладнанням та системи за типом “Розумний будинок”, засоби телекомунікацій та зв'язку, тощо. У всіх цих сферах можуть бути наявними технічні реалізації аутентифікації об'єктів за голосом. Крім цього, дуже часто в системах мобільного і стільникового зв'язку мовні сигнали проходять через процедуру кодування. Кодування мовної інформації дозволяє отримати ущільнення каналу зв'язку задля забезпечення більшої пропускної здатності. Тобто, з'являється можливість збільшити об'єм мовної інформації, яка передається через канал зв'язку. Додатково, кодування мовних сигналів може бути використано і як засіб захисту інформації. Причому при організації радіо-ліній систем зв'язку, особливо коли йдеться про передавання та приймання акустичних мовних сигналів, дуже часто використовується саме низь-

кокошвидкісне кодування сигналів. Разом з тим, через помилки передавання і шуми, такий підхід може призвести водночас і до зменшення якості мовних сигналів при відтворенні на приймальному кінці лінії зв'язку. Тобто, вказані чинники можуть бути визначальними при досягненні потрібної якості мовних сигналів. Їх врахування особливо є важливим для систем зв'язку з використанням ідентифікації абонента за голосом, адже від цього залежить точність розпізнавання.

При створенні систем передавання мовних сигналів, особливо коли розглядаються технології передавання мови на основі Інтернет протоколу, використовуються різні пристрої синтезу мови, серед яких можна виділити вокодери. Реалізація таких пристроїв передбачає, що в якості однієї з ланок в схемі присутні кодери звукових та мовних сигналів, де при обробленні мовних сигналів дуже часто використовуються різні методи та алгоритми низькошвидкісного кодування. Розглядаючи ці методи необхідно враховувати, що при обробленні мовних

сигналів слід зберігати їх індивідуальні особливості. Насамперед це стосується таких параметрів, як частота основного тону, значення формантних частот, спектральний баланс, тощо. Іншими словами, необхідно передбачити точну ідентичність фонетичних особливостей мовного сигналу.

Одним з перспективних методів низькошвидкісного кодування можна вважати метод лінійного кодування з прогнозуванням (LPC, linear predictive coding). Метод LPC дуже просто адаптується до створення узагальненої дискретної моделі мовного сигналу. Реалізація цього методу передбачає використання в структурній схемі вокодера формантного фільтру. При цьому модель формантного фільтру має відповідати спрощеній моделі голосового тракту. Модель голосового тракту є інтерполяцією реальної акустичної системи. Саме такий підхід дозволяє врахувати індивідуальні особливості мовного акустичного сигналу при конструюванні вокодерів.

Метод лінійного кодування з прогнозуванням при практичному застосуванні використовується і в алгоритмах розпізнавання зашумленого мовного сигналу [1, с. 165]. На рисунку 1 наведена структурна схема, яка пояснює реалізацію методу. Сигнал з шумом надходить на кодер, де відбувається дискретизація сигналу та розбиття його на часові інтервали (сегменти або кадри) тривалістю до 20 мс з 50% запасом за перекриттям. І вказане розбиття є обмеженням методу, оскільки більш

короткі сегменти, тривалістю, наприклад 10 мс, будуть взяті з сусідніх сегментів, що може бути причиною помилок.

Додатково проводиться оброблення сигналу шляхом підвищення амплітуд окремих складових сигналів. Ця процедура покликана підвищити загальне відношення сигнал-шум. Далі, на основі відповідного аналізу, за схемою визначаються кепстральні коефіцієнти та автокореляційна функція. Ці коефіцієнти ще називаються лінійними коефіцієнтами прогнозування і якщо їх позначити як k_l , а сам сигнал на виході системи кодування визначити як $s(n)$, де n - номер відліку, то можна записати

$$s(n) = \sum_{l=1}^p k_l s(n-l).$$

Ідея розрахунків полягає у тому, щоб отримати в результаті мінімальну похибку прогнозування. Похибку прогнозування $e(n)$ можна визначити як

$$e(n) = s(n) - \sum_{l=1}^p k_l s(n-l).$$

Найбільш поширеними є три базових алгоритмів розрахунку коефіцієнтів лінійного прогнозування: коваріаційний, автокореляційний і сходовий [2, с. 426]. В даному дослідженні обрано алгоритм на основі розрахунку функції автокореляції. Ці дані необхідні щоб сконструювати модель формантного фільтру. При цьому автокореляційна функція дозволяє отримати дані про висоту тону мовного сигналу (рис. 1).

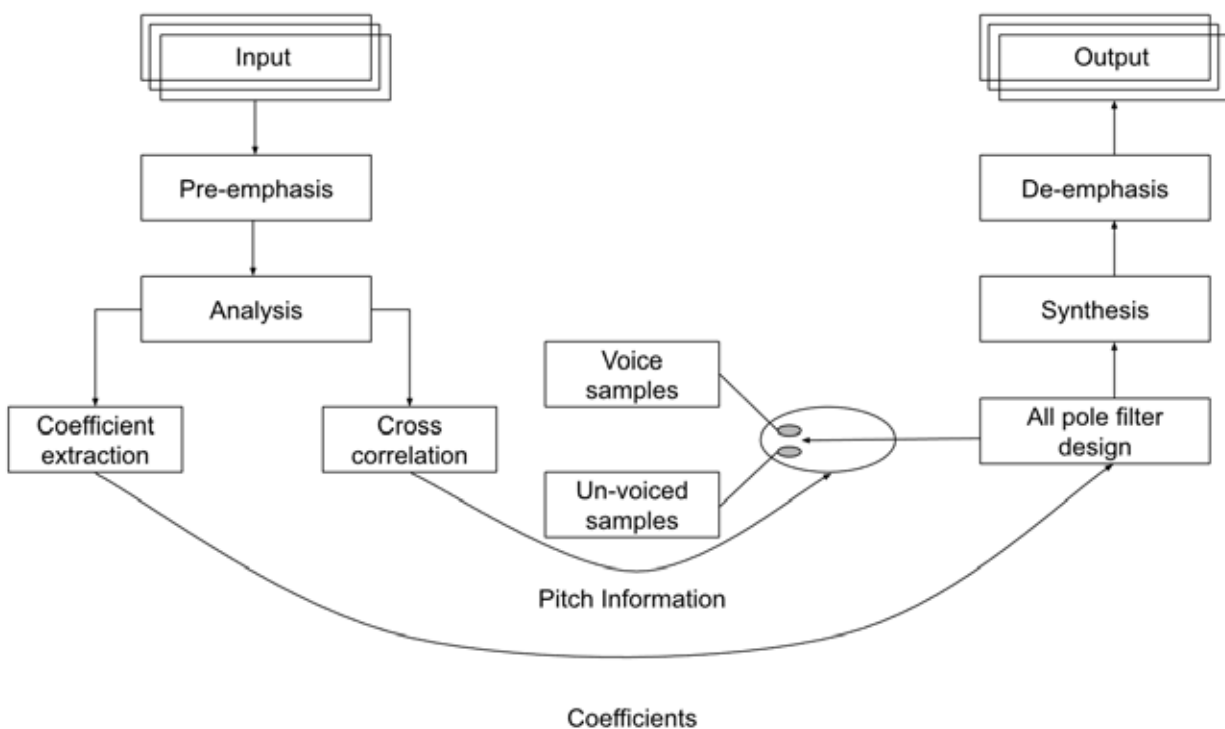


Рис. 1. Спрощена модель [1, с. 168]

Тобто сигнал розбивається на часові вікна фіксованого розміру, де як передбачається, параметри сигналу не змінюються. Далі до кожного вікна застосовується алгоритм вилучення ознак у формі коефіцієнтів кепстру, тобто коефіцієнтів лінійного прогнозування. На основі значень цих коефіцієнтів можна оцінити форманти мовного сигналу і до того ж коефіцієнти можуть бути використані при розрахунку параметрів мовного тракту. Тобто вони описують параметри мовного тракту [3, с. 151].

Відповідно до положень методу лінійного кодування з прогнозуванням, аналіз мовних сигналів проводиться за умови розгляду та прорахунку значень функції формантного фільтру, яка складається з відповідних коефіцієнтів, за умови що сигнал джерела звучання проходить крізь процедуру фільтрації за аналогією передавання сигналу через одиночну акустичну трубку зі змінним перерізом. Така реалізація дозволяє адекватно змодельовувати мовний тракт. Тобто, тракт являє собою резонатор з певними піками в амплітудно-частотній характеристиці. Ці резонанси призводять до виникнення формант (розширених смуг частот). Модель мовного тракту, як приклад лінійної стаціонарної системи, включає в себе з'єднання N секцій акустичних трубок, в яких A_i – площі поперечного перерізу у напрямку, перпендикулярному поздовжній осі трубки (рис. 2).

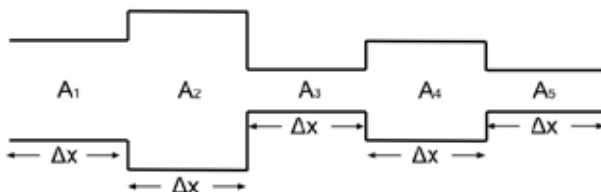


Рис. 2. Спрощена модель мовного тракту

Передаточна функція моделі має лише полюса і не має нулів. Ці полюса визначають формантні частоти F_i і утворюють F -картину сигналу. Тобто, модель є формантним смуговим фільтром. Кількість ланок моделі визначає порядок фільтру, а центральна частота контуру фільтру є частотою відповідної форманти. Тобто, підсумовуючи сказане, метод LPC означає, що даний відлік мовного сигналу апроксимується лінійною комбінацією попередніх відкликів. Коефіцієнти лінійного прогнозування є параметрами формантного фільтру моделі мовного тракту і саме вони містять інформацію про характерні властивості мовного сигналу. Набір числових характеристик дозволяє отримати вираз для виходу фільтру у часовій області.

Метою статті є аналіз розподілу формант записаного сигналу з частковим зашумленням, і подальше виділення його характерних особливостей на основі методу лінійного кодування з прогнозуванням. При цьому, в рамках дослідження передбачається, що сам сигнал у виділеному часовому діапазоні перебуває під дією різних видів шуму з однаковою амплітудою. Тобто, необхідно перевірити ефективність методу за умови, що частина мовного сигналу з шумом.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

- в спеціалізованому програмному пакеті для аналізу даних завантажити мовний сигнал без шуму і проаналізувати його основні параметри;
- використовуючи модель лінійного прогнозування знайти кепстральні коефіцієнти сигналу та трьох його копій з шумом;
- визначити вплив шумів різної природи на сонограму та енергетичні параметри мовного сигналу;
- розробити рекомендації щодо оцінки впливу шумів на критерії відновлення мовних сигналів з точки зору розбірливості при конструюванні системи ідентифікації за голосом.

Виклад основного матеріалу дослідження. З інженерної точки зору, шум – це спонтанний або псевдовипадковий сигнал, який можна визначити в діапазоні сигналу розподілом енергії. «Білий» шум має рівномірний розподіл енергії. Кольорові шуми передбачають нерівномірний розподіл енергії [4, с. 742]. Рожевий шум має величину незмінної потужності на октаву, а не постійну потужність на Герц, що робить його більш придатним для слухових досліджень. У той час, білий шум є фізично ідентичним розподілом енергії, а рожевий шум звучить так, ніби має еквівалентний розподіл енергії, і це пов'язано зі структурою внутрішнього вуха. З метою зменшення шуму зазвичай використовують спектр стиснення голосу за допомогою обчислювальних процедур методу лінійного кодування з прогнозуванням. Згідно з експериментальними даними, голосовий сигнал зазнає значного стиснення після використання цього методу [5, с. 4].

На основі інструментів програмного забезпечення PRAAT визначимо характеристики сигналу без шуму та з шумом, а потім на основі методу лінійного кодування з прогнозуванням знайдемо коефіцієнти та проведемо оцінку можливості очищення сигналу від шумового забруднення [6, с. 4].

В якості вихідних даних для проведення експерименту виберемо акустичний мовний сигнал відомої фрази "I'll be back" тривалістю 0,988 сек

(рис.2). Параметри сигналу наступні: верхня частота сигналу 11,025 кГц, частота дискретизації 16 кбіт/сек, рівень квантування 32 біт, формат сигналу – моно. За умовами експерименту частина оригінального мовного сигналу в діапазоні від 0 сек до 0,3 сек (рис. 3) знаходиться під впливом послідовно трьох видів шуму: білий (шум № 1), рожевий (шум №2) та броунівський (шум № 3) (рис.4-6). Рівень амплітуди шуму для трьох видів однаковий і дорівнює у нормованій формі 0,2. На рисунках 4-6 червоним штрихом показані уздовж горизонтальних осей форманти сигналу з шумом. Визначимо, як шум впливає на якість мовного сигналу і чи змінюються при цьому енергетичні характеристики сигналу та відповідні коефіцієнти за методом LPC.

В таблиці 1 наведено енергетичні параметри сигналу без шуму, та за умови присутності на фрагменті сигналу трьох різних видів шуму.



Рис. 3. Сонограма оригінального сигналу

З аналізу даних таблиці 1 можна відмітити наступні особливості. Додавання шуму до сигналу навіть на відокремленому фрагменті оригінального сигналу призводить до зменшення

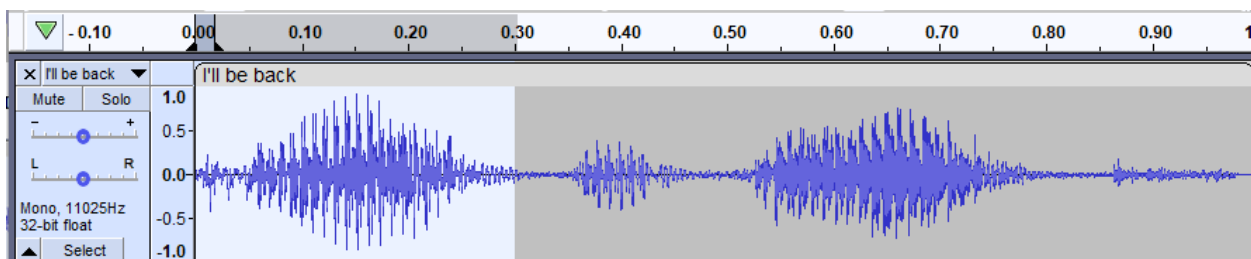


Рис. 4. Фрагмент сигналу, на який будуть впливати шуми

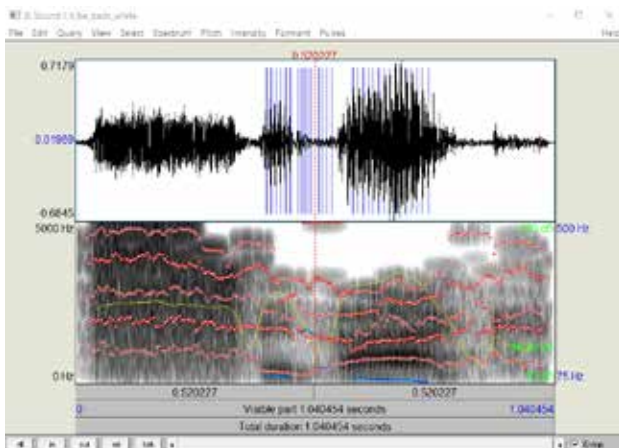


Рис. 5. Результат впливу білого шуму

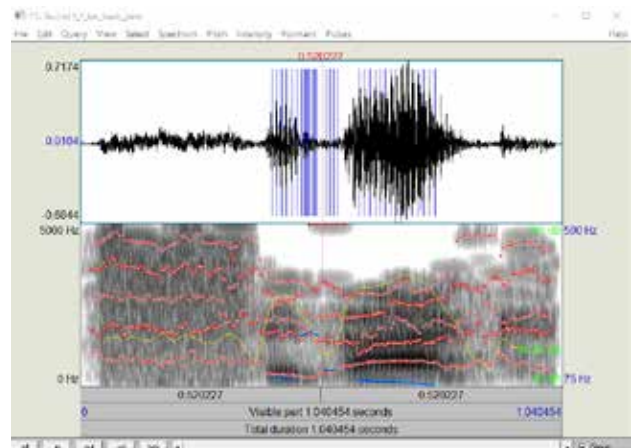


Рис. 6. Результат впливу рожевого шуму

Таблиця 1

Енергетичні параметри сигналу

Тип	Енергія, Па ² ×сек	Потужність, Па ²	Середня інтенсивність, дБ
Сигнал без шуму	0.029155827141758725	0.0295037167726379	78.67816738961012
Шум № 1	0.016964538640653327	0.016304946256926415	76.10259380329269
Шум № 2	0.013904316909971848	0.013363707953311797	75.23866984793247
Шум № 3	0.014149027497899638	0.013598904033156962	75.3144391766493

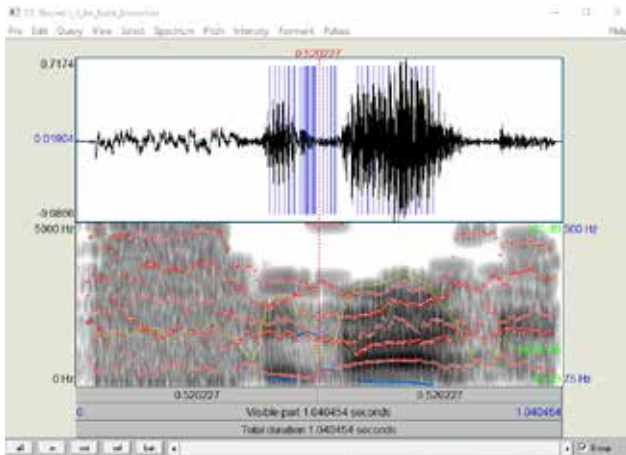


Рис. 7. Результат впливу брунівського шуму

енергетичних параметрів цього сигналу. Причому така тенденція спостерігається більше для шуму №2 і менше для шуму під номером №1. Зазначимо, що при додаванні шуму зменшується і середня інтенсивність мовного сигналу (в середньому на 2-3 дБ), що може бути перепоною при проведенні розбірливості мовного сигналу на приймальному кінці лінії зв'язку. Крім цього, при додаванні шуму на інтервалі від 0 до 0,3 с при загальній тривалості сигналу 0,98 с (величина 1,040454 с обрана програмою з певним запасом відповідно до алгоритмів оброблення) середня енергія зменшується майже у 2 рази, що також впливає на розбірливість окремих букв при відтворенні, особливо це стосується шиплячих звуків.

Далі в рамках дослідження, отримуємо коефіцієнти LPC для сигналу та трьох його копій з шумами. Оскільки ці коефіцієнти визначають

форманти сигналу і відповідні полюса формантного фільтру, то необхідно визначити, як модель голосового тракту трансформується у випадку впливу шумової складової. Вважається, що порядок формантного фільтру дорівнює 16, вікно аналізу 0,025 сек, крок зсуву 0,005 сек, частота передспотворень 50 Гц. В таблиці 2 наведено розраховані коефіцієнти за методом LPC на основі автокореляційного алгоритму розрахунку.

Аналізуючи отримані коефіцієнти з таблиці 2 приходимо до висновку, що наявність шуму призводить до того, що полюса передаточної функції формантного фільтру повністю змінюються, а отже змінюються і формантні частоти моделі мовного тракту. При цьому така закономірність спостерігається для усіх отриманих коефіцієнтів за номерами. Це може свідчити про те, що метод LPC є адаптивним до появи шумових складових і при наявності шуму модель мовного тракту повністю перебудовується. Можна припустити, що в даному випадку така поведінка розрахункового алгоритму спрямована на те, щоб забезпечити певний рівень розбірливості сигналу за умови стиснення сигналу з шумом за правилами методу і враховуючи прийоми кодування.

Висновки. Визначено передумови, які підкреслюють необхідність використання методу лінійного кодування з прогнозуванням в системах передавання мовної інформації. Зроблено припущення, що даний метод є зручним при створенні узагальненої дискретної моделі мовного сигналу в умовах зашумленого середовища. Розглянуто випадок, коли частина мовного сигналу знаходиться під окремою дією трьох різних видів шуму

Таблиця 2

Коефіцієнти LPC (полюса фільтру)

Номер	Сигнал без шуму	Шум № 1	Шум № 2	Шум № 3
1	-7.679748873591303	-5.64749051665389	-5.983858524269302	-6.392913346365203
2	30.45567564142604	18.232707055378953	19.81434940565449	22.088542875918197
3	-82.67230389773415	-42.531088888574025	-47.08348260255059	-53.8229150831381
4	171.4476791728815	78.86521331519664	88.71160707018083	102.53383575538665
5	-287.3776602224649	-121.64742887370451	-139.16914522737875	-160.84680741658207
6	-287.3776602224649	160.25472320558333	186.7542866158488	213.92686635145185
7	-478.909995620459	-182.90329827672934	-217.6246538568542	-245.31991623962784
8	489.8867749950707	182.21701228359981	221.94506686612988	244.68422750210738
9	-431.41704135119164	-158.71599635094026	-198.4901747008896	-212.78825237887776
10	325.5643211444223	120.48386792552004	155.17880980186817	160.78082566262037
11	-208.0404077359442	-78.98014815745658	-105.10255317263896	-104.47903961697219
12	110.24592013620382	43.98247347378441	60.66818165190962	57.28231684879698
13	-46.81505474354785	-20.21952318358637	-29.01206031814341	-25.65194953076383
14	15.028931809498154	7.309955075031905	10.936795669634435	8.876171547695526
15	-3.2650429521771023	-1.887717308060039	-2.9432311670509637	-2.133674563627802
16	0.36334390868451527	0.27396634715036117	0.43729864561822496	0.2746517922324624

з однаковою амплітудою. Отримано за допомогою інструментів програмного забезпечення PRAAT, характеристики мовного сигналу без шуму та з шумом, і на основі методу лінійного кодування з прогнозуванням знайдено коефіцієнти формантного фільтру. На основі отриманих результатів виявлено, що присутність шуму призводить до зменшення усереднених значень енергетичних параметрів мовного сигналу. Причому, більше це помітно для рожевого шуму і менше для білого шуму. Крім цього знайдено, що при додаванні шуму зменшується і середня інтенсивність мов-

ного сигналу (в середньому на 2-3 дБ), що може бути причиною зниження розбірливості мовного сигналу на приймальному кінці лінії зв'язку.

Додатково отримано підтвердження того, що присутність шумових компонент у мовному сигналі є причиною зміни значень формантних частот моделі мовного сигналу. І ця перебудова не залежить від природи шуму. Тобто, можна зробити припущення, що на основі отриманих результатів для обраного тестового мовного сигналу метод лінійного кодування з прогнозуванням є адаптивним до появи шумових складових.

Список літератури:

1. Thimmaraja Y.G., Nagaraja B.G., Jayanna H.S. Speech enhancement and encoding by combining SS-VAD and LPC. *International Journal of Speech Technology*. 2021. No 24. P. 165–172.
2. Rabiner L. R., Schafer R.W. Digital processing of speech signal. New Jersey : Prentice-Hall, 1978. 496 p.
3. Singh P., Mukul M. K., Prasad R. Bone Conducted Speech Signal Enhancement Using LPC and MFCC. *IHCI. 2018. Lecture Notes in Computer Science*. 2018. Vol. 11278. P. 148–158.
4. Sadeghi M., Marvi H., Ali M. The effect of different acoustic noise on speech signal formant frequency location. *International Journal of Speech Technology*. 2018. Vol. 21. P. 741–752.
5. Moriya T., Sugiura R. Progress in LPC-based frequency-domain audio coding. *SIP*. 2016. Vol. 5, No 11. P. 1–10
6. Tagomori T., Tsuruda R., Matsuo K. Speaker verification from mixture of speech and non-speech audio signals via using pole distribution of piecewise linear predictive coding coefficients. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2020. 1–11

Svitlovskiy Ye.V., Trapezon K.O. ANALYSIS OF SPEECH ACOUSTIC SIGNALS IN COMMUNICATION SYSTEMS WITH PARTIAL NOISE

The method of linear coding with prediction in practical application in communication systems is an integral part in the creation of algorithms for recognizing a noisy speech signal. Based on the analysis of literary sources, it was confirmed that the method of linear coding with prediction is convenient for creating a generalized discrete model of the speech signal in noisy environments. We consider the case when a part of the speech signal is under the separate action of three different types of noise with the same amplitude. Using the PRAAT software tools, the energy characteristics of the signal without noise and with noise were obtained, and based on the linear predictive coding method, the formant filter coefficients were found based on the use of the autocorrelation function. According to the obtained results, it was found that the presence of noise leads to a decrease in the averaged values of the energy parameters of the speech signal. Moreover, it is more noticeable for pink noise and less for white noise. In addition, it was found that when noise is added to the signal, the average intensity of the signal decreases (on average by 2-3 dB), which can be an obstacle in obtaining the necessary quality in terms of intelligibility of the speech signal at the receiving end of the communication line.

In addition, it was confirmed that the presence of noise components in the speech signal is probably the reason for the change in the values of the formant frequencies of the speech signal model. And this reconstruction does not depend on the nature of the noise and its individual characteristics. That is, it can be assumed that based on the obtained results, for the selected test speech signal with a duration of about 1 sec. the method of linear coding with prediction is fully adaptive to the appearance of noise components.

Key words: vocoder, acoustics, signal, processing, method, noise, prediction, restoration.

Відомості про авторів

Абдулін М.З. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри теплової та альтернативної енергетики Навчально-наукового інституту атомної і теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Антоненко Н.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії

Антонюк Д.С. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»

Артеменко В.О. – студент другого курсу, ЕЛ-21-1 кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Артюхов А.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету

Баранюк О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри атомної енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; старший науковий співробітник Інституту теплоенергетичних технологій Національної академії наук України

Батіг Л.О. – магістр, аспірант Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Батюк Л.В. – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри медичної і біологічної фізики і медичної інформатики Харківського національного медичного університету

Беднарська І.С. – аспірант, асистент кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бетін Ю.О. – студент 4 курсу кафедри теплової та альтернативної енергетики Навчально-наукового інституту атомної і теплової енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Биковець Н.П. – кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри загальнонаукових дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Білаш Б.О. – аспірант кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Близнюк О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології пластичних мас і біологічно активних полімерів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Болвановська Т.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних вузлів Українського державного університету науки і технологій

Болотін О.А. – студент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету

Борисов Г.О. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Босий М.В. – викладач кафедри матеріалознавства таливарного виробництва Центральноукраїнського національного технічного університету

Буряк М.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики Західноукраїнського національного університету

Верес М.В. – слухач магістерської програми Західноукраїнського національного університету

Віннікова Є.О. – магістр спеціальності «Видавництво та поліграфія» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

Волошин А.О. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету

Волощук В.В. – аспірант кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Воробйов М.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри атомної енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; старший науковий співробітник Інституту теплоенергетичних технологій Національної академії наук України

Гладка О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Національного університету водного господарства та природокористування

Глухова Н.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Голуб Л.С. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Горбачук В.М. – доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Гришук О.К. – кандидат технічних наук, професор кафедри туризму Національного транспортного університету

Грушевська Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління комерційною діяльністю залізниць Державного університету інфраструктури та технологій

Гуйда О.Г. – кандидат наук з державного управління, завідувач кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Гулей О.Б. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії

Гулько І.С. – асистент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Демішонкова С.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну

Донських О.В. – студент третього курсу кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Дорошенко М.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Дунаєвський М.С. – магістр, молодший науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Єманов В.В. – кандидат військових наук, старший науковий співробітник, перший заступник начальника Національної академії Національної гвардії України

Єфімова В.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Желєзна В.В. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри харчових технологій Уманського національного університету садівництва

Жученко Л.К. – аспірантка, асистент кафедри автоматизації енергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Жученко О.А. – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Злотенко Б.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну

Кірсанова В.В. – кандидат біологічних наук, доцент кафедри загальнонаукових дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Калашніков В.І. – студент спеціальності «Інформаційні системи та технології» Навчально-наукового інституту автоматики, кібернетики та обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування

Карпенко В.П. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри біології Уманського національного університету садівництва

Карпович І.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Національного університету водного господарства та природокористування

Киричук Д.Л. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету

Кізілова Н.М. – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної математики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

Кішянус І.В. – старший викладач кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса)

Коваленко Л.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Когдась М.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Кондратець В.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

Коротинський А.П. – PhD, асистент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Костюк О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства і природокористування

Кочмарський В.З. – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства і природокористування

Кривобок Р.В. – кандидат технічних наук, доцент, заступник завідувача науково-дослідної частини Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Куба В.В. – старший викладач кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства і природокористування

Куц Г.О. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу ефективності енерговикористання та оптимізації енергоспоживання Інституту загальної енергетики Національної академії наук України

Лабенський В.А. – магістрант 1 року навчання Державного університету «Житомирська політехніка»

Лазурчак Л.В. – старший викладач кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Лебедєв Д.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лебедєв В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології пластичних мас і біологічно активних полімерів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Лисенко О.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лисенко О.І. – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лихошерстов Д.О. – аспірант кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Лісачук Г.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач науково-дослідної частини Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Лісовець С.М. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Літус Т.М. – студентка 4 курсу факультету транспортних та інформаційних технологій Національного транспортного університету

Логінов О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету

Лупей М.І. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Любич В.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри харчових технологій Уманського національного університету садівництва

Ляшенко О.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету

Маслак А.В. – здобувач другого ступеня спеціальності «Комп'ютерна інженерія» кафедри електронних обчислювальних машин Українського державного університету науки і технологій

Мацуй А.М. – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

Медведєв М.Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Мельник О.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння і морська безпека Одеського національного морського університету, капітан далекого плавання

Медведєв В.В. – магістрант 1 року навчання Державного університету «Житомирська політехніка»

Мовчанюк О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мошенський А.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій

Нікітенко Є.В. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного університету біоресурсів та природокористування України

Ніколенко Д.І. – магістр, науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Новак Д.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон Київського національного університету технологій та дизайну

Новачук Р.О. – аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»

Новіков В.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій Уманського національного університету садівництва

Оксанич А.П. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Олещенко Л.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Онищенко О.А. – доктор технічних наук, професор кафедри технічної експлуатації флоту Національного університету «Одеська морська академія»

Онопрієнко О.С. – ад'юнкт ад'юнктури та докторантури Національної академії Національної гвардії України

Осадчук М.В. – науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Павлова Н.Л. – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

Палагін В.А. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Пахомова В.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Українського державного університету науки і технологій

Пенкіна Н.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Петрик А.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Петрик Ю.М. – старший викладач кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса)

Петров Л.М. – кандидат технічних наук, доцент, викладач кафедри автомобільної техніки Військової академії (м. Одеса)

Пилипенко Т.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Погорськова Н.Є. – студентка 1 курсу факультету управління, адміністрування та інформаційної діяльності Ізмаїльського державного гуманітарного університету; фахівець адміністративно-господарського відділу Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Присяжнюк В.В. – начальник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Прогній П.Б. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри транспорту і логістики Західноукраїнського національного університету

Прокопенко О.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії

Решетков Д.М. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

Риндюк Д.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Розум Р.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики Західноукраїнського національного університету

Рябцун Р.С. – аспірант кафедри атомної енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Світловський Є.В. – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Семичаєвський С.В. – старший науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Ситник В.Ю. – студент другого курсу кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Сікора О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Скирда О.Є. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Соколова Є.Б. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Споришев К.О. – кандидат технічних наук, доцент, докторант ад'юнктури та докторантури Національної академії Національної гвардії України

Стаценко В.В. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну

Стаценко Д.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну

Стрелко О.Г. – доктор історичних наук, професор, декан факультету управління залізничним транспортом Державного університету інфраструктури та технологій

Сулєйманов С.-Б. – магістр, молодший науковий співробітник відділу інтелектуальних інформаційних технологій Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

Сухий К.М. – доктор технічних наук, професор, ректор ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Сушин І.О. – аспірант кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Татар Л.В. – кандидат технічних наук, кафедра торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

Тачиніна О.М. – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри аерокосмічних систем керування факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій Національного авіаційного університету

Тесленко О.І. – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник відділу ефективності енерговикористання та оптимізації енергоспоживання Інституту загальної енергетики Національної академії наук України

Тимейчук О.Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри гідроенергетики, теплоенергетики та гідравлічних машин Національного університету водного господарства і природокористування

Тірон-Воробйова Н.Б. – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальнонаукових дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Ткачук А.Г. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій імені професора Б.Б. Самотокіна Державного університету «Житомирська політехніка»

Торопов Б.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри управління комерційною діяльністю залізниць Державного університету інфраструктури та технологій

Трапезон К.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Уривський Л.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фалович Н.М. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики Західноукраїнського національного університету

Федотов В.В. – старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Фоменко Г.Р. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Фролова Л.А. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології неорганічних речовин та екології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Фуртат О.В. – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Фуртат С.О. – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Хапченко О.В. – аспірант кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Хлопенко М.Я. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри судового електрообладнання та засобів автоматики Херсонської державної морської академії

Хорошевська І.О. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

Цапар В.С. – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чередніков В.М. – кандидат технічних наук, доцент, ТОВ «КБ «Аерокopter»

Череднікова О.В. – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Черкашина Г.М. – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри технології пластичних мас і біологічно активних полімерів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Чиж С.Г. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри гуманітарних дисциплін Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Чичуліна К.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри економіки, підприємництва та маркетингу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Чуйко С.П. – доктор філософії з автомобільного транспорту, голова циклової комісії транспортних технологій (на автомобільному транспорті) Відокремленого структурного підрозділу «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

Шевчук О.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики Західноукраїнського національного університету

Шмігель Б.О. – аспірант 4 курсу кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Шумляківський В.П. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій Державного університету «Житомирська політехніка»

Шунькін І.С. – аспірант III курсу кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Щебрина О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

Якіменко М.Л. – науковий співробітник відділу пожежно-рятувальної техніки та обладнання науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

Ярошенко М.О. – аспірант кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Науковий журнал

**ВЧЕНІ ЗАПИСКИ
ТАВРІЙСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ІМЕНІ В.І. ВЕРНАДСЬКОГО**

Серія: Технічні науки

Том 33 (72) № 5 2022

Коректура • *Н. Славогородська*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 33

Електронна пошта: editor@tech.vernadskyjournals.in.ua

Сторінка журналу: www.tech.vernadskyjournals.in.ua

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 35,82. Ум. друк. арк. 46,73. Зам. № 1022/433

Підписано до друку 28.10.2022. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.