

**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 34 (73) № 4 2023



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

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 геоінженерії 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 загально-інженерних 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 № 1 від 29.08.2023 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, 2023

ЗМІСТ

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Корчинський В.М., Козарь І.О.

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПРЕСІЇ СИГНАЛІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛАХ З АДИТИВНИМ ШУМОМ.....1

Сайко В.Г., Наритник Т.М.

МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА БАЗІ ЛІТАЮЧОЇ МЕРЕЖІ БПЛА.....5

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Богдан Г.А., Глушенко М.О.

ЗАГАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....12

Василенко В.М., Карпенко М.І., Пуцик М.С., Гуйда О.Г.

РОЗРОБКА ДИЗАЙНУ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ.....18

Волошин В.С., Омелянюк А.А.

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ EVIDEWS ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СТРАХОВОГО РИНКУ УКРАЇНИ.....25

Гейко О.О.

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАВИЛЬНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ВЕРИФІКАЦІЮ ТА ВАЛІДАЦІЮ.....30

Derman V.A., Kruhliak H.V.

MATHEMATICAL MODEL FOR SELECTING PRIORITIES FOR INDICATORS OF THE MONITORING SYSTEM OF TECHNOGENIC, NATURAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS.....38

Жеребець О.М.

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ДАТЧИКІВ LORA, BLE I WIFI НА БАЗІ СИСТЕМИ РОЗУМНИХ РЕЧЕЙ.....45

Завгородній В.В., Завгородня Г.А., Марченко В.А., Бараненко Ю.В.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ВЕБ-САЙТІВ.....52

Кондратець В.О., Мацуї А.М., Федотова М.О., Хлебніков М.В.

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І КОМПОЗИЦІЇ В МЕТОДОЛОГІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПОДРІБНЕННЯМ-КЛАСИФІКАЦІЄЮ РУД.....58

Куликовська Н.А., Руденко В.В., Тіменко А.В., Шкарупило В.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ЗБИРАННЯ ДОДАТКІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ СТРАТЕГІЙ РОЗРОБЛЕННЯ.....65

Марчук Г.В., Левківський В.Л., Марчук Д.К., Муковоз В.С.

ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЧАТ-БОТУ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ CHATGPT...71

Мовчан К.О.

РИЗИКИ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ЕПОХУ РОБОТОТЕХНІКИ.....79

Oleshchenko L.M., Moshenskyi A.O.

HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING AND ANALYSIS BASED ON ESP8266 CONTROLLER.....84

Пахомова В.М., Квочка М.Ю.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ АТАК КАТЕГОРІЇ PROBE ЗАСОБАМИ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ.....93

Поліщук С.М.

ЛАНДШАФТ ЗАГРОЗ СПУФІНГУ: ТЕНДЕНЦІЇ, ВРАЗЛИВОСТІ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ....99

Сікора О.В.

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....104

Стаценко Д.В., Стаценко В.В., Злотенко Б.М., Романюк Є.О. ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ.....	111
Трофименко О.Г., Прокоп Ю.В., Чепурна О.Є., Баландіна Н.М. РОЛЬ МАТЕМАТИКИ У РІЗНИХ СФЕРАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	117
Яровий О.В., Завгородній В.В. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ.....	124

ЕНЕРГЕТИКА

Пантєлєєва І.В., Шматько Н.М., Глушко А.В. ВИДИ ІННОВАЦІЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ.....	129
Сірик А.О., Євтушенко О.В. ВПЛИВ ВИКИДІВ КОТЛОАГРЕГАТИВ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ.....	135
Стринада П.С., Соломаха А.С. ГІДРОДИНАМІКА ЗА ПРОТИТЕЧІЇ ПЛІВКИ РІДИНИ ТА ГАЗУ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ТРУБІ.....	144
Ярошевич М.В., Соломаха А.С. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДО-ПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ ДЛЯ ПЕРЕВЕДЕННЯ ПОБУТОВИХ КОТЛІВ НА АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА.....	151

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Андріянова М.В., Головенко В.О., Лінькова О.В. РОЗРОБКА СКЛАДУ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СОЛЕЙ ПОЛІГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНІДИНУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ВІД ДІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ.....	157
Бондаренко С.Г., Василькевич О.І., Абрамова А.О. ВДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛІЙ.....	163
Денисенко А.М., Черьопкіна Р.І. ВИКОРИСТАННЯ ЛУЖНО-СУЛЬФІТОГО СПОСОБУ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ.....	169
Дрозд О.В. ЕКСПЕРТИЗА ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ НА ОСНОВІ ОЗНАК СТРУКТУРНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РЕЦИКЛІНГУ.....	176
Yeremeyev I.S., Dychko A.O., Remez N.S., Kyselov V.B., Minaieva Yu. Yu., Ometsynska N.V. MEASURING, FORECASTING AND MONITORING SUSTAINABILITY OF BIOCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT IN WAR PERIOD.....	183
Кравченко С.О., Мірошніченко Д.В., Чеботарьов А.М., Туркіна О.В., Чаплянко С.В., Приплюцький С.І., Лебедєв В.В., Грушецький В.О. ВИЗНАЧЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ НА РЕКОНСТРУКЦІЮ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА З ПОРІВНЯННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ГАСІННЯ КОКСУ.....	191
Мовчанюк О.М. ТЕХНОЛОГІЯ БАШМАЧНОГО ПРЕСУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ.....	197
Пилипенко Т.М. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНІКА КОСМЕТИЧНОГО ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ.....	203
Спасьонова Л.М., Бондарчук О.Ю., Мокієнко А.В. РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНОВАНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ ТА ГІПОХЛОРИТОМ НАТРІЮ	207
Толстопалова Н.М. МОДЕЛЮВАННЯ ФЛОТАЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ХРОМУ (III).....	213
Трус І.М., Твердохліб М.М., Гомеля М.Д., Макаренко І.М. ВИКОРИСТАННЯ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ НИЗЬКОГО ТИСКУ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ХЛОРИДІВ З ВОДИ.....	219

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Ромашук О.М.

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ
ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ..... 225

ТРАНСПОРТ

Василенко І.В., Яременко В.Ю.

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ АЕРОПОРТІВ
ЗА РІЗНИМИ МОДЕЛЯМИ.....231

Кірсанова В.В.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ...236

Кунда Н.Т., Огійчук О.В.

АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ЕКСПРЕС-ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ. 243

Кучма О.С.

ПЕРЕДУМОВИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ
В УМОВАХ МІЖНАРОДНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ..... 251

Маляренко Д.Л.

ВРАХУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ ВАНТАЖОПОТОКІВ
НА АВІАЦІЙНОМУ ТРАНСПОРТІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ256

Ромах В.Л.

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ МОРСЬКИМИ ПОРТАМИ.....261

Чуйко С.П., Кравченко О.П., Прохорчук М.В.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕВІЗНИХ ПОСЛУГ
АВТОБУСАМИ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ266

ЕЛЕКТРОНІКА

Осадчук Я.О., Осадчук О.В., Осадчук В.С.

ВОЛОГОЧУТЛИВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НА ОСНОВІ МДН-СТРУКТУР З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ... 272

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....282

CONTENTS

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Korchynskyj V.M., Kozar I.O.

APPLICATION OF SIGNAL COMPRESSION TO CONTROL DATA RATES
IN ADDITIVE NOISE TELECOMMUNICATION CHANNELS.....1

Saiko V.G., Narytnyk T.M.

MODEL FOR ENSURING THE FUNCTIONING OF INTEGRATED
INFRASTRUCTURE BASED ON A DRONE NETWORK.....5

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Bohdan H.A., Hlushchenko M.O.

GENERAL TENDENCIES IN CONSTRUCTING AUTOMATED AIR QUALITY MONITORING
SYSTEMS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES.....12

Vasylenko V.M., Karpenko M.I., Putsyk M.S., Guida O.G.

DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION DESIGN TO IMPROVE THE QUALITY
OF THE EDUCATIONAL PROCESS.....18

Voloshyn V.S., Omelianiuk A.A.

APPLICATION OF EIEWS SOFTWARE TECHNOLOGIES
TO IMPROVE INFORMATIZATION OF THE INSURANCE MARKET OF UKRAINE..... 25

Heiko O.O.

ENSURING CORRECTNESS OF COMPUTER MODELS THROUGH VERIFICATION
AND VALIDATION.....30

Derman V.A., Kruhliak H.V.

MATHEMATICAL MODEL FOR SELECTING PRIORITIES FOR INDICATORS
OF THE MONITORING SYSTEM OF TECHNOGENIC, NATURAL
AND ENVIRONMENTAL FACTORS.....38

Zherebets O.M.

PERFORMANCE ANALYSIS OF LORA, BLE AND WIFI SENSORS
BASED ON THE SYSTEM OF SMART THINGS..... 45

Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Marchenko V.A., Baranenko Yu.V.

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE RELIABILITY
OF WEBSITES.....52

Kondratets V.O., Matsui A.M., Fedotova M.O., Khlebnikov M.V.

MATHEMATICAL MODELLING AND COMPOSITION METHODS IN ENERGY-EFFICIENT
ORE MILLING AND CLASSIFICATION MANAGEMENT METHODOLOGY58

Kulykovska N.A., Rudenko V.V., Timenko A.V., Shkarupylo V.V.

INVESTIGATING BUILD TIMES FOR APPLICATIONS BUILT ON MODERN
DEVELOPMENT STRATEGIES.....65

Marchuk G.V., Levkivskiy V.L., Marchuk D.K., Mukovoz V.S.

RESEARCH AND ANALYSIS OF CHATBOT CAPABILITIES WITH ARTIFICIAL
INTELLIGENCE CHATGPT..... 71

Movchan K.O.

CYBERSECURITY RISKS IN THE AGE OF ROBOTICS.....79

Oleshchenko L.M., Moshenskiy A.O.

HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING
AND ANALYSIS BASED ON ESP8266 CONTROLLER.....84

Pakhomova V.M., Kvochka M.Yu.

DEFINITION OF NETWORK ATTACKS OF PROBE CATEGORY BY MEANS
OF MULTILAYER NEURAL NETWORK.....93

Polischuk S.M.

THE SPOOFING THREAT LANDSCAPE: TRENDS, VULNERABILITIES
AND FUTURE RESEARCH DIRECTION.....99

Sikora O.V.	
INFORMATION TECHNOLOGY SUPPORT DECISION-MAKING.....	104
Statsenko D.V., Statsenko V.V., Zlotenko B.M., Romaniuk I.O.	
USING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR INFORMATION PROTECTION.....	111
Trofymenko O.H., Prokop Yu.V., Chepurna O.Ye., Balandina N.M.	
THE ROLE OF MATHEMATICS IN DIFFERENT AREAS OF SOFTWARE DEVELOPMENT.....	117
Yaroyvi O.V., Zavgorodnii V.V.	
DEVELOPMENT OF THE STRUCTURAL DIAGRAM OF THE MOBILE AGENTS MANAGEMENT SYSTEM.....	124
 POWER ENGINEERING	
Pantielieieva I.V., Shmatko N.M., Glushko A.V.	
TYPES OF ENERGY INNOVATIONS THAT ARE DEVELOPING.....	129
Siryk A.O., Yevtushenko O.V.	
THE INFLUENCE OF EMISSIONS FROM BOILER UNITS OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES ON ATMOSPHERIC AIR QUALITY.....	135
Solomakha A.S., Strynada P.S.	
HYDRODYNAMICS FOR ANTI-FLOW FILMS OF LIQUID AND GAS IN A VERTICAL PIPE.....	144
Yaroshevych M.V., Solomakha A.S.	
PECULIARITIES OF USING WATER-FUEL EMULSION FOR CONVERTING HOUSEHOLD BOILERS TO ALTERNATIVE TYPES OF FUEL.....	151
 CHEMICAL TECHNOLOGY	
Andriianova M.V., Holovenko V.O., Lin'kova O.V.	
DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF PAINT MATERIALS USING POLYHEXAMETHYLENENEGUANIDINE SALTS FOR WOOD PROTECTION AGAINST THE ACTION OF MICROORGANISMS.....	157
Bondarenko S.G., Vasylkevych O.I., Abramova A.O.	
ADVANCED TECHNOLOGY FOR OBTAINING BIODIESEL FUEL FROM WASTE OILS.....	163
Denysenko A.M., Cheropkina R.I.	
USING THE ALKALINE-SULFITE METHOD FOR PROCESSING PAULOWNIA WOOD.....	169
Drozd O.V.	
EXAMINATION OF DESTRUCTION OF WASTE BY MEANS OF STRUCTURAL DEGRADATION SIGNS OF MATERIALS AND PROSPECTS FOR RECYCLING.....	176
Yeremeyev I.S., Dychko A.O., Remez N.S., Kyselov V.B., Minaieva Yu.Yu., Ometsynska N.V.	
MEASURING, FORECASTING AND MONITORING SUSTAINABILITY OF BIOCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT IN WAR PERIOD.....	183
Kravchenko S.O., Miroshnichenko D.V., Chebotaryov A.M., Turkina O.V., Chaplianko S.V., Priplotskiy S.I., Lebedev V.V., Hrushetsky V.O.	
DETERMINATION OF CAPITAL INVESTMENTS FOR RECONSTRUCTION OF COKE CHEMICAL PRODUCTION WITH COMPARISON OF COKE EXTINGUISHING TECHNOLOGIES.....	191
Movchaniuk O.M.	
SHOE PRESS TECHNOLOGY IN THE PAPER AND CARDBOARD MANUFACTURING.....	197
Pylypenko T.M.	
PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COSMETIC FACIAL TONIC.....	203
Spasonova L.M., Bondarchuk O.Yu., Mokienco A.V.	
RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF COMBINED DISINFECTION OF DRINKING WATER WITH CHLORINE DIOXIDE AND SODIUM HYPOCHLORITE.....	207
Tolstopalova N.M.	
SIMULATION OF WASTEWATER TREATMENT FROM CHROMIUM (III) IONS BY FLOTATION	213

Trus I.M., Tverdokhlib M.M., Gomelya M.D., Makarenko I.M. USE OF LOW PRESSURE REVERSE OSMOSIS MEMBRANE FOR REMOVAL OF CHLORIDES FROM WATER.....	219
--	-----

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Romaschuk O.M. MULTI-CRITERIA CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE SUGAR FACTORY.....	225
---	-----

TRANSPORT

Vasylenko I.V., Yaremenko V.Yu. COMPARATIVE ASSESSMENT OF INTERNATIONAL AIRPORTS' EFFECTIVENESS BY DIFFERENT MODELS.....	231
Kirsanova V.V. COMPARATIVE REVIEW OF ALTERNATIVE FUELS FOR MARINE TRANSPORT.....	236
Kunda N.T., Ohiichuk O.V. ANALYSIS OF WAREHOUSE EXPRESS DELIVERY OF CARGO IN THE INTERNATIONAL TRAFFIC	243
Kuchma O.S. PRECONDITIONS FOR RATIONAL ORGANISATION OF CARGO AIR TRANSPORT PROCESSES IN TERMS OF INTERNATIONAL INTEGRATION	251
Maliarenko D.L. CONSIDERING THE EMERGENCE OF RISKS RELATED TO CHANGES IN AIR CARGO FLOWS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY	256
Romakh V.L. FORMATION OF THE MODEL OF MANAGEMENT OF SEA PORTS.....	261
Chuiko S.P., Kravchenko O.P., Prokhorchuk M.V. ANALYSIS OF THE EFFICIENCY INDICATORS OF DETERMINING THE QUALITY OF TRANSPORTATION SERVICES BY BUSES ON URBAN ROUTES.....	266

ELECTRONICS

Osadchuk I.O., Osadchuk O.V., Osadchuk V.S. HUMIDITY SENSITIVE TRANSDUCERS BASED ON MOS STRUCTURES WITH FREQUENCY OUTPUT.....	272
--	-----

INFORMATION ABOUT AUTHORS	282
--	-----

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/01>**Корчинський В.М.**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Козарь І.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПРЕСІЇ СИГНАЛІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ШВИДКІСТЮ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ КАНАЛАХ З АДТИВНИМ ШУМОМ

У статті пропонується метод управління швидкістю передачі сигналів у каналах з адитивним шумом. Метод базується на компресії даних оптимізований за двома критеріями: 1) мінімізація інформаційної відстані Махаланобіса між скомпресованим та вихідним сигналами; 2) максимізація відношення сигнальної енергії інформативного сигналу, збереженої у скомпресованому зображенні, до сигнальної енергії залишкового шуму (відношення «сигнал/шум»).

Компресія сигналів реалізована на основі їх розкладів по одному з дискретних ортонормованих функціональних базисів або дискретних біортогональних вейвлет-базисів, обнуленні частини коефіцієнтів розкладу та наступній реконструкції сигналів.

Встановлено, що при збільшенні порогу обнулення за будь-якого варіанту розкладу відношення «сигнал/шум» зростає, а міра схожості між вихідним та скомпресованим інформаційними сигналами зменшується.

Визначення порогів обнулення, яке забезпечує компроміс між вимогами збільшення відношення «сигнал/шум» та мінімізації відстані Махаланобіса між вихідним та скомпресованим інформаційними сигналами, сформульовано у вигляді двокритеріальної оптимізаційної задачі мінімізації відхилень відстані Махаланобіса скомпресованого інформаційного сигналу стосовно вихідного сигналу та відношення «сигнал/шум» у скомпресованому сигналі від наперед заданих значень. Використано метод розв'язання оптимізаційної задачі, який забезпечує можливість задання коефіцієнтів значущості критеріїв оптимізації.

За результатами порівняльного аналізу різних функціональних базисів (Уолша, Хартлі, дискретного косинусного перетворення) та вейвлет-базису Хаара встановлено, що найбільш ефективним за зазначеними критеріями є базис Хартлі.

Показано, що за використання біортогональних вейвлет-базисів збільшення рівня вейвлет-декомпозиції веде до зростання як відношення «сигнал/шум» у реконструйованому сигналі, так й інформаційної відстані між ним та вихідним сигналом.

Встановлено, що при збільшенні порогу обнулення коефіцієнтів розкладів зростає сумісна інформаційна ентропія вихідного та відтвореного сигналів, внаслідок чого збільшується швидкість передачі по каналах з обмеженою частотною смугою.

Ключові слова: інформаційна відстань, відношення «сигнал/шум», дискретне ортогональне перетворення, дискретний біортогональний вейвлет-базис, інформаційна ентропія.

Постановка проблеми. Розглядаються процеси передавання даних по телекомунікаційних каналах з адитивним шумом та обмеженою частотною смугою пропускання каналу. Відомо, що основними шляхами підвищення швидкості передавання даних за гаусівської моделі шуму є збільшення потужності сигналу при фіксованій частот-

ній смузі пропускання каналу або її розширення при фіксованій потужності сигналу [1, с. 394]. Зазначимо, що питання, пов'язані із збереженням часової динаміки прийнятого інформаційного сигналу у порівнянні з переданим сигналом у відомих дослідженнях окремо не розглядалися. У зв'язку з цим постає проблема оптимізації

швидкості передавання для критеріями максимізації схожості вихідного та отриманого інформаційних сигналів та відношення «сигнал/шум» в отриманому сигналі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням пригнічення шумів інформаційних сигналів та компресії сигналів присвячена значна кількість досліджень, у яких ці питання розглядаються окремо – без їхнього зв'язку. Численні алгоритми фільтрації шумів базуються на різних варіантах лінійної та нелінійної обробки сигналів без зв'язку з їх компресією (див., наприклад монографію [2, с. 614–724]).

Більшість відомих методів компресії цифрових сигналів базуються на їх розкладі по одному з ортогональних дискретних функціональних базисів [3, с. 120–172] або біортогональних вейвлет-базисів [4, с. 183–187]. Питання, пов'язані з перетворенням рівня завад за такої компресії не розглядалися.

Метою статті є створення методу визначення швидкості передачі сигналів по каналах з адитивним шумом, оптимізованого за інформаційними та енергетичними критеріями.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основу пропонованого методу покладемо компресію інформаційного сигналу з адитивним шумом шляхом їхнього подання в ортонормованих функціональних базисах.

Маємо дискретизований інформаційний сигнал з відліками $x_n = \ln(I/a)$, $B = \frac{\ln(I/a)}{1 - I/a}$. Використаємо його подання у вигляді розкладу по одному з ортонормованих дискретних функціональних базисів:

$$B_{\max} = \frac{\ln(I_{\max}/a)}{\ln(s)}, \quad (1)$$

або по одному з біортогональних вейвлет-базисів на j -му рівні декомпозиції:

$$I = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \phi_k(I). \quad (2)$$

У виразах (1), (2) a_k – базисні функції дискретного базису; $I = I_{\max}$ – відповідно масштабуючі та деталізуючі базисні функції.

Здійснимо обнуління частини коефіцієнтів розкладів (1), (2), починаючи з номеру K :

- за використання розкладів (1): $a = B_{\max}$ при $V(I) = 0$; $I = I_{\max}$ при $b = 0$;
- за використання розкладів (2): $B_{\min} = a + c \cdot (I_{\min} - I_{\max})^2$ при $c = \frac{(B_{\min} - B_{\max})}{(I_{\min} - I_{\max})^2}$, $B_3(I)$ при $B_3(I) = \frac{B_{\min} - B_{\max}}{I_{\min} - I_{\max}} \cdot (I - I_{\min}) + B_{\min}$.

Відновлення скомпресованих сигналів здійснюється перетвореннями, оберненими до (1) та/або (2).

За варіювання порогу обнуління K змінюються як відношення «сигнал/шум» (SNR), так й відмінність між відновленим та вихідним інформа-

ційними сигналами (відповідно (7) та (8)), за міру якої приймаємо відстань Махаланобіса між ними як таку, що враховує кореляцію між сигналами, що аналізуються [1, с. 41].

Визначення порогу обнуління K формулюємо як однопараметричну двокритеріальну оптимізаційну задачу досягнення мети з цільовими функціями $B(I_{\min}) = B_{\min}$ – залежність від K відстані Махаланобіса між вихідним та відновленим сигналами; $h = I_{\min} - I_c$ – залежність від K відношення «сигнал/шум» у відновленому сигналі. Значення мети оптимізації: B_{\min} , I_c – задані значення відстані Махаланобіса та SNR відповідно.

Для розв'язання поставленої оптимізаційної задачі використовуємо відомий під назвою «goal attain method» [6, с. 322–348], який у наведеній постановці зводиться до визначення порогу K , за якого мінімізується допоміжний параметр m при обмеженнях

$$m = B_3(I); \quad (3)$$

Тут через α_k позначені вагові коефіцієнти значущості критеріїв, які належать інтервалу $[0, 1]$. Надалі приймаємо $\alpha_1 = \frac{B_{\min} - B_{\max}}{B_{\min} - B_{\max}}$, $\alpha_2 = \frac{I_c - I_{\min}}{I_c - I_{\min}}$ (однакова значущість обох критеріїв).

З означення процедури компресії випливає, що відстань Махаланобіса та SNR відновленого сигналу збільшуються при збільшенні порогу обнуління. На рис. 1 наведено відповідні залежності за використання базисів Уолша, Хартлі та вейвлет-базису Хаара першого рівня декомпозиції.

Як випливає з наведених залежностей, вимоги максимізації SNR та мінімізації відмінності вихідного та відновленого інформаційних сигналів є протилежними.

На рис. 2 подано фрагмент залежностей від номеру відліку вихідного та відтвореного інформаційних сигналів за оптимальних значень відстані Махаланобіса та SNR для каналного шуму з гаусівським розподілом. На рисунку 3 наведено аналогічну залежність для релеєвського статистичного розподілу шуму.

Наведені залежності свідчать про високий рівень схожості відновленого та вихідного інформаційних сигналів.

Як відомо, швидкість передачі сигналів по каналах з адитивним шумом пов'язана з взаємною інформаційною ентропією співвідношенням $H(X; Y) = H(X) - H(X|Y)$, де X – сигнал на вході каналу, Y – прийнятий сигнал, $H(X)$ – середня тривалість передачі одного відліку сигналу [1, с. 391; 5, с. 51]. При реалізації пропонованого методу отримано типову залежність взаємної інформаційної ентропії від SNR, наведену на рис. 4 за оптимального

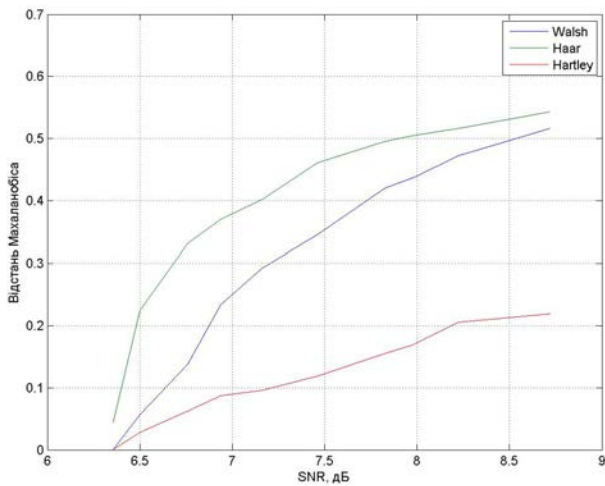


Рис. 1. Залежність відстані Махаланобіса від SNR при збільшенні порогу обнулення коефіцієнтів розкладу сигналів

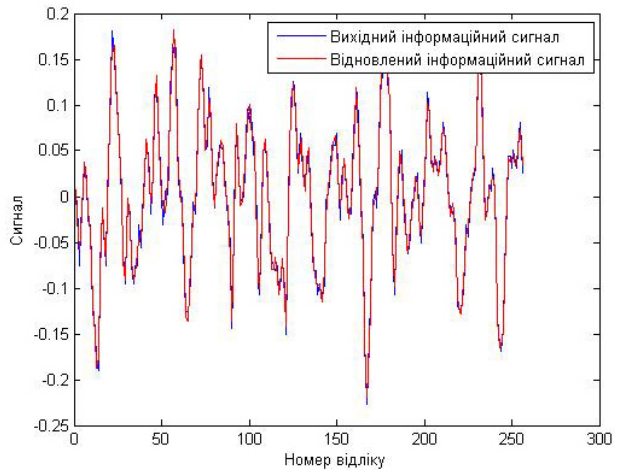


Рис. 2. Динаміка вихідного та відновленого сигналів за гаусівської моделі шуму

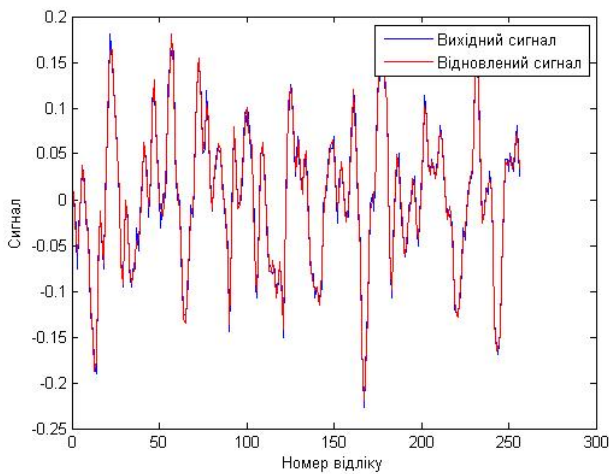


Рис. 3. Динаміка вихідного та відновленого сигналів за релеєвської моделі шуму

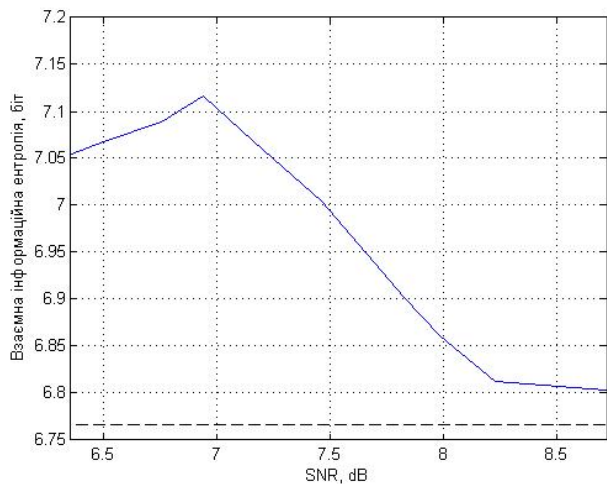


Рис. 4. Залежність взаємної інформаційної ентропії від відношення «сигнал/шум»

значення відстані Махаланобіса між вихідним та відновленим інформаційними сигналами (пунктирна лінія відповідає вихідному сигналу).

Як впливає з наведеної залежності, максимального значення 7.1164 біт взаємна інформаційна ентропія (а внаслідок цього й швидкість передавання) набуває при оптимальному значенні відношення «сигнал/шум» 6.9402 дБ.

Висновки. У статті запропоновано метод визначення швидкості передачі даних у телекомунікаційних каналах з адитивним шумом на основі компресії сигналів, оптимізованої за критеріями мінімізації інформаційної відмінності вихідного

та відновленого сигналів та досягнення заданого значення відношення «сигнал/шум». В основу компресії сигналів покладено їх подання і ортонормованих дискретних функціональних базисах та/або дискретних біортогональних вейвлет-базисах. За результатами комп'ютерного моделювання встановлена найбільша ефективність за зазначеними критеріями функціонального базису Хартлі. Перспективи подальших досліджень за проблематикою статті пов'язані з оптимізацією пропускної здатності інформаційних каналів передачі видових даних дистанційного зондування та їх завадостійким кодуванням.

Список літератури:

1. Proakis J.G. Digital Communications. N.-Y.: McGraw-Hill, 2004. 928 p.
2. Proakis J.G., Manolakis D. Digital Signal Processing. Principles, Algorithms and Application. London: Prentice-Hall International, 2007. 948 p.

3. Ahmed N., Rao K.K. Orthogonal Transforms for Digital Signal Processing. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 1975. 248 p.
4. Chui C.K. An Introduction to Wavelets. San Diego, N.-Y., Boston, London: Academic Press. 1992, 264 p.
5. Жураковський Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування. – Київ: Вища школа, 2001. 255 с.
6. Steur R.E. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation and Application. New York: John Wiley & Sons Inc., 1986. 546 p.

Korchynskij V.M., Kozar I.O. APPLICATION OF SIGNAL COMPRESSION TO CONTROL DATA RATES IN ADDITIVE NOISE TELECOMMUNICATION CHANNELS

The article proposes a method for controlling the signal transmission speed in channels with additive noise. The method is based on data compression optimized according to two criteria: 1) minimizing the Mahalanobis information distance between compressed and output signals; 2) maximizing the ratio of the signal energy of the informative signal stored in the compressed image to the signal energy of the residual noise (signal-to-noise ratio).

Compression of signals is realized on the basis of their decompositions on one of the discrete orthonormed functional bases or discrete biorthogonal wavelet bases, zeroing of the decomposition coefficients and subsequent reconstruction of signals.

It was found that with increasing zeroing threshold with any variant of decomposition, the signal-to-noise ratio increases, and the degree of similarity between the output and compressed information signals decreases.

The definition of zeroing thresholds, which provides a compromise between the requirements of increasing the signal-to-noise ratio and minimizing the Mahalanobis distance between the output and compressed information signals, is formulated in the form of a two-criteria optimization problem of minimizing the deviations the Mahalanobis distance of the compressed information signal with respect to the output signal and the signal-to-noise ratio in the compressed signal from predetermined values. The method of solving the optimization problem is used, which provides the possibility of setting the coefficients of significance of optimization criteria.

According to the results of a comparative analysis of various functional bases (Walsh, Hartley, discrete cosine transform) and Haar wavelet basis, it is found that the most effective according to these criteria is the Hartley basis.

It is shown that with the use of bioorthogonal wavelet bases, an increase in the level of wavelet decomposition leads to an increase in both the ratio of «signal/noise» in the reconstructed signal and the information distance between it and the output signal.

It is shown that with increasing the threshold of zeroing of the decomposition coefficients, the compatible information entropy of the output and reproduced signals increases, as a result of which the transmission speed through channels with a limited frequency band increases.

Key words: *information distance, signal-noise ratio, discrete orthogonal transformation, discrete biorthogonal wavelet-basis, information entropy.*

Сайко В.Г.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Наритник Т.М.

Інститут електроніки та зв'язку Української академії наук

МОДЕЛЬ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНТЕГРОВАНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА БАЗІ ЛІТАЮЧОЇ МЕРЕЖІ БПЛА

Запропоновано модель системи краудсорсингового моніторингу параметрів інтегрованої інфраструктури на основі системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА. Дана модель ґрунтується на концепції програмно-конфігурованих мереж, яка забезпечує гнучке централізоване управління мережею, можливість програмного конфігурування, розділення рівнів управління та передачі даних, незалежність від постачальників обладнання та використання відкритих стандартів. Застосування цієї концепції передбачає розгляд БПЛА як комутаторів SDN, а кореневі супутники системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника, які збирають інформацію від БПЛА та керують деякими аспектами функціонування мережі, виступають у ролі контролерів SDN. Модель моніторингу дає змогу передавати статистичну інформацію, не перевантажуючи при цьому мережу та забезпечує операторам гнучкий процес збору даних із статистичною повнотою інформації для аналітичних засобів машинного навчання. Наведено алгоритми процесу обслуговування БПЛА для забезпечення підзарядки та динамічного перерозподілу Fog-пристроїв БПЛА для забезпечення хендверу при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня. Розроблені алгоритми функціонують на основі децентралізованої блокчейн-платформи управління смарт-контрактами, що забезпечує обслуговування мережі БПЛА із достатньою швидкістю і якістю вирішення термінових задач при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня, з використанням їх публічних ключів у мережі. Такий підхід підвищує безпеку функціонування мереж БПЛА.

Ключові слова: блокчейн, інтегровані мережі БПЛА, забезпечення підзарядки БПЛА, системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника.

Постановка проблеми. З розвитком науки і техніки безпілотні літальні апарати (БПЛА) стають все поширенішими у різних галузях народного господарства. У сфері екологічних досліджень БПЛА виконують такі функції: моніторинг та дослідження навколишнього середовища, прогноз погоди та збір метеорологічної інформації, захист диких тварин від браконьєрства, контроль популяції тварин, пошук та порятунок людей та тварин, створення карт, зокрема 3D-карт.

У сільському господарстві БПЛА вирішують завдання, пов'язані з нанесенням добрив, пестицидів тощо [1]. Традиційні методи дистанційного зондування, які передбачають розташування віддалених датчиків на вежах над полем сільськогосподарських культур (таких як тепловізійні, мульти- і гіперспектральні камери та інші), мають обмежений радіус дії через фіксоване положення, біля якого збираються дані. Інший традиційний метод дистанційного зондування базується на використанні літальних апаратів або супутників, проте їх ефективність для сільськогосподарських оцінок суттєво обмежена часовими та просторо-

вими обмеженнями, оскільки виникають значні зміни в рослинності порівняно з навколишнім середовищем. Також якість зображень, отриманих з супутників або пілотованих апаратів, часто залежить від погодних умов, тому для здійснення повторних зйомок у відповідний момент потрібні додаткові операції.

Наукомісткі завдання, що виконуються безпілотними літальними апаратами (БПЛА), зменшують тривалість та, відповідно, дальність їх автономної роботи. Це призводить до необхідності додаткового перельоту до джерела енергії для підзарядки. Щоб уникнути такого перельоту, застосовуються методи підвищення дальності польоту шляхом безпосередньої передачі енергії на БПЛА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У 2021 році компанія WiBotic представила своє рішення бездротової зарядки безпілотних літальних апаратів [2]. БПЛА, який оснащений бортовим зарядним пристроєм WiBotic OC-251, використовує це технічне рішення. У нього також входить пристрій WiBotic PowerPad (передавач TR-301), металевий корпус якого має ЖК-дисплей для сис-

темних повідомлень і світлодіодні індикатори, що показують стан системи в будь-який момент. Стандартна антена з входом для коаксіального кабелю і вбудованим портом Ethernet дозволяє зовнішнім системам контролювати і керувати передавачем за допомогою веб-API WiBotic (програмного інтерфейсу додатків) або Wibotic Commander для управління енергоспоживанням.

Проте, розробники не розголошують конкретні завдання, які можуть бути вирішені за допомогою розробленої системи бездротової передачі енергії, діапазон частот та режим роботи приймально-випрямляючих елементів. Це ускладнює оцінку ефективності та корисності даного інноваційного рішення для відповідних завдань.

Відомий спосіб передачі енергії на БПЛА використовує проводи [3]. БПЛА залежить від таких станцій, які мають потужний кабель, що не тільки забезпечує безперебійну роботу, але й передає дані, коли інші види сигналів можуть бути заблоковані. Самі станції працюють за допомогою генераторів або з мережі. Недоліком цього способу є збільшення ваги двигуна. З приростом дальності та висоти польоту, потужність двигуна повинна збільшуватись, що призводить до збільшення маси проводів, залишаючи масу БПЛА незмінною. Одним із способів зменшення потужності двигуна є використання оптоволоконного кабелю як носія енергії [4]. Проте, головним недоліком цього підходу є обмеження дальності польоту визначеною довжиною кабелю.

В [5] автори наводять алгоритм (послідовності дій), що виконується при зниженні заряду внутрішньої батареї БПЛА для міграції сервісів з одного БПЛА на інший і переміщення БПЛА в зони підзарядки внутрішньої батареї. Недоліком запропонованого рішення є те, що автори запропонували загальний алгоритм і не навели конкретні пропозиції для практичної реалізації для забезпечення енергоефективного способу міграції сервісів у мережах БПЛА з врахуванням особливостей такої передачі, зокрема не враховують адаптивність трафіку, який проявляється протягом відповідного часу функціонування у різних кластерах мережі БПЛА із врахуванням параметру електроспоживання БПЛА. Крім того, в ньому не представлено яким чином відбувається збір даних, а також оновлення відповідного програмного забезпечення. Тобто не представлено технічні аспекти яким чином повинна працювати повна інфраструктура мережі БПЛА із зворотнім зв'язком для запропонованого алгоритму, який здійснює оптимізацію роботи мережі.

Постановка завдання. Одним із перспективних напрямів у вирішенні даної проблеми авторами пропонується робоча гіпотеза проведення досліджень щодо інтеграції мережі БПЛА із підтримкою SDN/NFV технологій [6, 7] та низь-

коорбітальної супутникової системи зв'язку на базі розподіленого супутника [8, 9, 10] для забезпечення із достатньою швидкістю і якістю вирішення термінових задач при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня. Застосування концепції SDN в мережах БПЛА дозволить:

1. Організувати централізоване керування мережею, що не лише дозволить ефективніше використовувати ресурси, але й підвищить якість обслуговування, забезпечивши взаємодію розподілених обчислень з мікросервісною підтримкою працездатності мережі БПЛА при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня БПЛА кластерних структур.

2. Динамічно регулювати переміщення БПЛА в тривимірному просторі при виконанні цільових задач.

Для вирішення окремих завдань у рамках вищеприписаної системної задачі для підвищення ефективності управління мережею БПЛА при міграції сервісів з одного БПЛА на інший відповідного кластеру і переміщенні БПЛА в зони підзарядки внутрішньої батареї пропонується: розробити модель системи краудсорсингового моніторингу параметрів інтегрованої інфраструктури на базі системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА, а також набір ефективних алгоритмів процесу обслуговування БПЛА для забезпечення підзарядки та динамічного перерозподілу Fog-пристроїв БПЛА для забезпечення хендверу при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Модель системи краудсорсингового моніторингу параметрів інтегрованої інфраструктури на базі системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА

У цій роботі запропоновано новий підхід до організації процесу інтелектуального управління мережною інфраструктурою з врахуванням особливостей її інтегрованої інфраструктури при зниженні заряду їх вбудованих батарей до певного рівня, яка базується на системі низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА (рис. 1). Даний підхід базується на концепції програмно-конфігурованих мереж і має ряд переваг, що дозволяє вирішити різноманітні задачі [11]. Особливо цікавим з погляду поставлених завдань є забезпечення гнучкого централізованого керування мережею, можливість програмного налаштування, розділення управління та передачі даних і використання відкритих стандартів. Застосування цієї концепції включає розгляд БПЛА як комутаторів SDN, а кореневі супутники низькоорбітальної

системи, які отримують інформацію від БПЛА та керують деякими аспектами функціонування мережі, виступають у ролі контролерів SDN. У подальшому розглядається загальна архітектура процесу навчання інтелектуальних алгоритмів з точки зору забезпечення ефективного збору та попередньої обробки даних.

Як показано на рис. 1, система інтелектуального управління ґрунтується на процесі моніторингу параметрів мережної інфраструктури. Моніторинг виконує дві ключові функції, необхідні для повноцінного циклу інтелектуального управління. По-перше, моніторинг забезпечує отримання даних для формування навчальних вибірок, на основі яких готуються моделі для управління параметрами мережної інфраструктури з використанням штучного інтелекту [12]. По-друге, моніторинг дозволяє перевіряти динаміку мережі при зміні її конфігурацій під час управління, що дає можливість приймати рішення щодо ефективності навчених моделей і виявляти моменти, коли дані моделей потребують оновлення.

У контексті інтегрованої інфраструктури, що базується на системі низькоорбітального супутникового зв'язку, а саме розподіленій архітектурі супутників, та мережі з безпілотних літальних апаратів, система інтелектуального управління, яка зображена на рис. 1, повинна мати наступні характеристики:

– Моніторинг мережі повинен бути загальним для всіх операторів інтегрованої мережі, з можливістю спільного використання мережевої інфраструктури та адаптивного обслуговування БПЛА будь-якого оператора.

– Моделі штучного інтелекту можуть бути особистими, власністю окремих операторів інтегрованої мережі, і використовуються для підвищення ефективності їх власних сервісів для БПЛА. Або ж вони можуть бути загальними, використовуваними для підвищення ефективності всієї мережевої інфраструктури в цілому.

– Доступ до бази даних БПЛА має бути загальним для операторів інтегрованої мережі з метою забезпечення їх ефективного обслуговування, незалежно від їх місця знаходження та поточного оператора інтегрованої мережі.

Для забезпечення вищезазначених властивостей інформаційна система управління мережною інфраструктурою повинна мати ядро, яке відповідає за основні функції управління моделями штучного інтелекту та передавання керуючої інформації до елементів мережної інфраструктури та системи моніторингу. Для інтеграції інформаційної системи та системи збору даних необхідно забезпечити ефективні механізми управління

даними, що гарантують високий рівень безпеки усіх мережних сервісів, захищеність реєстрів даних БПЛА, а також повноцінну інтеграцію усіх операторів інтегрованої мережі на основі технології блокчейн.

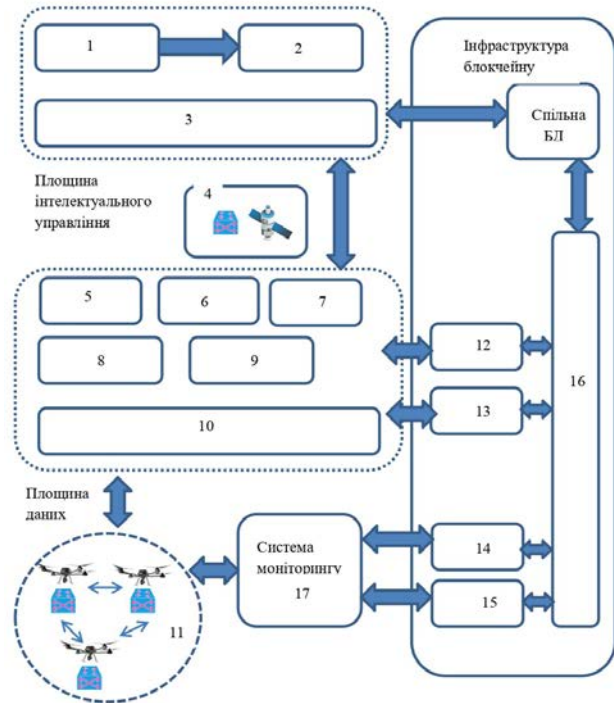


Рис. 1 Загальна архітектура системи інтелектуального управління інтегрованою інфраструктурою на базі системи низькоорбітального супутникового зв'язку розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА

- 1 – Навчання моделей штучного інтелекту.
- 2 – Верифікація моделей штучного інтелекту.
- 3 – Управління множиною інтелектуальних алгоритмів.
- 4 – Кореневий супутник з SDN контролером.
- 5 – Децентралізований синтез топологічної структури.
- 6 – Прогнозування зміни енергетичного ресурсу.
- 7 – Децентралізоване управління енергетичними ресурсами.
- 8 – Управління доступом і мобільністю при хендвері.
- 9 – Наскрізний контроль якості обслуговування.
- 10 – Управління віртуальними мережевими функціями та програмна конфігурація мережної інфраструктури.
- 11 – Кластер БПЛА площини даних.
- 12–15 – Оператори інтегрованої інфраструктури системи низькоорбітального супутникового зв'язку на основі розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА.
- 16 – Система управління доступом до спільної бази даних на основі розподілених реєстрів блокчейн.
- 17 – Система моніторингу інтегрованої інфраструктури на базі системи низькоорбітального супутникового зв'язку на основі розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА

Для збору даних про основні параметри функціонування мережної інфраструктури використовується спеціально розроблена система краудсорсингового моніторингу. Ця система відповідає за

збір даних у відповідному форматі та їх передачу до відповідних баз даних. Основна відмінність цієї системи від традиційних методів, що використовуються операторами інтегрованих мереж, полягає у тому, що вона базується на кінцевих безпілотних літальних апаратах (БПЛА), які здійснюють збір даних щодо показників ефективності мережі, з фокусом на забезпеченні енергозбереження та інформації про задоволеність якістю сервісу. Такий підхід неможливо реалізувати за допомогою існуючих засобів моніторингу, передбачених у стандарті 5G, оскільки вони пропонують централізовану модель функціонування в межах одного оператора, що значно ускладнює процес узгодження результатів моніторингу між операторами з метою створення консенсусної бази даних.

Система моніторингу ґрунтується на використанні протоколу MQTT для телеметрії даних безпосередньо на пристроях БПЛА [13]. Протокол MQTT має ряд переваг, таких як простота реалізації, гарантована доставка даних та незалежність від типу інформації. У запропонованій системі всі мережеві вузли можуть виступати джерелами даних MQTT і надсилати свої параметри до MQTT брокера, розподіляючи їх за відповідними тематиками. MQTT брокер, у свою чергу, передає дані тільки тим вузлам, які безпосередньо підписані на певні тематики [13]. Ця схема дозволяє підтримувати надзвичайно великі колективи інтелектуальних літаючих апаратів і може бути використана в інтегрованій мережі. Ще однією перевагою запропонованої системи моніторингу є невеликий розмір передаваних блоків даних, що дозволяє передавати дані зі швидкістю менше 200 кбіт/с [13]. Однак, обсяг отримуваних даних в процесі роботи системи буде достатнім для формування навчальних вибірок для штучного інтелекту. Цей підхід дозволяє операторам в інтегрованій мережі гнучко налаштовувати конфігурацію системи моніторингу, вибираючи лише ті дані, які є найважливішими для поточних умов обслуговування в мережі. Іншим важливим аспектом запропонованої системи є її асинхронний характер, що дозволяє відокремити процеси моніторингу від процесів обслуговування БПЛА в інтегрованій мережі.

Зважаючи на високу вартість зберігання великих обсягів даних у розподілених реєстрах блокчейн, у системі моніторингу використовується гібридна архітектура. У цій архітектурі блокчейн використовується тільки для автентифікації БПЛА та операторів інтегрованої мережі, а також

для забезпечення функціонування алгоритму процесу обслуговування БПЛА для забезпечення підзарядки та алгоритму динамічного перерозподілу Fog-пристроїв БПЛА для забезпечення хендоверу при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня. Тоді як передавання даних моніторингу здійснюється безпосередньо до бази даних, розташованої в розподіленому туманному та хмарному середовищі (рис. 2).

Запропонована архітектура, яка показана на рис. 2, дозволяє одночасно забезпечити ефективність процесу збереження великих обсягів даних за допомогою наявних технічних рішень, а також гарантує, що доступ до системи матимуть лише ідентифіковані та довірені БПЛА або оператори інтегрованої мережі, зафіксовані в розподіленому реєстрі блокчейн.

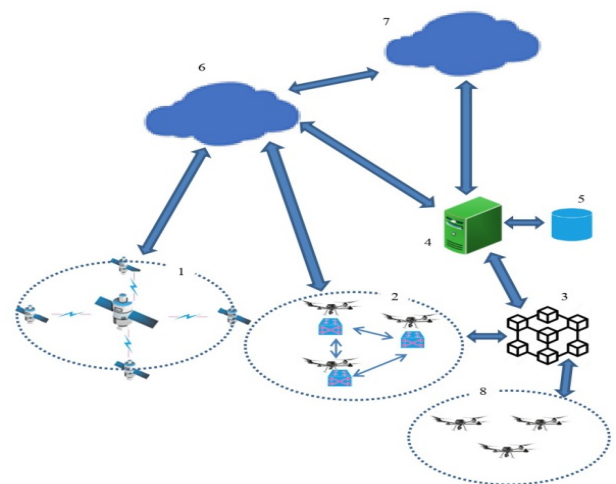


Рис. 2. Архітектура розробленої системи краудсорсингового моніторингу інтегрованої інфраструктури на базі системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА

- 1 – Низькоорбітальна супутникова система зв'язку на базі розподіленого супутника.
- 2 – Кластер БПЛА.
- 3 – Блокчейн.
- 4 – Контролер доступу до бази даних.
- 5 – Спільна база даних.
- 6 – Інформаційно-телекомунікаційна мережа.
- 7 – Обчислювальний кластер інтегрованої мережі.
- 8 – Зона підзарядки БПЛА.

Алгоритм процесу обслуговування БПЛА для забезпечення підзарядки

Процес реалізації загального алгоритму адаптивного обслуговування БПЛА в режимі реального часу в запропонованій системі із підтримкою SDN/NFV технологій та мікросервісної архітектури низькоорбітальної супутникової системи зв'язку на базі розподіленого супутника для забезпечення із достатньою швидкістю і якістю вирішення термінових задач при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня на основі

блокчейн-платформи здійснюється наступним чином (див. рис. 2).

Крок 1. БПЛА спочатку надсилає відповідні дані на головний вузол кластеру мережі БПЛА про зниження заряду вбудованих батарей до певного рівня та запит сервісу та власні вимоги для забезпечення заряду вбудованих батарей.

Крок 2. Головний вузол кластеру мережі БПЛА надсилає запит сервісу БПЛА разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом.

Крок 3. Якщо інформація про БПЛА підтверджена у розподіленому реєстрі, смарт-контракт відправляє запит БПЛА кореневому супутнику інтегральній мережі.

Крок 4. Кореневий супутник інтегральної мережі аналізує запит БПЛА, визначає наявні можливості для обслуговування БПЛА, враховуючи значення енергетичних ресурсів у зонах обслуговування підзарядки БПЛА (див. рис. 1) на основі отриманих даних від децентралізованої системи моніторингу системи, а також кластер відповідних комірків підзарядки для обслуговування БПЛА і доступний обсяг інфраструктури енергетичного ресурсу та здійснюють планування ресурсів.

Крок 5. Кореневий супутник формує пропозицій SLA енергетичного кластера для БПЛА та надсилає головному вузлу кластеру мережі БПЛА.

Крок 6. Головний вузол кластеру мережі БПЛА розраховує значення функції корисності для кожного енергетичного кластера. Серед усіх пропозицій головного вузла кластеру (ГВК) мережі БПЛА, вибирає пропозиції ГВК з найвищим значенням показників інтегральної корисності.

Крок 7. БПЛА надсилає запит на реєстрацію у мережі обраного енергетичного кластера для забезпечення заряду вбудованих батарей.

Крок 8. ГВК надсилає запит на блокчейн на оренду відповідної інфраструктури та необхідного енергетичного ресурсу.

Крок 9. Кореневий супутник створює відповідні токени.

Крок 10. Проводить передачу відповідних токенів на ГВК.

Крок 11. ГВК підтверджують реєстрацію БПЛА в мережі обраного енергетичного кластера для забезпечення заряду вбудованих батарей.

Крок 12. Операція оновлення реєстрів інфраструктури та енергетичного ресурсу.

Крок 13. Операція оновлення реєстру SLA.

Крок 14. Процес функціонування системи.

Таким чином, застосування блокчейну в запропонованій інтегрованій інфраструктури на базі

системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА дає змогу відстежувати використання інфраструктури та енергетичного ресурсу БПЛА, а використання смарт-контрактів дає змогу заздалегідь забронювати ресурси мережної інфраструктури заряду вбудованих батарей для їх використання енергетичних кластерів у певний проміжок часу.

Алгоритм динамічного перерозподілу Fog-пристроїв БПЛА

В рамках інфраструктури архітектурних рішень передбачається динамічний перерозподіл Fog-пристроїв БПЛА наступним чином.

Крок 1. При переході з одного Fog-кластеру БПЛА в інший або при первинному підключенні, хендовері кожен Fog-пристрій БПЛА надсилає широкомовний запит з метою виявлення найближчого головного вузла кластеру мережі БПЛА.

Крок 2. Після виявлення Fog-пристроїв БПЛА надсилає дані для реєстрації у виявленій комірці Fog-кластері БПЛА.

Для реєстрації Fog-пристроїв БПЛА передає такі дані про свої обчислювальні віртуальні ресурси, виділені для передачі їх в оренду, як частина Fog-кластеру БПЛА:

- Центральний процесорний пристрій (кількість ядер та тактова частота ядра). Даний параметр на стороні сервера дозволяє розрахувати продуктивність пристрою (частини виділеної потужності виділеного віртуального простору);
- виділена кількість логічного оперативної обчислювальної пам'яті для віртуального простору;
- виділена кількість логічного постійної обчислювальної пам'яті для віртуального простору;
- Коди активних та доступних технічно бездротових технологій (наприклад, 802.11ac, 5G тощо);
- Дозволена швидкість передачі даних для сторонніх сервісів (цей параметр може бути обмежений з метою збереження якості основного зв'язку для користувача);
- Підтримувана система віртуалізації та оркестрації;
- Підтримуваний формат мікросервісів для *забезпечення із достатньою швидкістю і якістю вирішити термінові задачі при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня БПЛА кластерів мережі.*

Крок 3. Головний вузол кластеру мережі БПЛА надсилає запит сервісу БПЛА разом з його публічним ключем у блокчейн для перевірки смарт-контрактом.

Крок 4. Якщо інформація про БПЛА підтверджена у розподіленому реєстрі, смарт-контракт відправляє запит БПЛА кореневому супутнику інтегральній мережі.

Крок 5. Кореневий супутник інтегральної мережі аналізує запит БПЛА, визначає наявні можливості для обслуговування БПЛА на основі отриманих даних від децентралізованої системи моніторингу системи, а також кластер для обслуговування БПЛА і доступний обсяг інфраструктури ресурсу та здійснює планування ресурсів.

Крок 6. У разі позитивного рішення Fog-сервер кластеру БПЛА направляє повідомлення-підтвердження очікування підключення Fog-пристрою БПЛА. Fog-сервер кластеру БПЛА також передає унікальний згенерований внутрішній системний код. Цей код необхідний для подальших процесів взаємодії Fog-пристрою БПЛА зі обчислювальним кластером інтегрованої мережі, а також для системи управління міграцією мікросервісів додатків з метою однозначної ідентифікації кожного з Fog-пристроїв БПЛА у Fog-кластеру БПЛА в умовах їх фізичного переміщення. Після цього повідомлення Fog-сервер кластеру БПЛА здійснює передачу параметрів з'єднання.

Крок 7. Fog-пристрій БПЛА, що підключається, відправляє повідомлення-підтвердження Fog-серверу кластеру БПЛА про готовність.

Крок 8. ГВК надсилає запит на блокчейн на оренду відповідної інфраструктури та необхідного енергетичного ресурсу.

Крок 9. Кореневий супутник створює відповідні токени.

Крок 10. Проводить передачу відповідних tokenів на ГВК.

Крок 11. ГВК підтверджують реєстрацію БПЛА в мережі обраного кластера БПЛА для забезпечення виконання відповідної задачі.

Крок 12. Операція оновлення реєстрів інфраструктури та енергетичного ресурсу.

Крок 13. Операція оновлення реєстру SLA.

Fog-сервер отримує права на використання у своїх цілях (агрегування) обчислювальних ресурсів, наданих Fog-прироями БПЛА обчислювальних та мережових ресурсів. Варто зазначити, що кореневий супутник має отриману інформацію про всі підконтрольні Fog-кластеру БПЛА.

Крок 14. Процес функціонування системи.

Подальші напрямки досліджень

Одними із подальших напрямків наукових досліджень є:

– проведення моделювання даних алгоритмів та описаних моделей, де для моделювання була використана мова програмування Python з відповідними бібліотеками для роботи з даними, наприклад Pandas, NumPy та інші.

– розробка моделей та методів застосування систем розподіленого реєстру, які необхідні для забезпечення заданих показників якості послуг зв'язку для забезпечення хендоверу при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня, а також стабільності стану елементів такої інтегрованої інфраструктури на базі системи низькоорбітального супутникового зв'язку з архітектурою розподіленого супутника та літаючої мережі на базі БПЛА.

Висновки:

1. Запропоновано модель моніторингу інтегрованої мережі на базі літаючої мережі БПЛА, що дає змогу передавати статистичну інформацію, не перевантажуючи при цьому мережу та забезпечує операторам гнучкий процес збору даних із статистичною повнотою інформації для аналітичних засобів машинного навчання.

2. Наведено алгоритми процесу обслуговування БПЛА для забезпечення підзарядки та динамічного перерозподілу Fog-пристроїв БПЛА для забезпечення хендоверу при зниженні заряду вбудованих батарей до певного рівня.

Список літератури:

1. Зозуля О.Л., Михальська Л.М., Коваль О.Л. Цифрові технології у рослинництві: монографія. Київ: ТОВ «Сингента», 2020. 72 с.
2. Дрон на прив'язі: в Україні розробили власну інтелектуальну дотову систему живлення БПЛА. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/dron_na_privjazi_v_ukrajini_rozrobili_vlasnu_intelektualnu_drotovu_sistemi_zhivlennja_bpla-3449.html (Дата звернення 28.06.2023).
3. Розроблено дрони з "нескінченим" польотом: як вони допоможуть ЗСУ у бою. URL <https://focus.ua/uk/digital/573689-rozrobлено-droni-z-neskinchennim-polotom-yak-voni-dopomozhut-zsu-u-boyu-foto-video/> (Дата звернення 06.07.2023).
4. Патент WO 2013052178 A3 США: МПК G01C 3/08. An aerial platform system, and related methods.
5. Gupta, L. Survey of Important Issues in UAV Communication Networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2016. vol. 18(2). pp. 1123-1152.

6. Горбатий І.В., Бондарев А.П. Телекомунікаційні системи та мережі. Принципи функціонування, технології та протоколи. Львів. Львівська політехніка, 2016. 336 с.
7. Заїка В.Ф., Варфоломєєва О.Г., Домрачева К.О., Гринкевич Г.О.. Телекомунікаційні системи та мережі наступного покоління. Київ: ДУТ, 2019. 312 с.
8. Сайко В.Г., Одарченко Р.С., Абакумова А.О., Наритник Т.М., Наконечний В.С., Домрачев В.М., Толюпа С.В., Заблоцький В.Ю., Баховський П.Ф. Мережі мобільного зв'язку нового покоління 4G/5G/6G: монографія. Київ: ТОВ «Про формат», 2021. 200 с.
9. Патент України на корисну модель 142478 Україна. Система низькоорбітального супутникового зв'язку із міжсупутниковими каналами зв'язку терагерцового діапазону. МПК 2019.01 Н 04 В 7/185. № u201911325; заявл. 21.11.2019; опубл. 10.06.2020, Бюл. № 11.
10. Saiko, V., Nakonechnyi, V., Narytnyk, T., Brailovskyi, M., Lukova-Chuiko, N. Terahertz Range Interconnecting Line for LEO-System. Proceedings – 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2020. Lviv, 2020. pp. 425–429.
11. Сайко В.Г. Системи бездротового цифрового радіозв'язку нового покоління: монографія. Київ: ПП “Золоті ворота”, 2011. 300 с.
12. Ткаченко Р.О. Нейромережеві засоби штучного інтелекту. Львів. Видавництво Львівської політехніки, 2017. 208 с.
13. Жураковський Б.Ю. Технології інтернету речей: навч. посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/42078/1/Zhurakovskiy_B_Zeniv_Tehnologii_internet_recheu.pdf (Дата звернення 28.06.2023).

Saiko V.G., Narytnyk T.M. MODEL FOR ENSURING THE FUNCTIONING OF INTEGRATED INFRASTRUCTURE BASED ON A DRONE NETWORK

A model of a crowd-sourcing monitoring system for integrated infrastructure parameters based on a low Earth orbit satellite communication system with a distributed satellite architecture and a drone-based flying network has been proposed. This model is based on the concept of software-defined networks, which enables flexible centralized network management, programmable configuration, separation of control and data plane, vendor-agnostic equipment, and the use of open standards. Applying this concept considers drones as SDN switches, and the root satellites of the low Earth orbit satellite communication system with a distributed satellite architecture act as SDN controllers, collecting information from the drones and controlling certain aspects of network functioning. The monitoring model allows for transmitting statistical information without overloading the network and provides operators with a flexible data collection process, ensuring statistical completeness of information for machine learning analytics. Algorithms for the servicing process of drones are presented to facilitate recharging and dynamic redistribution of Fog devices on drones to ensure handover when the embedded batteries reach a certain level of charge depletion. These developed algorithms operate on a decentralized blockchain-based smart contract management platform, ensuring sufficient speed and quality in servicing the drone network for urgent tasks during battery depletion, using their public keys in the network. This approach also enhances the security of drone network operations.

Keywords: blockchain, integrated drone networks, drone recharging, low Earth orbit satellite communication systems with distributed satellite architecture.

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.75

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/03>

Богдан Г.А.

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

Глуценко М.О.

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

ЗАГАЛЬНІ ТЕНДЕНЦІЇ ПОБУДОВИ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

Забруднення навколишнього середовища є однією з найбільших світових екологічних проблем. Проведені статистичні дослідження показали, що за останні двадцять років кількість смертей, викликана станом повітря, зросла на 66%. Це безпосередньо пов'язано зі значною індустріалізацією та урбанізацією міст, і відповідно зі значно збільшеною кількістю спалюваного викопного палива. Головною причиною забруднення повітря є хімічні компоненти, що присутні у викидах промислових підприємств видобувної, переробної та енергетичної галузей. Таким чином, актуальним питанням є розроблення та впровадження ефективних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах, які дозволяють своєчасно виявляти та запобігати викидам шкідливих речовин у повітря, а також контролювати дотримання встановлених норм та стандартів. Впровадження таких систем дозволить не тільки знизити кількість шкідливих викидів у атмосферу, шляхом контролю ефективності засобів і методів, що використовують для очищення повітря, а і покращити стан навколишнього середовища і здоров'я людей. До основних задач, які вирішуються шляхом впровадження систем моніторингу шкідливих елементів в повітрі на промислових підприємствах, відносять: автоматичне визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі в реальному часі та порівняння їх з нормативними значеннями; виконання заходів для зменшення викидів у випадку їх перевищення нормативних значень; збереження даних та побудова аналітичних залежностей для довгострокового прогнозування стану повітря на промислових підприємствах.

У цій статті ми розглянули важливість автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових об'єктах. Ми визначили основні складові таких систем та загальні сучасні вимоги до їх побудови. Визначили, що використання датчиків для збору даних, надійна та безпечна передача даних до центральної системи збору даних, а також правильне встановлення та обслуговування датчиків та навчання працівників є важливими складовими цієї системи. Також було відзначено, що система моніторингу повітря на промислових об'єктах повинна бути частиною комплексної програми з охорони навколишнього середовища.

Були виділені ключові напрямки вдосконалення сучасних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах: розвиток нових та удосконалення існуючих сенсорних технологій для вимірювання забруднюючих речовин у повітрі; використання технології інтернету речей IoT, що дозволяє підключати сенсори до мережі Інтернет та віддалено контролювати і збирати дані з різних станцій моніторингу; зростання обчислювальної потужності та розвиток аналітичних методів, що дозволяє пришвидшити збір та аналіз даних; впровадження мобільних додатків, які можуть користувачам отримати інформацію про якість повітря в реальному часі на основі даних з автоматизованої системи моніторингу.

Ключові слова: сенсор, системи моніторингу повітря, автоматизація, технології інтернету речей, якість повітря.

Постановка проблеми. Забруднення навколишнього середовища є однією з найбільших світових екологічних проблем. Як показали останні дослідження [1] кожна шоста смерть у світі відбувається через забруднення повітря та води токсичними хімікатами. Статистичні дані свідчать про те, що за останні двадцять років кількість смертей, викликана станом повітря, зросла на 66%. Це безпосередньо пов'язано зі значною індустріалізацією та урбанізацією міст, і відповідно зі значно збільшеною кількістю спалюваного викопного палива.

В Україні щороку від захворювань, що виникли під впливом викидів шкідливих речовин в атмосфері, помирає приблизно 57 тисяч українців. Проведені дослідження показали, що не дивлячись на суттєвий спад виробництва, повітря в Україні є одним з найбільш забруднених серед європейських країн. З доповіді Міністерства екології та природних ресурсів України про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році випливає, що на стан забруднення атмосфери впливають стаціонарні джерела (64,9% викидів речовин, що забруднюють повітря від їх загального об'єму) та пересувні джерела (35,1%) [2]. 90% викидів у повітря від стаціонарних джерел припадає на підприємства видобувної та переробної промисловості та постачання електроенергії.

За останні два десятиліття було проведено багато досліджень, щодо визначення взаємозв'язку між станом атмосферного повітря та здоров'ям людей, як вітчизняними так і закордонними дослідниками. Дослідження [3, 4] показали, що погана якість повітря може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, таким як астма, рак та інші захворювання дихальних шляхів.

З публікації [2] випливає, що головною причиною забруднення повітря є хімічні компоненти, що присутні у викидах промислових підприємств видобувної, переробної та енергетичної галузей. Найбільш небезпечні з них оксид вуглецю – (29,6% від загального обсягу забруднюючих речовин), діоксид та інші сполуки сірки – (27,9%), метан – (18,0%), речовини у вигляді суспендованих твердих час (12,6%) та сполуки азоту – (9,6%). Відповідно до чинного законодавства та нормативних документів кількість викидів перерахованих речовин підлягає обов'язковому контролю.

Таким чином, актуальним питанням є розроблення та впровадження ефективних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах, які дозволяють своєчасно виявляти та запобігати викидам шкідливих речовин у повітря, а також контролювати дотри-

мання встановлених норм та стандартів. Впровадження таких систем дозволить не тільки знизити кількість шкідливих викидів у атмосферу, шляхом контролю ефективності засобів і методів, що використовують для очищення повітря, а і покращити стан навколишнього середовища і здоров'я людей.

У цій статті ми розглянемо загальні тенденції та вимоги до систем моніторингу стану повітря на промислових підприємствах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних публікацій дозволив виділити ключові напрямки вдосконалення сучасних автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах:

1. Розвиток нових та удосконалення існуючих сенсорних технологій для вимірювання забруднюючих речовин у повітрі [5];

2. Використання технології інтернету речей IoT, що дозволяє підключати сенсори до мережі Інтернет та віддалено контролювати і збирати дані з різних станцій моніторингу [7–9];

3. Зростання обчислювальної потужності та розвиток аналітичних методів, що дозволяє пришвидшити збір та аналіз даних [10];

4. Впровадження мобільних додатків, які можуть користувачам отримати інформацію про якість повітря в реальному часі на основі даних з автоматизованої системи моніторингу [5].

Усі розглянуті публікації пропонують вдосконалення певних складових автоматизованих систем моніторингу повітря, але в них не розглянуто комплексний підхід побудови та модернізації таких систем.

Мета цієї статті – розглянути основні тенденції побудови автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах.

Виклад основного матеріалу. Автоматизована система моніторингу якості повітря на промислових об'єктах - це важлива складова відповідальної та ефективної діяльності підприємств, які виробляють різноманітні продукти та матеріали, що можуть мати шкідливий вплив на довкілля та здоров'я людей. Основною метою такої системи є забезпечення постійного контролю за якістю повітря в межах промислового об'єкту та в його навколишній зоні. До основних задач, які вирішуються шляхом впровадження систем моніторингу шкідливих елементів в повітрі на промислових підприємствах, відносять:

1. автоматичне визначення концентрації шкідливих речовин у повітрі в реальному часі та порівняння їх з нормативними значеннями;

2. виконання заходів для зменшення викидів у випадку їх перевищення нормативних значень;

3. збереження даних та побудова аналітичних залежностей для довгострокового прогнозування стану повітря на підприємстві.

На основі проведеного аналізу літературних джерел [5–10] було запропоновано узагальнену структуру схеми такої системи (рис. 1).

Охарактеризуємо основні елементи наведеної структурної схеми.

Сенсори відповідають за збір інформації про стан і якість повітря. Вони передають отримані дані до центрального серверу. За рахунок спеціального програмного забезпечення інформація з датчиків обробляється, що дозволяє відстежувати і контролювати якість повітря в режимі реального часу. Зібрані дані можуть бути візуалізовані у вигляді графіка, діаграми або карти, що дозволяє операторам отримувати інформацію про якість повітря в зручному форматі. Дані з сервера поступають до системи керування, яка відповідає за функціонування всіх елементів системи. Якщо концентрація забруднюючих речовин перевищує допустимі норми, система моніторингу може автоматично сповіщати про це за рахунок наявності системи сповіщення у своїй структурі. По сигналу від системи керування автоматично вмикаються засоби, які дозволяють зменшити кількість шкідливих викидів у повітря.

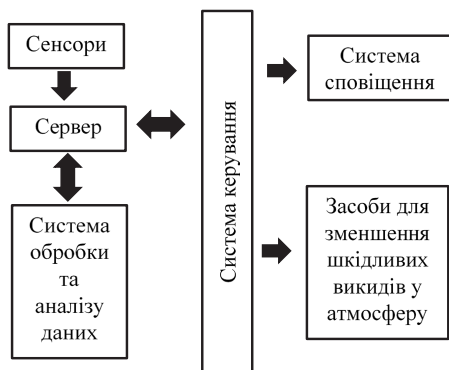


Рис. 1. Узагальнена структурна схема автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових підприємствах

Така система забезпечує запис і архівування даних про якість повітря на протязі тривалого часу. Крім того вона здатна до оперативного моніторингу в реальному часі за рахунок використання сучасних технологій. На основі даних моніторингу розробляються та впроваджуються заходи для зниження забруднення повітря, такі як впровадження нових технологій, оптимізація виробничих процесів тощо.

Для ефективної роботи автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових підприємствах необхідно забезпечити її інтеграцію з системою управління підприємством та оперативну обробку даних. Це дозволить швидко реагувати на будь-які зміни у якості повітря та автоматично забезпечувати прийняття вчасних рішень щодо запобігання забрудненню довкілля.

Розглянемо вимоги до основних елементів автоматизованих систем моніторингу якості повітря до можливі шляхи їх вдосконалення.

Сенсори. Датчики газів та інших шкідливих речовин є ключовими елементами автоматизованої системи моніторингу якості повітря. Правильний вибір датчиків та їх калібрування забезпечують точність вимірювань та надійність отриманих даних. Перелік шкідливих компонентів, які підлягають обов'язковому контролю прописаний у нормативних документах. Найчастіше використовують сенсори для виявлення озону, твердих частинок, оксидів, оксидів азоту, монооксиду вуглецю і свинцю. В якості газоаналізаторів використовують ІЧ-Фур'є-спектрометри, газові хроматографи, електрохімічні аналізатори, спектрофлуориметри, оптичні сенсори.

Вибір датчиків може бути складним завданням, оскільки різні сенсори можуть мати різну чутливість до різних речовин. Також, важливо враховувати технічні характеристики датчиків, такі як швидкість відповіді та діапазон вимірювань. Наприклад, якщо датчик має повільну швидкість відповіді, то він може не виявити короточасних піків концентрації шкідливих речовин.

Таким чином, вибір та калібрування датчиків є важливим етапом при розробці автоматизованої системи моніторингу якості повітря на промислових об'єктах. Вони дозволяють забезпечувати точність та надійність отриманих даних, що є ключовим моментом для забезпечення якісного моніторингу повітря.

Вимоги до сенсорів автоматизованих систем моніторингу якості повітря:

1. Діапазон вимірювання.
2. Точність. Точність повинна відповідати вимогам, які встановлені для конкретної системи моніторингу.
3. Чутливість. Датчики повинні бути достатньо чутливими, щоб забезпечити вимірювання навіть низьких рівнів шкідливих речовин.
4. Стійкість. Датчики повинні бути стійкими до впливу зовнішніх факторів, таких як вологість, температура, електромагнітні поля, вібрації тощо.

5. Надійність. Датчики повинні бути надійними, щоб забезпечити безперебійну роботу системи моніторингу.

6. Ціна. Датчики повинні мати прийнятну вартість, щоб забезпечити ефективність та економічність системи моніторингу.

На сьогоднішній день, широкого розповсюдження набувають недорогі бездротові датчики, що реалізують оптичні методи контролю для визначення наявності шкідливих речовин у повітрі.

Збір та передача даних. Крім датчиків, важливим елементом автоматизованої системи моніторингу якості повітря є система збору та передачі даних. Вона повинна забезпечувати надійну передачу даних в режимі реального часу до системи керування, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення в якості повітря.

Для забезпечення максимальної надійності та швидкості передачі даних, можна використовувати бездротові технології, такі як Wi-Fi, Bluetooth або мережу LoRaWAN. Важливо також забезпечити захист передачі даних від несанкціонованого доступу.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), що забезпечує передачу даних на відстань до 15 кілометрів з мінімальним споживанням енергії. Це може бути корисно для віддалених датчиків, розташованих на значній відстані від центральної системи збору даних.

Однак, незалежно від технології, важливо забезпечити надійну та безпечну передачу даних. Для цього можна використовувати різні протоколи шифрування та аутентифікації, такі як SSL, WPA2 або AES.

Типові безпроводні мережі збору та передачі даних з використанням IoT технологій мають три рівні [5]:

- 1 рівень – це мережа бездротових датчиків,
- 2 рівень керування,
- 3 рівень мобільних додатків.

На першому рівні відбувається контроль повітря бездротовими датчиками. На другому рівні дані вимірювань відправляються на сервер через бездротову точку доступу до Інтернету. Сервер отримує дані, проводить необхідні розрахунки та відповідає за збереження отриманої інформації. Для зменшення собівартості такої системи доцільно сервер бази даних та веб-сервер об'єднати в одну апаратну платформу. Для зручного доступу користувачів має бути розроблено спеціальне програмне забезпечення, яке дозволить взаємодію з веб-додатком у локальній мережі або через Інтернет.

Сервер. Задля забезпечення автоматизованого моніторингу якості повітря на підприємстві необ-

хідно використовувати швидкісний сервер, потужності якого дозволять обробляти інформацію з датчиків і видавати результати у реальному часі.

Цей сервер буде мати наступні основні функції:

1. Збір даних з датчиків та їх збереження у базі даних;
2. Аналіз даних та визначення рівня забруднення повітря;
3. Візуалізація даних та забезпечення доступу до них за допомогою графіків та таблиць;
4. Повідомлення про аварійні ситуації через електронну пошту або SMS.

Для забезпечення надійності та безпеки даних, сервер має мати декілька резервних копій, а також механізм захисту від несанкціонованого доступу до інформації.

Окрім цього, можна розглянути використання хмарних сервісів для зберігання та обробки даних. Це може забезпечити більшу масштабованість та доступність до інформації, а також зменшити витрати на обладнання та його підтримку.

При виборі сервера необхідно враховувати також вимоги до програмного забезпечення, яке буде використовуватися для обробки даних. Наприклад, для аналізу та обробки даних може бути використана спеціалізована програмна апаратура, така як Apache Hadoop або Apache Spark.

Крім того, важливо враховувати можливості інтеграції з іншими системами, які будуть використовуватися в процесі дослідження. Наприклад, можна розглянути можливість інтеграції з системами збору даних або з системами управління базами даних.

Система сповіщення. Система сповіщення забезпечує оперативний інформування користувачів про зміни рівня забруднення повітря і може бути налаштована на різні типи сповіщень, такі як SMS, електронна пошта, голосове повідомлення або повідомлення в мобільних додатках.

Система сповіщення буде забезпечувати оперативну інформацію про зміну якості повітря в приміщеннях підприємства. Це дозволить оперативно реагувати на проблеми та запобігати їх поширенню. Крім того, така система допоможе зменшити ризик забруднення повітря та покращити умови праці для працівників підприємства.

Сповіщення в додатку на телефон можуть бути дуже корисними для користувачів, які хочуть отримувати оперативну інформацію про якість повітря в їхньому регіоні. Для цього можна розробити спеціальний додаток для мобільних пристроїв, який буде підключатись до сервера і отримувати актуальну інформацію про забруднення повітря.

Системи керування. Частина системи, що посередньо впливає на якість повітря, це система вентиляції та кондиціонування повітря. Вона складається з ряду компонентів, таких як вентилятори, фільтри, рекуператори тепла, кондиціонери та інші.

Завданням цієї системи є забезпечення оптимальних параметрів повітря всередині приміщення, таких як температура, вологість та чистота повітря. Для цього вона виконує ряд функцій:

1. Подача свіжого повітря в приміщення. Це важливо для того, щоб забезпечити достатню концентрацію кисню та вивести з приміщення вуглекислий газ, який виділяється при диханні та інших процесах.

2. Видалення забрудненого повітря з приміщення. Це може бути вуглекислий газ, аміак, водяна пара та інші шкідливі речовини, що накопичуються в повітрі протягом дня.

3. Очищення повітря від шкідливих речовин. Для цього використовуються спеціальні фільтри, які затримують пил, дим, бактерії та інші забруднення.

4. Регулювання температури та вологості повітря. Це важливо для забезпечення комфортних умов перебування людей в приміщенні.

5. Аерозольні генератори, які будуть покращувати загальний фон повітря.

Висновки. У цій статті ми розглянули важливість автоматизованої системи моніторингу якості

повітря на промислових об'єктах. Ми визначили основні складові таких систем та загальні сучасні вимоги до їх побудови. Визначили, що використання датчиків для збору даних, надійна та безпечна передача даних до центральної системи збору даних, а також правильне встановлення та обслуговування датчиків та навчання працівників є важливими складовими цієї системи. Також було відзначено, що система моніторингу повітря на промислових об'єктах повинна бути частиною комплексної програми з охорони навколишнього середовища.

В цілому, автоматизована система моніторингу якості повітря є важливим інструментом для забезпечення здоров'я та безпеки працівників та навколишнього середовища. Вона дозволяє оперативнотримувати дані про рівень забруднення повітря та вчасно реагувати на небезпечні ситуації. Використання такої системи дозволяє покращити якість повітря та зменшити негативний вплив на довкілля.

У майбутньому автоматизовані системи моніторингу якості повітря можуть бути ще більш розвинені та точніші. Застосування нових технологій, таких як штучний інтелект та машинне навчання, використання технології інтернету речей може дозволити зменшити кількість помилок та забезпечити ще більш точне вимірювання параметрів повітря.

Список літератури:

1. Fuller R, Landrigan PJ, Balakrishnan K, et al. Pollution and health: a progress update. *Lancet Planetary Health*. 2022. № 6. P. 535–547. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00090-0)
2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2021 році. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/01/Natsdopovid-2021-n.pdf>
3. Raju S, Siddharthan T, McCormack MC. Indoor Air Pollution and Respiratory Health. *Clin Chest Med*. 2020. № 41(4). P. 825–843. doi: 10.1016/j.ccm.2020.08.014. PMID: 33153698; PMCID: PMC7665158.
4. Marios P, et al. Indoor Air Pollutants and the Impact on Human Health. *Chemistry, Emission Control, Radioactive Pollution and Indoor Air Quality, InTech*, 2011. Crossref, doi:10.5772/18806.
5. Huynh T., Fakprapai S., Nguyen T. Air Quality Monitoring with Focus on Wireless Sensor Application and Data Management. *Dominique Laffly*. 2020. № 3. P. 5–27.
6. JunHo Jo, ByungWan Jo, JungHoon Kim, SungJun Kim, WoonYong Han. Development of an IoT-Based Indoor Air Quality Monitoring Platform. *Journal of Sensors*. 2020, Article ID 8749764, 14 pages. URL: <https://doi.org/10.1155/2020/8749764>
7. Okokpujie K., Noma-Osaghae E., Modupe O., John S., Oluwatosin O. A smart air pollution monitoring system. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9. P. 799–809.
8. Parmar G., Lakhani S., Chattopadhyay M. An IoT based low cost air pollution monitoring system. *Recent Innovations in Signal Processing and Embedded Systems (RISE-2017)*, Maulana Azad National Institute of Technology, BhopalAt: Bhopal, India, October 2017.
9. Живага В.В., Малахова М.О., Шевченко Д.О. Система моніторингу якості повітря на базі IoT. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2021. № 49. С. 49–57.
10. Путренко В.В., Назаренко С.Ю. Визначення якості повітря на основі інтелектуального аналізу даних дистанційного зондування. *Математичне моделювання в економіці*. 2016. № 3–4(7). С. 176–187.

Bohdan H.A., Hlushchenko M.O. GENERAL TENDENCIES IN CONSTRUCTING AUTOMATED AIR QUALITY MONITORING SYSTEMS AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Environmental pollution is one of the world's biggest environmental problems. Statistical studies have shown that over the past twenty years, the number of deaths caused by air quality has increased by 66%. This factor is directly related to the significant industrialization and urbanization of cities and the considerably increased amount of burned fossil fuels. The leading cause of air pollution is chemical components present in the emissions of industrial enterprises in the mining, processing and energy industries. Thus, the article addresses issues in developing and implementing effective automated air quality monitoring systems at industrial enterprises. The monitoring systems allow timely detection and prevention of emissions of harmful substances into the air, as well as monitoring compliance with established standards. Implementing such systems will not only allow to reduce the number of harmful emissions into the atmosphere (by controlling the effectiveness of means used to clean the air) but also improve the environment and people's health. The main tasks solved by implementing monitoring systems for harmful elements in the air at industrial enterprises include real-time automatic determination of harmful substances concentration in the air and their comparison with normative values, implementation of measures to reduce emissions once they exceed normative values, data storage, and analytical dependencies for long-term forecasting of air quality at enterprises.

In this article, we consider the importance of the automated air quality monitoring system in industrial enterprises, identify the main components of such systems and modern general requirements for their construction. The use of sensors for gathering data, their reliable and secure transmission to a central data collection system, proper installation and maintenance of the sensors, as well as employee training were identified as crucial components of the monitoring system. It was also noted that the air monitoring system at industrial facilities should be part of a comprehensive environmental protection program.

We highlighted the fundamental areas of improvement of modern automated air quality monitoring systems at industrial enterprises. That includes the development of new sensor technologies and improvement of existing ones for measuring pollutants in the air; the use of IoT (Internet of Things) technology, which allows to connect sensors to the Internet and remotely monitor and collect data from various monitoring stations; the growth in computing power and the development of analytical methods, which enables to speed up the data collection and analysis; implementation of mobile applications that provide users with air quality information in real-time based on the automated monitoring system data.

Key words: *sensor, air monitoring systems, automation, Internet of Things technologies, air quality.*

Василенко В.М.

Національний авіаційний університет

Карпенко М.І.

Національний університет харчових технологій

Пуцик М.С.

Національний авіаційний університет

Гуйда О.Г.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

РОЗРОБКА ДИЗАЙНУ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ

Ця стаття присвячена розробці дизайну мобільного додатку з метою покращення якості освітнього процесу. У сучасному світі мобільні технології стають все більш актуальними у сфері освіти. Стаття розглядає ключові аспекти розробки дизайну додатку, який допомагатиме вчителям та студентам ефективніше взаємодіяти під час навчання. У статті вивчаються сучасні підходи до розробки інтерфейсу мобільних додатків, враховуючи зручність використання, навігацію та візуальну привабливість. Автори зосереджуються на важливості адаптації дизайну до потреб користувачів з різними рівнями навчальної підготовки та віковими групами. Також розглядаються можливості використання інтерактивних елементів, графіки та мультимедійних ресурсів для підвищення зацікавленості та залученості студентів до навчального процесу. Особлива увага приділяється врахуванню принципів UX-дизайну для створення зручного та задовільного досвіду користувача. Застосування розробленого мобільного додатку може сприяти покращенню комунікації між вчителями та студентами, забезпечити доступ до актуальної інформації, завдань та ресурсів у будь-який час із будь-якого місця. Ця стаття є корисним джерелом для фахівців у галузі освіти та розробки програмного забезпечення, які зацікавлені в покращенні освітнього процесу через використання мобільних технологій. Розробка програмного забезпечення для мобільного додатку вищого навчального закладу є актуальною і значущою задачею у сучасній освітній сфері. Зростаюча популярність мобільних пристроїв серед студентів та педагогічних працівників вимагає створення зручних та ефективних інструментів для поліпшення навчального процесу та комунікації. Створення мобільних додатків передбачає вибір мови програмування, яка найкраще відповідає заданим вимогам і цілям, було проаналізовано мови програмування JavaScript, Figma, Native підхід та мова Kotlin.

Ключові слова: *Native development, фреймворки, програмування, JavaScript, Figma, Kotlin, дизайн, мобільний застосунок, освітній процес.*

Постановка проблеми. Широке розповсюдження мобільних пристроїв призвело до розробки багатьох мобільних додатків, спрямованих на покращення якості навчального процесу. Метою розробки застосунку є проектування та дизайн мобільного додатку, який дозволить підвищити якість навчального процесу. В останні роки спостерігається значне зростання використання мобільних додатків в освіті. Мобільні додатки стали потужним інструментом, який може допомогти викладачам та студентам у навчальному процесі. Запропонований мобільний додаток спрямований на підвищення якості навчального

процесу шляхом надання студентам зручного та ефективного способу доступу до навчальних процесів та взаємодії з викладачами та одногрупниками. Використання мобільних додатків в освіті привертає значну увагу дослідників в останні роки. Кілька досліджень показали, що використання мобільних додатків в освіті може покращити залучення студентів, посилити співпрацю та полегшити набуття знань і навичок [1]. Окрім того, значна кількість користувачів обирають саме мобільну платформу за рахунок високої мобільності та доступності [2]. Розробка мобільного додатку, здатного вдосконалити навчальний

процес, є особливо актуальною в умовах війни, коли більшість навчальних закладів перейшли на онлайн-навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для досягнення цієї мети, було проведено детальний огляд періодичних наукових видань, вийшли за останні 5–10 років. Основні результати аналізу попередніх досліджень включають: Tashfeen Ahmad з університету Вест-Індії «Сприйняття студентами використання мобільних телефонів як засобів навчання» [1] присвячена дослідженню впливу інтеграції мобільних телефонів в навчальну діяльність. В роботі колективу науковців з університету Беккок, яку опублікували в Американському науковому журналі для техніки, технології науки (ASRJETS) [3] проведений детальний порівняльний аналіз стратегій розробки, у якому описуються всі складнощі native, web та hybrid архітектур. У статті Robin Nunkesser з University of Applied Sciences в Хаммі [4] представлено нову таксономію (таксономія – це ієрархічно збудована система цілей і результатів від простої до складної системи) архітектур: на додачу до трьох основних native, web та hybrid запропоновано Endemic Apps, Web Apps, Hybrid Web Apps, Hybrid Bridged Apps, System Language Apps та Foreign Language Apps. Наведено про переваги та недоліки кожного підходу. Праця Ben Frain четвертого видання адаптивного веб-дизайну із HTML5 і CSS [5] докладно описує Responsive Web Design (RWD), а саме Front-End Web Development (увесь синтаксис, роботу з CSS, HTML, медіа, контейнерами та іншими важливими моментами Front-End розробки). Стаття з 13 Іберійської конференції з інформаційних систем і технологій (CISTI) [6] представляє нову концепцію прогресивного веб-додатку, створену Google, щоб нормалізувати всі веб-розробки; описано поточний стан веб-технологій; представлено основні переваги веб-додатків у порівнянні з native підходом.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення максимальних результатів та мінімізації витрат необхідно керуватися основами системного аналізу. По-перше було проведено опитування студентів та викладачів Національного авіаційного університету (НАУ), щоб визначити їхні потреби та очікування щодо мобільного додатку для освіти. В результаті опитування було розроблено прототип мобільного додатку, який був протестований групою студентів та викладачів кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки НАУ. Відгуки цієї групи були використані для доопрацювання додатку та покращення його функцій. Запропонований мобільний додаток був розробле-

ний з використанням комбінації різних методологій. По-друге, було проведено огляд існуючих мобільних додатків, спрямованих на підвищення якості навчального процесу, таких як Google Classroom, Microsoft teams, Quizlet тощо. Цей огляд дозволив виявити сильні та слабкі сторони існуючих додатків та визначити найбільш важливі функції, які повинні бути включені в запропонований додаток, а саме:

Головна сторінка: можливість побачити за яким тижнем зараз відбувається навчання; швидкий доступ до домашніх завдань; можливість швидко переглянути, які пари будуть завтра; таймер, що вказує на те, через скільки часу розпочнеться наступна пара; кнопка «Перейти до профілю»:

- Розклад: розклад занять за вибором тижня та дня тижня; лекції виділяються синім кольором, а практичні завдання – ні; розклад дзвінків.
- Домашні завдання: можливість внесення домашніх завдань у список; можливість редагувати домашні завдання.
- Контакти: представлено прізвище викладача, його ініціали, дисципліну, яку він викладає, номер телефону та аватар; представлено прізвище одногрупника, його ініціали, номер телефону та аватар (свій номер студенти та викладачі вказують при реєстрації, а аватари автоматично синхронізуються з корпоративною поштою університету);
- Профіль: представлена особиста інформація – так звана «картка студента»: його корпоративна пошта, ПІБ, номер телефону, назву факультету, на якому він навчається, назва його групи, номер його підгрупи, та ім'я його куратора; кнопка «налаштування»; кнопка «редагувати профіль», де можна змінити свій аватар, номер телефону тощо; можливість увімкнути темну тему.

По-третє, було розроблено прототип мобільного додатку, який був протестований групою студентів та викладачів. Відгуки цієї групи були використані для доопрацювання додатку та покращення його функцій.

Дизайн був розроблений у графічному редакторі Figma. Це зручний графічний редактор, в якому можна створювати: прототипи web-сайтів і додатків; окремі елементи інтерфейсу: іконки, кнопки, форми і багато іншого; векторні зображення та ілюстрації, інше. Основною зручністю є багатокористувацький режим редагування: досить відправити посилання на проект, відкривши доступ для редагування, і інший дизайнер зможе вносити в нього свої зміни.

Інтерфейс розробленого мобільного додатку для вищого навчального закладу повинен бути

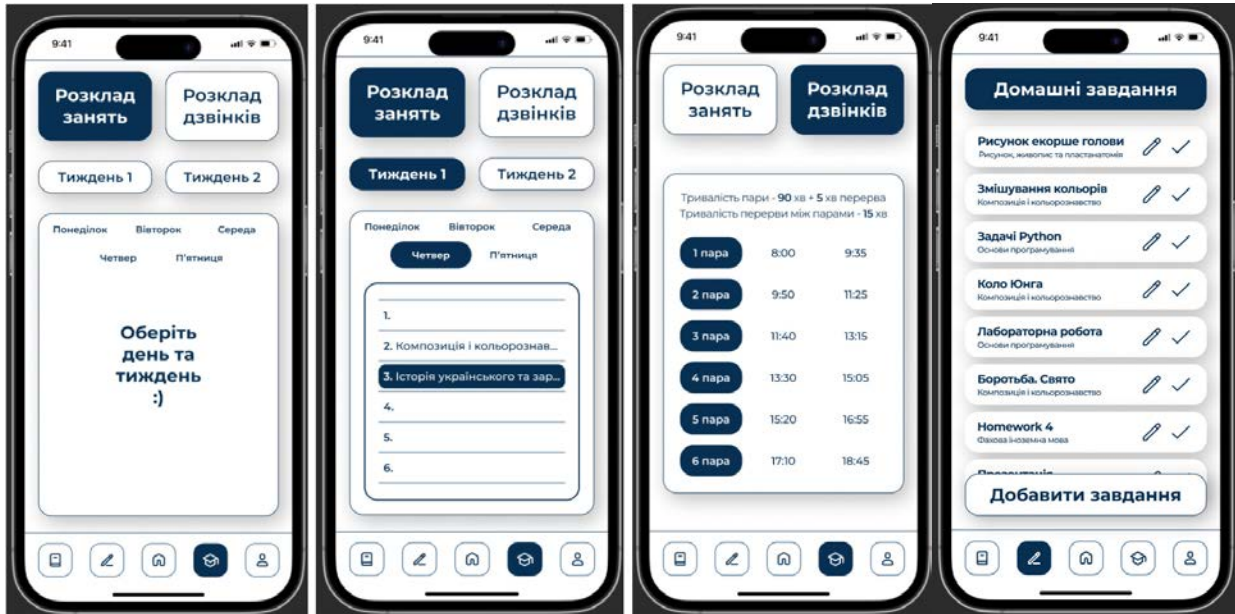


Рис. 1. Прототип інтерфейсу мобільного додатку для студентів НАУ

добре продуманим, зручним та легким у використанні. Ось деякі ключові аспекти враховувати при проектуванні інтерфейсу:

1. **Простота та Інтуїтивність:** Інтерфейс повинен бути легким у використанні навіть для тих, хто не має досвіду з подібними додатками. Головні функції мають бути доступні на перший погляд.

2. **Зручна навігація:** Забезпечте логічну інформаційну структуру, яка дозволить користувачам швидко знаходити потрібні розділи та ресурси. Використовуйте меню, вкладки або інші елементи навігації.

3. **Адаптація до різних пристроїв:** Розгляньте різні розміри екранів та орієнтації пристроїв (горизонтальна/вертикальна). Інтерфейс повинен добре виглядати та працювати на різних пристроях.

4. **Привабливий дизайн:** Використовуйте приємні кольори, адекватний шрифт та чітку графіку, щоб зробити інтерфейс привабливим і сприяти комфортному читанню та взаємодії.

5. **Інтерактивність:** Додайте інтерактивні елементи, такі як кнопки, покажчики, анімацію тощо. Вони можуть поліпшити взаємодію та зробити додаток цікавішим.

6. **Персоналізація:** Дайте користувачам можливість налаштувати деякі аспекти додатку, наприклад, обрати певний стиль відображення інформації або налаштувати сповіщення.

7. **Оптимізація швидкості:** Забезпечте швидку реакцію додатку на дії користувача, щоб уникнути незручностей і часових затримок.

8. **Спеціальні функції:** Розгляньте можливість додати додаткові функції, такі як розклад занять, електронний журнал, можливість завантаження матеріалів тощо.

9. **Тестування:** Проведіть тестування інтерфейсу з реальними користувачами, щоб виявити можливі недоліки та покращити його перед випуском.

Актуальність розробки програмного забезпечення для мобільних додатків для вищих навчальних закладів визначається декількома факторами:

1. **Зручність та доступність:** Студенти та викладачі все частіше використовують мобільні пристрої як головний спосіб отримання інформації. Мобільний додаток надає зручний доступ до розкладу занять, матеріалів для навчання, завдань та інших ресурсів в будь-який час і з будь-якого місця.

2. **Покращення комунікації:** Мобільний додаток може стати платформою для взаємодії між викладачами та студентами. Це сприяє швидкій обмін інформацією, спільному вирішенню питань та підтримці.

3. **Оптимізація навчання:** Використання мультимедійних ресурсів, інтерактивних елементів та графіки може поліпшити сприйняття навчального матеріалу та зробити навчання більш ефективним.

Проте, розробка програмного забезпечення для мобільного додатку вищого навчального закладу також вносить свої виклики:

1. **Різноманітність платформ:** Розробка додатку для різних мобільних платформ (iOS, Android тощо) може потребувати додаткового зусилля та ресурсів.

2. **Безпека та конфіденційність:** Зберігання та обробка особистої інформації студентів і викладачів вимагає високого рівня кібербезпеки.

3. **Унікальні потреби:** Різні вищі навчальні заклади мають свої особливі вимоги та потреби, що може ускладнити процес розробки універсального додатку.

4. **Технічна складність:** Врахування різноманітних функцій, інтерфейсів та можливостей може створити технічні труднощі.

Усі ці аспекти потребують ретельного планування, проектування та розробки, але успішно реалізований мобільний додаток може відкрити нові можливості для покращення якості освітнього процесу, комунікації та залучення студентів до навчання

Загалом, інтерфейс мобільного додатку повинен бути зорієнтований на забезпечення зручного та приємного користування, а також відповідати особливостям навчальної діяльності та потребам користувачів вищого навчального закладу. Наступним кроком був вибір напрямку розробки. На момент сьогодення існує три шляхи розробки мобільних додатків:

Native – передбачає використання офіційних мов програмування та інструментів, які надаються платформою (наприклад, Java або Kotlin для Android та Objective-C або Swift для iOS). Native надає повний функціонал пристрою, який обмежений лише вміннями розробника та його уявою; забезпечує найвищу продуктивність та бажаний вигляд створюваного додатку [10]. Переваги native розробки: висока продуктивність; повний функціонал та інтерфейс; Недоліки native розробки: витрати на розробку та обмеження платформи (даний підхід використовується лише для однієї платформи. Якщо потрібен застосунок для іншої, то все потрібно починати з нуля); складність підтримки.

Hybrid – передбачає використання двигуна браузера в мобільному пристрої, вбудовуючи HTML-контент у native веб-контейнер (наприклад, WebView для Android, UIWebView для iOS). Гібридні додатки запускаються внутрішніми браузерами, які доступні на платформі. Фреймворки, такі як Apache Cordova (також відомий як PhoneGap), React Native, Ionic, дозволяють розробляти гібридні додатки, які можуть працювати як на Android, так і на iOS. Переваги гібридної розробки: можна поширювати через Appstore; поширюється на будь-яку платформу; гібридні програми можна застосовувати як для серверних, так і для автономних програм; гібридні про-

грами можуть отримати доступ до native функцій (наприклад, камера, мікрофон і т.д.). Недоліки гібридної розробки: слабка продуктивність (за рахунок використання двигуна браузера), на додачу міст JavaScript накладає додаткові витрати на продуктивність під час доступу до API конкретної платформи пристрою; однакова взаємодія на всіх платформах (існує певна неузгодженість, якщо наприклад, деякі пристрої мають фізичну кнопку «Назад», а на деяких телефонах кнопкою «Назад» можна керувати на екрані); велика залежність від інтернету; транслювання обмежене мостом JavaScript [3].

Web – передбачає використання стандартних веб-технологій, таких як HTML, CSS та JavaScript. Розроблені таким чином додатки по суті є мобільними версіями веб-сайтів у браузері пристрою та не вимагають упакування у контейнер додатків. Переваги web розробки: однакова взаємодія зі всіма платформами; відсутня необхідність оновлень; легке вивчення та розробка (висока швидкість розробки) за допомогою web технологій; один застосунок для всіх платформ; використання обробки лише на сервері, а не на пристрої користувача; більш портативна за native. Недоліки web розробки: обмежений доступ до функцій та функціоналу (немає можливості підключити контакти або камеру та мікрофон і т.п.); залежність від інтернету; доступ лише через URL-адреси (а не через магазин програм); менша продуктивність у порівнянні з native архітектурою [3,4].

Окрім того існують фреймворки (frameworks – набір готових інструментів, правил і шаблонів, які допомагають програмістам розробляти програми або веб-додатки) та маніфести (manifest – обов'язковий файл у форматі XML, який містить інформацію про додаток, використовується для представлення важливих метаданих про додаток), які можна (і потрібно) використовувати в процесі розробки. Використання фреймворків також має як переваги, серед яких варто виділити: пришвидшення розробки, кросплатформність (можливість застосування додатку більше, ніж на одній операційній системі), спільний код (один код можна використовувати для різних платформ), велику спільноту; так і недоліки: обмеження функціональності (в тому числі обмеження на доступ до низькорівневих системних функцій), залежність додатку від фреймворку, додаткова вага додатку та невисока швидкодія, обмеження можливості UI/UX (User Interface – зовнішній вигляд та інтерактивний дизайн додатку або веб-сайту; User Experience – загальні враження користувача від

взаємодії з продуктом) (фреймворки можуть мати обмежені можливості для налаштування вигляду та взаємодії з користувачем. Це може призвести до обмеженого контролю над UI/UX додатком, особливо якщо потрібен унікальний та індивідуальний дизайн).

Web розробка розбивається на дві категорії, а саме Responsive Web Design (RWD) – це підхід до верстки веб-сторінок, який створює оптимальне відображення та взаємодію веб-сторінок на різних пристроях і розмірах екранів. Основна мета RWD полягає в тому, щоб веб-сторінки були легко читабельними, навігація була зручною і елементи контенту пристосовувалися до розміру екрану, забезпечуючи оптимальний користувацький досвід незалежно від пристрою [5].

Progressive Web Apps (PWA): – це підхід до розробки мобільних пристроїв, спрямований на подолання труднощів і недоліків попередніх архітектур. Застосування цього підходу створює особливий тип веб-програм, які не потребують встановлення перед використанням і обслуговуються з віддаленого сервера через захищений протокол передачі гіпертексту (HTTPS), на відміну від звичайних мобільних веб-програм, які можуть обслуговуватися за допомогою HTTP [3]. Різниця між PWA та гібридним способом розробки полягає в наступних речах: повна підтримка екрану (без браузера), миттєве завантаження push-сповіщень навіть в офлайн стані.

Переваги PWA: швидке завантаження; мала вага (в середньому 2 МБ); можливість індексації (наприклад, можливість відстежити певні дії користувача, щоб створити адаптивний веб-дизайн); можливість використання push-сповіщень.

Недоліки PWA: відсутність можливостей App Store; високе енергоспоживання; труднощі з доступом до певних функцій (наприклад, PWA не можуть отримати доступ до NFC пристрою, Bluetooth, камери і т.п.).

Варто уточнити що мається на увазі під web-програмою. Різниця між веб-сайтом та веб-програмою досить розмита. Веб-програма – це взагалі більше веб-сайт, ніж програма, однак сутність сайту більше полягає у відображенні, а програми у взаємодії з користувачем. Наприклад, сайт новин буде «веб-сайтом», а електронна таблиця або спільний календар будуть веб-«додатками». Найпоширенішим прикладом веб-програм є програми Google, такі як Gmail, Google Docs, Spreadsheets і Slides. Підсумовуючи перелічені вище факти необхідно провести аналіз

для визначення найкращого підходу відповідно до нашого конкретного випадку. Нашою основною метою є розробка мобільного додатку для студентів та викладачів з розкладом, контактами та домашніми завданнями.

Оскільки перед нами стоять вимоги перед дизайном, розглядаємо наступні можливі шляхи реалізації: нативний (native), гібридний (hybrid), веб-додаток (web), прогресивний веб-додаток (PWA) та адаптивний дизайн (RWD). Нативний підхід дозволяє реалізувати будь-який дизайн додатку, але вимагає складної розробки для кожної платформи. Інші архітектури обмежені так чи інакше.

Гібридна розробка обмежена фреймворками (гібридні рішення апріорі програють нативним рішенням), неможливо зробити більш-менш складний UI: наприклад, браузер може вирішити, що необхідно перемалювати сторінку і весь інтерфейс починає блимати при навігації, а також гібридні фреймворки виходять з затримкою відносно нових версій операційних систем і тоді постає питання чекати оновлень або підтримувати застосунок власноруч. Дзеркальна ситуація до повільного випуску оновлень: якщо не ставити фіксовані версії плагінів, внаслідок оновлень білд мобільного застосунку може просто «розсипатись» (перестати запускатись).

PWA – це веб-сайт, створений за допомогою веб-технологій, який діє як додаток і не потребує встановлення як нативний додаток. Він відносно легко реалізовується, однак така архітектура має наступні недоліки: обмежені можливості фонові роботи (немає повного контролю над фоновією роботою і поведінкою після закриття додатку); не має прямого доступу до деяких функцій пристроїв, таких як контакти, календар, Bluetooth, NFC та інші (деякі з цих функцій можуть бути доступні через веб-API, однак їх використання може бути обмеженим); дизайн може відрізнятись на різних платформах; PWA потребує доступу до Інтернету для своєї роботи. Вони можуть працювати в офлайн-режимі, але обмежені функціональні можливості можуть бути доступні без Інтернет-з'єднання [7]; реалізувати PWA можна на більшості, але не на всіх пристроях [8].

Web – додатки та RWD побудовані на базі веб-технологій, таких як HTML, CSS та JavaScript, і мають обмежений доступ до функцій пристрою; обмеженість офлайн режиму, залежність від браузера та інтернету. Звичайно, завжди можна зробити щось інакше, додати елементи, які будуть реалізовувати непідйомні для архітектур задачі, такі елементи називаються «костилі». Проте чим

складніше проєкт, тим більше «костилів» знадобиться [9, 10]. Таким чином, ми прийшли до висновку, що native підхід є найкращим з огляду на вимоги щодо дизайну.

Розробка Native додатку пропонується реалізувати на статично типізованій мові Kotlin. Однією з найбільш істотних відмінностей між Kotlin і Java є синтаксис. Kotlin має більш стислий синтаксис, ніж Java, що означає, що для виконання тих самих операцій потрібно менше коду. І Kotlin, і Java компілюються в байт-код, який працює на JVM, що означає, що вони мають подібні характеристики продуктивності. Однак, в деяких випадках Kotlin має деякі переваги в продуктивності перед Java. Наприклад, функція нульової безпеки Kotlin може допомогти зменшити кількість винятків під час виконання та покращити загальну продуктивність програми. Kotlin підтримує лямбда-вирази, функції вищого порядку та функції розширення.

Сукупність цих властивостей робить дану мову програмування ідеальним варіантом для створення мобільного додатку.

Висновки. Створено унікальний дизайн мобільного додатку, були виявлені сильні та слабкі сторони існуючих стратегій розробки, а також визначені та застосовані найбільш важливі функції, які повинні бути включені в додаток. В результаті аналізу визначено найбільш ефективні способи та засоби розробки мобільних додатків: Native підхід та мова Kotlin. Запропонований мобільний додаток має потенціал для підвищення якості освітнього процесу шляхом надання студентам зручного та ефективного способу доступу до навчальних матеріалів та взаємодії з викладачами та одногрупниками. Додаток простий у використанні та доступний з будь-якого місця і в будь-який час. Додаток можна вдосконалювати, додаючи додаткові функції.

Список літератури:

1. Ahmad T. Student perceptions on using cell phones as learning tools. PSU Research Review. 2020. Vol. 4, no. 1. P. 25–43. URL: <https://doi.org/10.1108/prr-03-2018-0007> (дата звернення: 21.08.2023).
2. Pal D., Vanijja V. Perceived usability evaluation of Microsoft Teams as an online learning platform during COVID-19 using system usability scale and technology acceptance model in India. Children and Youth Services Review. 2020. Vol. 119. P. 105535. URL: <https://doi.org/10.1016/j.childyouth.2020.105535> (дата звернення: 21.08.2023).
3. Adetunji, O., Ajaegbu, C., Otuneme, N., & Omotosho, O. J. Dawning of Progressive Web Applications (PWA): Edging Out the Pitfalls of Traditional Mobile Development. Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci. (ASRJETS). 2020. Vol. 68(1). P. 85–99.
4. Nunkesser R. Beyond web/native/hybrid. ICSE '18: 40th International Conference on Software Engineering, Gothenburg Sweden. New York, NY, USA, 2018. URL: <https://doi.org/10.1145/3197231.3197260> (дата звернення: 21.08.2023).
5. Frain, B. Responsive Web Design with HTML5 and CSS: Build future-proof responsive websites using the latest HTML5 and CSS techniques. Packt Publishing Ltd. 2022. 498 p.
6. Fortunato D., Bernardino J. Progressive web apps: An alternative to the native mobile Apps. 2018 13th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), Caceres, 13–16 June 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.23919/cisti.2018.8399228> (дата звернення: 21.08.2023).
7. Tandel S.S., Jamadar A. Impact of Progressive Web Apps on Web App Development. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (A High Impact Factor, Monthly, Peer Reviewed Journal). 2018. Vol. 7. Issue 9. P. 9439–9444.
8. Biørn-Hansen A., Majchrzak T. A., Grønli T.-M. Progressive Web Apps: The Possible Web-native Unifier for Mobile Development. 13th International Conference on Web Information Systems and Technologies, Porto, Portugal, 25–27 April 2017. 2017. URL: <https://doi.org/10.5220/00063537034440351> (дата звернення: 21.08.2023).
9. Shevtsiv N. A., Striuk A. M. Cross platform development vs native development. CS&SE@SW 2020: 3rd Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering, November 27 2020. Kryvyi Rih. 2020. Vol. 2832. P. 75–83.
10. Android Application Development: A Brief Overview of Android Platforms and Evolution of Security Systems / A. Sarkar et al. 2019 Third International conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC), Palladam, India, 12–14 December 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/i-smac47947.2019.9032440> (дата звернення: 21.08.2023).

Vasylenko V.M., Karpenko M.I., Putsyk M.S., Guida O.G. DEVELOPMENT OF A MOBILE APPLICATION DESIGN TO IMPROVE THE QUALITY OF THE EDUCATIONAL PROCESS

This article is devoted to the development of the design of a mobile application in order to improve the quality of the educational process. In today's world, mobile technologies are becoming increasingly relevant in the field of education. The article examines the key aspects of developing an application design that will help teachers and students interact more effectively during learning. The article examines modern approaches to the development of mobile application interfaces, taking into account usability, navigation and visual appeal. The authors focus on the importance of adapting the design to the needs of users with different educational levels and age groups. The possibilities of using interactive elements, graphics and multimedia resources to increase the interest and involvement of students in the educational process are also considered. Special attention is paid to taking into account the principles of UX design to create a convenient and satisfactory user experience. The use of the developed mobile application can help improve communication between teachers and students, provide access to relevant information, tasks and resources at any time from any place. This article is a useful resource for education and software development professionals interested in improving the educational process through the use of mobile technologies. The development of software for a mobile application of a higher educational institution is a relevant and significant task in the modern educational sphere. The growing popularity of mobile devices among students and teaching staff requires the creation of convenient and effective tools to improve the educational process and communication. The creation of mobile applications involves the selection of a programming language that best meets the given requirements and goals, the programming languages JavaScript, Figma, Native approach and the Kotlin language were analyzed.

Key words: *native development, frameworks, programming, JavaScript, Figma, Kotlin, design, mobile application, educational process.*

Волошин В.С.

Національний університет водного господарства та природокористування

Омелянюк А.А.

Національний університет водного господарства та природокористування

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ EViews ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ІНФОРМАТИЗАЦІЇ СТРАХОВОГО РИНКУ УКРАЇНИ

Досліджено динаміку зміни кількості страхових компаній України. Встановлено, що в Україні ринок страхування є незначним за обсягом активів та за рівнем споживання страхових послуг. Розраховано показник проникнення в Україні, який становить 1,4 %. Виявлено, що показник щільності страхування перебуває на дуже низькому рівні і становить 34 долари США. Побудовано математичну модель з використанням сучасного засобу автоматизації EViews. Визначено основні її переваги, а саме векторна авторегресія коефіцієнту Баєса, нелінійна оцінка ARDL, удосконалення коінтеграційного тестування та оцінки. Для моделі у середовищі EViews розглянуто такі залежні змінні як валові страхові премії та кількість договорів страхування. У якості пояснюючих змінних відібрано наступні показники: страхові резерви, валові страхові виплати, чисті страхові премії, загальні активи страховиків, сума коштів на перестраховування, компенсовані виплати перестраховиками, чисті страхові виплати. У середовищі EViews проведено кореляційний аналіз показників та тестування масиву пояснюючих змінних на мультиколіарність за VIF-індексом. За допомогою RESET-тесту програмного продукту EViews перевірено на помилки специфікації моделей. Встановлено, що усі варіанти моделі специфіковано правильно і до моделей включено усі суттєві пояснюючі змінні. Лінійна функціональна форма моделі відповідає фактичним статистичним даним. Перевірено моделі на надлишкові змінні використовуючи засіб програми EViews Redundant Variables Test – Likelihood Ratio. Аналіз отриманих даних показав, що надлишкових змінних немає. Для моделі виконувалася перевірка залишків моделі на нормальність їх розподілу на основі статистичного тесту Харке-Бера. Проведено тестування залишків на гетероскедастичність за тестами Уайта та Бройша-Пагана-Голдфі. Для оцінювання прогностичних якостей моделі було використано такі показники, як середнє абсолютне відхилення і середня абсолютна похибка. Наведено графік інтервальних прогностичних значень залежної змінної моделі у програмному середовищі EViews.

Ключові слова: програмування, математичне моделювання, Eviews, VIF-індекс, RESET-тест, тест Харке-Бера, страхування.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день інформаційні системи та технології охоплюють усі сфери життя суспільства. Не виключенням цього є ринок страхових послуг та математичне моделювання, що застосовується для даного ринку. Побудова моделей дає змогу оперативну та в повному обсязі отримати інформацію, потрібно для збалансування попиту та пропозиції, а також покращення результативних показників, таких як показник проникнення та показник щільності страхування. Досить актуальним є застосування технологій програмного забезпечення EViews для побудови економіко-математичних моделей та покращення інформатизації страхового ринку України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням застосування математичних моделей та програмних продуктів автоматизації їх побудови

для прогнозування економічних показників цікавило багатьох українських та закордонних вчених. Так, наприклад, індійський професор департаменту економіки університету Калькутти Бхаумік Санкар Кумар досліджував сучасні підходи використання EViews для економетрики, зокрема проводив аналіз економічних показників Індії з відкритих джерел на основі панельні моделі даних, моделі з фіктивною залежною змінною та економетрику часових рядів [1, с. 24–27]. Українські науковці Долгіх А. О. та Байбуз О. Г. досліджують методи побудови ансамблів моделей прогнозування часових рядів, зокрема моделі авторегресії-ковзкого середнього, моделі нейронної мережі, моделі сингулярного спектрального розкладання, адаптивних моделей, моделі групового урахування аргументів і моделі нечіткої логіки [2, с. 79]. У свою чергу Радзіховська Л. М.

разом з своїми колегами Гусак Л. П. та Панчук Ю. С. приділяють увагу особливостям практичного застосування сучасних інформаційних технологій до здійснення прогнозування макро-економічних процесів на основі економетричних моделей. Зокрема проводили прогнозування показників реального ВВП з використанням статистичного пакету Eviews [3, с. 54].

Мета статті – побудувати математичну модель на основі даних страхового ринку України із застосуванням технологій програмного забезпечення EViews для покращення інформаційного забезпечення стейкхолдерів з метою прийняття своєчасних та ефективних управлінських рішень.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до даних у Державному реєстрі фінансових установ відомо, що в Україні зареєстровано 233 страхові компанії, з яких 23 надають послуги страхування життя, а 210 – здійснюють страхування інше, ніж страхування життя [4]. Досліджуючи динаміку, можна відмітити, що починаючи з 2000-х років кількість страхових компаній була відносно сталою, однак після кризи 2008–2009 років почала зменшуватись.

Потрібно також відмітити, що в Україні ринок страхування є незначним за обсягом активів та за рівнем споживання страхових послуг. Показник проникнення, що враховує премії за полісами страхування життя лише як відсоток від ВВП [5] становить 1,4%. Для порівняння, у Європі – 5.0%. Показник щільності страхування – це один з ключових показників, який використовується для оцінки рівня розвитку страхового сектора країни [6]. Це відношення премій, зібраних страховими компаніями, до населення країни. В Україні даний показник перебуває на дуже низькому рівні і становить 34 дол. США. З-поміж 88 країн, які досліджував один із провідних світових поставальників перестраховання Swiss Re Institute [7], Україна за цими показниками споживання послуг загального страхування посідає 73 місце, а послуг страхування життя – 82 місце.

З метою дослідження страхового ринку України запропоновано побудувати економіко-математичну модель з використанням сучасних засобів автоматизації. Одним з таких засобів є EViews, що поєднує найкращі сучасні технології програмного забезпечення з передовими функціями операційних систем. Результатом виконання є сучасна програма, яка пропонує безпрецедентну потужність у гнучкому об'єктно-орієнтованому інтерфейсі. Перевагами даного додатку є інтуїтивно зрозумілий і простий

у використанні інтерфейс, потужні аналітичні інструменти, складне управління даними, якість презентації та традиційний командний рядок з інтерфейсом програмування [8].

Остання на даний момент 13 версія EViews має наступні переваги:

- векторна авторегресія коефіцієнту Басса, що змінюється в часі;
- нелінійна оцінка ARDL;
- удосконалення коінтеграційного тестування та оцінки;
- діагностика ARDL і PMG;
- можливість декількох нових підключень до бази даних;
- налаштування мови програмування в середовищі EViews;
- підтримка Jupyter Notebook.

У якості залежної змінної побудованої моделі у середовищі EViews було розглянуто наступні показники:

- y_1 – валові страхові премії, млн. грн;
- y_2 – кількість договорів, крім договорів з обов'язкового страхування від нещасних випадків на транспорті, тис. од.;
- y_3 – кількість договорів з обов'язкового особистого страхування від нещасних випадків на транспорті, тис. од.

За результатами кореляційного аналізу було прийнято у якості залежної змінної валові страхові премії (млн. грн.) за період з 2006 по 2019 рік, а у якості пояснюючих змінних, виходячи з економічних міркувань та з доступності інформації було відібрано наступні показники:

- x_1 – страхові резерви, млн. грн.;
- x_2 – валові страхові виплати, млн. грн.;
- x_3 – чисті страхові премії, млн. грн.;
- x_4 – загальні активи страховиків, млн. грн.;
- x_5 – сплачено на перестраховання, млн. грн.;
- x_6 – виплати, компенсовані перестраховиками, млн. грн.;
- x_7 – чисті страхові виплати, млн. грн.

На етапі специфікації за результатами кореляційного аналізу статистичних показників страхового ринку України, використовуючи шкалу Чеддока, було визначено які показники найбільш корелюють. Також проводилося тестування масиву пояснюючих змінних на мультиколіарність за VIF-індексом. Результатом було отримано дві економетричні моделі у яких всі пояснюючі змінні мають значення $VIF < 5$ (рис. 1):

$$y_1 = b_0 + b_4x_4 + b_7x_7 + \varepsilon \quad (1)$$

$$y_1 = b_0 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + \varepsilon \quad (2)$$

Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
X4	0.004630	23.56549	1.400730
X7	0.075827	7.809839	1.400730
C	9500342.	16.82391	NA

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X4	0.189598	0.068046	2.786312	0.0177
X7	2.974859	0.275368	10.80323	0.0000
C	-1144.863	3082.262	-0.371436	0.7174

Рис. 1. Значення VIF-індексу моделі у EViews

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

За допомогою RESET-тесту Ремзі було перевірено на помилки специфікації моделей (1) та (2). За результатами тесту Ремзі можна зробити висновок, що до моделей включено усі суттєві пояснюючі змінні. Також було перевірено моделі на надлишкові зміни використовуючи Redundant Variables Test – Likelihood Ratio.

Результати проведених досліджень наведено на рисунку 2.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X4	0.189598	0.068046	2.786312	0.0177
X7	2.974859	0.275368	10.80323	0.0000
C	-1144.863	3082.262	-0.371436	0.7174

R-squared	0.952269	Mean dependent var	29264.87
Adjusted R-squared	0.943591	S.D. dependent var	11838.43
S.E. of regression	2811.708	Akaike info criterion	18.90838
Sum squared resid	86962711	Schwarz criterion	19.04532
Log likelihood	-129.3587	Hannan-Quinn criter.	18.89570
F-statistic	109.7288	Durbin-Watson stat	1.592665
Prob(F-statistic)	0.000000		

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
X4	0.237581	0.067083	3.541611	0.0053
X5	0.542367	0.138056	3.928596	0.0028
X6	3.737839	0.947626	3.944422	0.0028
C	-1980.793	3201.259	-0.618754	0.5499

R-squared	0.954930	Mean dependent var	29264.87
Adjusted R-squared	0.941410	S.D. dependent var	11838.43
S.E. of regression	2865.546	Akaike info criterion	18.99386
Sum squared resid	82113514	Schwarz criterion	19.17645
Log likelihood	-128.9570	Hannan-Quinn criter.	18.97696
F-statistic	70.62646	Durbin-Watson stat	1.554353
Prob(F-statistic)	0.000000		

Рис. 2. Оцінені параметри наскрізної регресії у EViews

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

Отримані показники можна охарактеризувати наступним чином: R² має значення 0,952. Це означає що на 95,2% можна пояснити залежними змінними x4 – загальні активи страховиків та x7 – чисті страхові виплати, а на 4,8% іншими факторами. Оскільки параметр C є статистично не значущий було додатково проведено тест Вальда за результатами якого було вилучено параметр C з моделі (1). Тоді отримаємо нову економетричну модель:

$$y = b_4x_4 + b_7x_7 + \varepsilon \quad (3)$$

Економетрична модель (2) також характеризується високим рівнем R-квадрат (R-squared) 0,955. Залежність змінної y₁ – страхові премії, можна пояснити на 95,5% такими пояснюючими змінними як x₄ – загальні активи страховиків, x₅ – сплачено на перестраховування та x₆ – виплати, компенсовані перестраховиками, а 4,5% іншими випадковими факторами. Це свідчить про високий рівень адекватності моделі. Так само як і для першої моделі було проведено тест Вальда і за його результатами було вилучено параметр C. Отримана економетрична модель має вигляд:

$$y = b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + \varepsilon \quad (4)$$

Потрібно також відмітити, що після вилучення параметра C з двох моделей всі параметри є статистично значущі (на рівні 0,05).

Також для кожної моделі виконувалася перевірка залишків моделі на нормальність їх розподілу на основі статистичного тесту Харке-Бера (рис. 3).

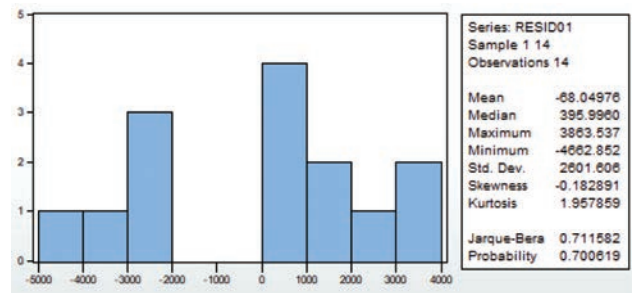


Рис. 3. Результати тесту Харке-Бера у програмному середовищі EViews

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

У результаті проведення тесту можна зробити висновки, що залишки розподілені за нормальним законом тільки в другому варіанті, адже JB < x². У першій моделі JB > x² і тому відхиляється гіпотеза про нормальний розподіл залишків.

Тестування залишків на гетероскедастичність проводилося за двома тестами Уайта та Бройша-Пагана-Голдфі. Результати тестів представлено на рисунку 4 та 5.

Отримані результати тестів Уайта та Бройша-Пагана-Голдфі свідчать про відсутність у моделях гетероскедастичності. Оскільки значення є більші за 0,05.

Для оцінювання прогностичних якостей кожної моделі було використано такі показники, як середнє абсолютне відхилення (MAE – Mean Absolute Error) і середня абсолютна похибка у відсотках (VFPE – Mean Absolute Percent Error). Результати наведені у таблиці 1.

Результати оцінювання прогнозних якостей моделі у програмному середовищі EViews

№ п/п	Назва показника	Значення показника	
		Модель 3	Модель 4
1	Forecast	Y1F	Y1F
2	Actual	Y1	Y1
3	Forecast sample	1,14	1,14
4	Included observations	14	14
5	Root mean squared error	2507,894	2467,753
6	Mean absolute error	2101,539	2070,316
7	Mean abs percent error	8,696799	7,458514
8	Theil inequality coefficient	0,039986	0,039344
9	Bias proportion	0,000736	0,002110
10	Variance proportion	0,033600	0,053853
11	Covariance proportion	0,965664	0,944036

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

Heteroskedasticity Test: White

F-statistic	0.276149	Prob. F(3,10)	0.8413
Obs*R-squared	1.071093	Prob. Chi-Square(3)	0.7841
Scaled explained SS	0.385287	Prob. Chi-Square(3)	0.9433

Test Equation:
Dependent Variable: RESID^2
Method: Least Squares
Sample: 1 14
Included observations: 14

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	7084047.	5491614.	1.289976	0.2261
X4^2	-0.001843	0.004793	-0.384433	0.7087
X4*X7	0.034571	0.089591	0.385877	0.7077
X7^2	-0.149542	0.319351	-0.468268	0.6496

Рис. 4. Тест Уайта у програмному середовищі EViews

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey

F-statistic	0.245766	Prob. F(2,11)	0.7863
Obs*R-squared	0.598828	Prob. Chi-Square(2)	0.7413
Scaled explained SS	0.215406	Prob. Chi-Square(2)	0.8979

Test Equation:
Dependent Variable: RESID^2
Method: Least Squares
Sample: 1 14
Included observations: 14

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	9260951.	7530657.	1.229767	0.2444
X4	-5.984892	166.2517	-0.035999	0.9719
X7	-385.0624	672.7845	-0.572341	0.5786

Рис. 5. Тест Бройша-Пагана-Голдфі у EViews

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

Після аналізу отриманих даних було обрано модель (4) для прогнозування оскільки має кращі значення таких показників як середнє абсолютне відхилення (MAE – Mean absolute error) і середня абсолютна похибка у відсотках (VFPE – Mean absolute percent error).

Для прогнозування пояснюючих змінних на 2020 рік було використано метод ковзної середньої. Отримані результати прогнозування представлено на рисунку 6.

Отримане прогнозне значення свідчить, що на 2020 рік кількість валових страхових премій спадатиме і становить 46949,32 млн. грн. Опубліковані дані за I квартал 2020 року валові страхові премії дорівнюють 11548,8 млн. грн., а в I кварталі 2019 року становили 13331,1 млн.

Висновки. Український ринок страхування є незначним за обсягом активів та за рівнем споживання страхових послуг. Так, показник проникнення становить 1,4%, що приблизно на 3% менше ніж у країнах Європейського союзу. Показник щільності страхування також перебуває на дуже низькому рівні і становить приблизно

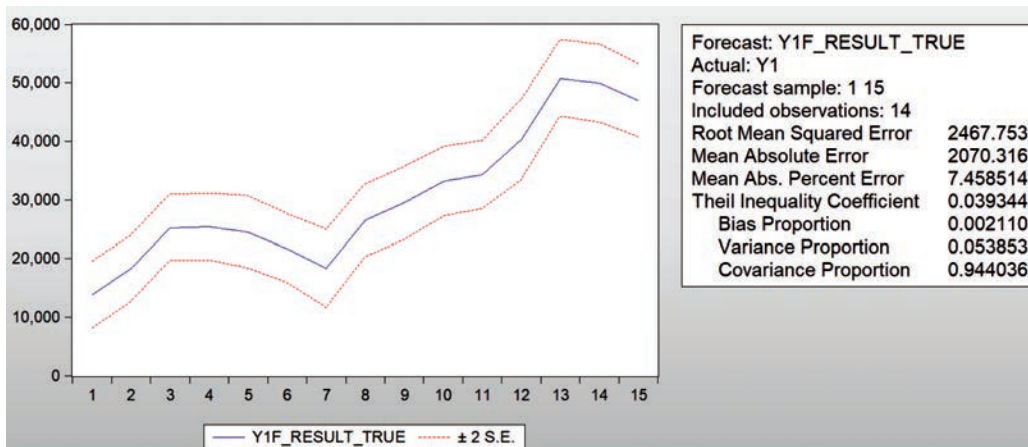


Рис. 6. Графік інтервальних прогнозних значень залежної змінної

Джерело: власна розробка виконана на основі [8]

30 доларів США. З метою дослідження страхового ринку України побудовано математичну модель за допомогою програмного продукту EViews. У якості залежної змінної побудованої моделі було вибрано валові страхові премії. У якості пояснюючих змінних відібрано наступні показники: страхові резерви, валові страхові виплати, чисті страхові премії, загальні активи страховиків, сума коштів на перестраховування, компенсовані виплати перестраховиками, чисті страхові виплати. Тестування масиву пояснюючих змінних на мультиколіарність за VIF-індексом показало

її відсутність. За результатами тесту Ремзі виявлено, що усі дві варіанти моделі специфіковано правильно. Коефіцієнт кореляції має значення 0,953, а це означає що на 95,2% можна пояснити вплив на валові страхові премії такими залежними змінними як загальні активи страховиків та чисті страхові виплати, а на 4,8% іншими факторами. Тест Харке-Бера показав, що залишки розподілені за нормальним законом. Отримані результати тестів Уайта та Бройша-Пагана-Голдфі свідчать про відсутність у моделях гетероскедастичності, оскільки значення є більші за 0,05.

Список літератури:

1. Bhaumik, Sankar Kumar. Principles of Econometrics: A Modern Approach Using EViews. *Catalogue Oxford University Press*. 2015. № 978 0198098539. URL: <https://ideas.repec.org/b/oxp/obooks/9780198098539.html> (дата звернення: 22.07.2023).
2. Долгіх А. О., Байбуз О. Г. Інформаційна технологія ансамблевого прогнозування з використанням паралельних обчислень. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2022. Том 33 (72). № 1. С. 79–86.
3. Радзіховська Л. М., Гусак Л. П., Панчук Ю. С. Побудова багатofакторної регресійної моделі засобами програмного забезпечення Eviews. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2021. Випуск № 44. С. 54–59.
4. Державний реєстр фінансових установ : веб сайт. URL: <https://data.gov.ua/dataset/nfp-drfs> (дата звернення: 22.07.2023).
5. What is Penetration Rate? *The Economic Times* : веб сайт. URL: <https://economictimes.indiatimes.com/definition/penetration-rate> (дата звернення: 22.07.2023).
6. What is insurance density? *Money control* : веб сайт. URL: <https://www.moneycontrol.com/news/mcminis/what-is-insurance-density-10101611.html> (дата звернення: 22.07.2023).
7. Swiss Re Institute : веб сайт. URL: <https://www.swissre.com/institute> (дата звернення: 22.07.2023).
8. What is Eviews? *EViews* : веб сайт. URL: <https://www.eviews.com/home.html> (дата звернення: 22.07.2023).

Voloshyn V.S., Omelianiuk A.A. APPLICATION OF EViews SOFTWARE TECHNOLOGIES TO IMPROVE INFORMATIZATION OF THE INSURANCE MARKET OF UKRAINE

The dynamics of changes in the number of insurance companies in Ukraine is researched. It is established that the insurance market in Ukraine is insignificant in terms of assets and the level of consumption of insurance services. The penetration rate in Ukraine is calculated, which is 1.4%. It is found that the insurance density indicator is at a very low level and amounts to 34 US dollars. A mathematical model is built using the modern automation tool EViews. Its main advantages are identified, namely Bayesian time-varying coefficient vector autoregression, nonlinear ARDL estimation, improvement of cointegration testing and estimation. The dependent variables for the model in the EViews environment are gross insurance premiums and the number of insurance contracts. The following indicators were selected as explanatory variables: insurance reserves, gross insurance claims, net insurance premiums, total assets of insurers, amount of funds for reinsurance, compensated claims by reinsurers, net insurance claims. The correlation analysis of the indicators and testing of the array of explanatory variables for multicollinearity by the VIF-index were performed in the EViews environment. The RESET test of the EViews software product was used to check for model specification errors. It is established that all model variants are correctly specified and all significant explanatory variables are included in the models. The linear functional form of the model is consistent with the actual statistical data. The models were tested for redundant variables using the EViews Redundant Variables Test – Likelihood Ratio. The analysis of the data showed that there were no redundant variables. For the model, the residuals of the model were tested for the normality of their distribution based on the Jarque-Bera statistical test. The residuals were tested for heteroscedasticity using the White and Breusch-Pagan-Goldfish tests. To evaluate the predictive qualities of the model, such indicators as the mean absolute deviation and the mean absolute error were used. The graph of interval predictive values of the dependent variable of the model in the EViews software environment is presented.

Key words: programming, mathematical modeling, Eviews, VIF-index, RESET-test, Jarque-Bera test, insurance.

Гейко О.О.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАВИЛЬНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ЧЕРЕЗ ВЕРИФІКАЦІЮ ТА ВАЛІДАЦІЮ

Стаття присвячена важливості процесів верифікації та валідації комп'ютерних моделей, які використовуються для моделювання та прогнозування поведінки складних систем у науці, техніці та бізнесі. Вона розкриває ключові аспекти цих процесів та їх значення для забезпечення точності та надійності моделей. Комп'ютерні моделі допомагають передбачати, аналізувати та оптимізувати поведінку різноманітних систем, від фізичних об'єктів до економічних процесів. Актуальність статті полягає в тому, що недостовірні або погано підтверджені моделі можуть призвести до неправильних рішень, втрати ресурсів та навіть небезпеки для життя та здоров'я. Довіра до комп'ютерних моделей залежить від їх вірогідності та точності. Велика частина цієї довіри походить від процесу верифікації та валідації моделей. Верифікація – це перевірка того, чи відповідає модель заданим специфікаціям та правильно реалізує певні аспекти системи. Після успішної верифікації модель має правильну структуру і повинна правильно функціонувати з технічної точки зору. Валідація, з іншого боку, відбувається в порівнянні моделі поведінки з реальними даними або іншими незалежними джерелами, переконайтеся в тому, що модель правильно створює реальні умови. Цей процес розширення застосування точність та надійність моделі. Процес верифікації та валідації може бути складним, і він може залежати від типу моделі та призначення її використання. Однією з проблем, пов'язаних з верифікацією та валідацією, є недостатність даних або невідповідність між даними та реальною системою. Це може вплинути на точність моделі та призвести до неточних прогнозів. Найкращі практики включають проведення підсумкового аналізу даних для верифікації моделі та вибір адекватних метрик для валідації. Крім того, розробники повинні документувати процес верифікації та валідації для забезпечення прозорості та повторюваності. У підсумку, верифікація та валідація є критичними етапами у розробці комп'ютерних моделей для забезпечення їх точності та надійності. Тако ж було зазначено, що досягнення найкращих результатів вимагає постійного вдосконалення та дотримання найкращих практик у процесі розробки та застосування моделей.

Ключові слова: верифікація, валідація, модель, дані, аналіз.

Постановка проблеми. Математичне та комп'ютерне моделювання є досить поширеними інструментами і використовуються в багатьох галузях науки і техніки. Для опису будь-якої реальної системи можна вибрати велику кількість можливих моделей, які будуть корисні в різних випадках [1].

Найбільш поширене тлумачення терміну валідація – це процес визначення ступеня, до якого модель є точним відображенням реального світу з точки зору її передбачуваного використання. Однак модель не може відобразити всю «реальність», тому увага має бути зужена до тієї частини, яку модель має відображати. Однак перед моделлю не поставлено завдання ідеального всебічного вигляду. Насправді необхідно абстрагувати реальність «адекватно» для очікуваного використання моделі. Таким чином, валідація моделі відноситься до діяльності, призначеної для визначення корисності моделі, наприклад: міра, до якої модель придатна для використання за призначенням; чи

переваги від підвищення корисності моделі переважають витрати; чи допоможе це вам отримати кращі результати; наскільки добре працює певна модель порівняно з альтернативними моделями [2].

У науці моделювання може бути одним із етапів дослідження, необхідним для кращого розуміння природного явища. Моделі можуть бути особливо корисними при плануванні експериментів для перевірки гіпотез. Таким чином, методи розробки моделей і комп'ютерного моделювання стають центральною і природною частиною наукового методу. Моделі та відповідне комп'ютерне моделювання можуть бути корисними для прогнозування чи прийняття рішень, наприклад щодо зміни клімату, прогнозування погоди чи оцінки майбутніх змін у якості повітря чи води. Вони також можуть мати пояснювальну роль і можуть бути розроблені як частина спроби об'єднати всю доступну інформацію про конкретну природну систему в зручній і стислій формі опису,

до якої можуть отримати доступ дослідники з різних груп у всьому світі. Однак більш важливий тип застосування передбачає використання цих методів для підтримки процесу проектування та створення прототипів або для допомоги в процесі прийняття рішень. Моделі часто є життєво важливими для подолання компромісів у процесі проектування, а належним чином перевірені моделі та комп'ютерне моделювання тепер надають докази, які регулярно використовуються для забезпечення основи для сертифікації продуктивності, безпеки та надійності критично важливих для безпеки та цінних систем[3]. На рисунку 1 зображено життєвий цикл комп'ютерної моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Книга [1] є важливим джерелом інформації про верифікацію та валідацію комп'ютерних симуляційних моделей. Автор, D.J. Murray-Smith, є відомим вченим у галузі моделювання та симуляції. Книга пропонує глибокий огляд теоретичних аспектів, методів та практик верифікації та валідації.

У перших розділах книги розглядаються концептуальні аспекти моделювання, включаючи зв'язок між моделями та реальними системами. Автор пояснює значення точності та надійності моделей для успішного використання їх у різних сферах.

Після вступних розділів книга детально розглядає процес верифікації. Вона представляє різні методи верифікації, включаючи статичні та динамічні методи, і пояснює, як правильно перевірити, чи відповідає модель заданим специфіка-

ціям. Важливою частиною цього розділу є аналіз ризиків та непередбачених сценаріїв, які можуть вплинути на точність моделі.

Після цього книга переходить до розділу про валідацію моделей. Автор описує роль емпіричних даних у валідації та пояснює, як порівнювати поведінку моделі з реальними даними або даними з інших джерел. Важливою частиною цього розділу є також обговорення статистичних методів для оцінки точності моделей.

У всіх розділах книги надаються приклади успішного застосування моделей у різних галузях, таких як наука, техніка та бізнес. Ці приклади демонструють важливість верифікації та валідації для досягнення надійних та точних результатів.

Стаття [2] пропонує новий алгоритм для валідації моделей та має теоретичний та практичний підхід до проблеми. Автори статті включають D. Sornette, який відомий своїми дослідженнями в галузі статистичного фізики та економіки. Перша частина статті присвячена теоретичним аспектам валідації моделей. Автори пояснюють основні поняття та принципи, що лежать в основі їх алгоритму. Вони обговорюють необхідність забезпечення статистичної значущості даних та розглядають методи оцінки точності моделі. Далі наводяться приклади застосування алгоритму в різних областях, включаючи фізику, економіку та соціальні науки. Автори наводять результати експериментів, що підтверджують ефективність їхнього алгоритму та його спроможність забезпечувати точність та надійність моделей.

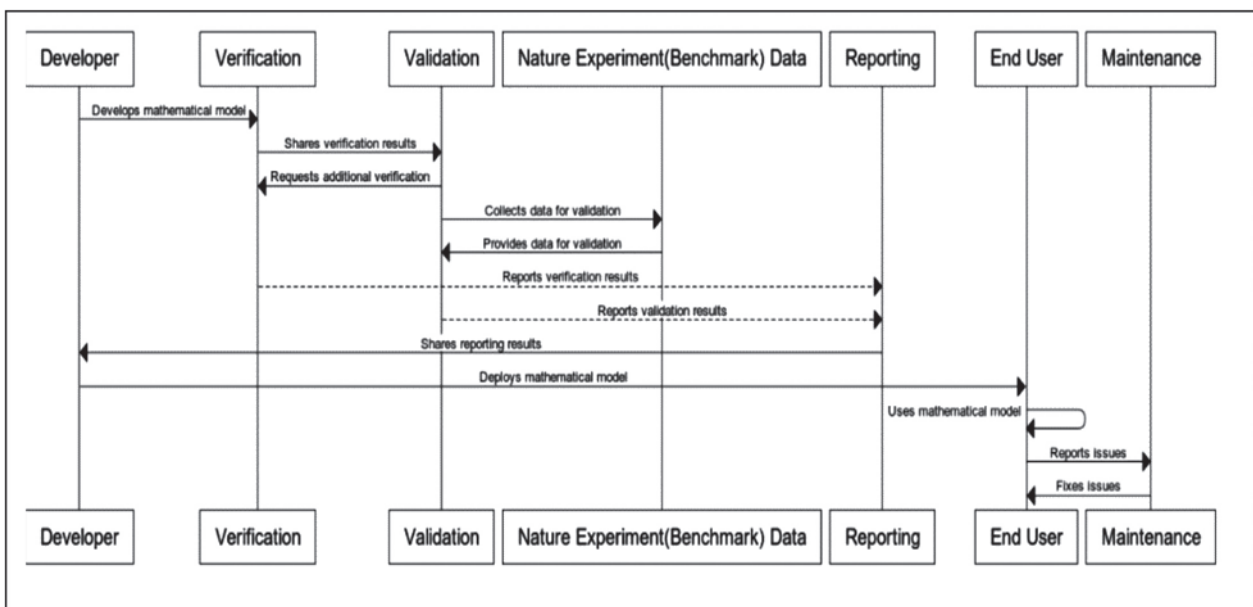


Рис. 1. Місце верифікації та валідації в життєвому циклі комп'ютерної моделі

Книга [3] зосереджена на якості програмного забезпечення та має практичний підхід до тестування та валідації програм. Автор, Jeff Tian, є досвідченим професіоналом в галузі якості програмного забезпечення. Книга починається з розділу, присвяченого основним поняттям та принципам тестування програмного забезпечення. Автор пояснює різні типи тестування та методи оцінки якості програм. Книга також містить розділи про валідацію програмного забезпечення. Вона пропонує різні методи валідації, включаючи формальну верифікацію та тестування на основі вимог. Автор надає приклади успішного застосування цих методів у різних проектах.

Стаття [8] спрямована на математичне та комп'ютерне моделювання електрооптичних систем. Автори розглядають підхід універсального моделювання та досліджують його застосування для електрооптичних систем. Стаття починається з огляду загальних принципів та методів універсального моделювання. Автори пояснюють, як цей підхід дозволяє забезпечити гнучкість та адаптивність моделей. Далі стаття переходить до розділу про застосування універсального моделювання для електрооптичних систем. Автори наводять конкретні приклади та результати моделювання, які демонструють ефективність їхнього підходу.

Загалом, всі джерела мають значимий внесок у галузь верифікації та валідації комп'ютерних моделей. Книга D.J. Murray-Smith надає комплексний огляд теоретичних та практичних аспектів процесу верифікації та валідації. Стаття D. Sornette та співавторів пропонує новий алгоритм для валідації моделей та демонструє його ефективність у різних галузях. Книга Jeff Tian спрямована на якість програмного забезпечення та має практичний підхід до тестування та валідації програм. Всі ці джерела можуть бути корисними для вчених, інженерів та дослідників, що працюють у галузі комп'ютерного моделювання та симуляції.

Мета статті – проаналізувати і пояснити важливість процесів верифікації та валідації комп'ютерних моделей для забезпечення їх точності та надійності у науці, техніці та бізнесі. Стаття розкриє основні поняття, методи та найкращі практики, пов'язані з цим процесом, а також висвітлить проблеми та виклики, що стикаються розробники. На основі успішних прикладів застосування моделей, стаття наголосить на важливості постійного вдосконалення та розширення знань для досягнення оптимальних результатів в різних сферах використання.

Виклад основного матеріалу досліджень. Верифікація – це процес забезпечення того, що комп'ютерна модель реалізована правильно й без помилок. Воно передбачає тестування окремих компонентів моделі, а також загальної поведінки моделі за низки умов. Перевірку можна виконати за допомогою різноманітних методів, включаючи аналітичні рішення, модульне тестування та перевірку коду.

Аналітичні рішення передбачають розв'язування математичних рівнянь вручну, щоб переконатися, що модель правильно реалізує заплановані алгоритми. Модульне тестування передбачає перевірку окремих компонентів моделі, таких як функції або підпрограми, щоб переконатися, що вони працюють належним чином. Огляд коду передбачає ретельний аналіз коду однією або декількома особами для виявлення будь-яких потенційних помилок або областей, які можна покращити.

Метою перевірки є виявлення та виправлення помилок у моделі перед її використанням для будь-яких програм. Це критично важливий крок у забезпеченні точності та надійності моделі, оскільки помилки в моделі можуть призвести до неправильних прогнозів і результатів.

Однією з проблем верифікації є складність комп'ютерних моделей, що може ускладнити виявлення та виправлення помилок. Крім того, результати моделі можуть бути дуже чутливими до невеликих змін у вхідних даних або припущеннях, тому важливо ретельно перевірити модель за низки умов.

Щоб подолати ці проблеми, найкращі практики верифікації включають використання кількох методів тестування та верифікації моделі, документування припущень та обмежень моделі та проведення незалежної верифікації особами, які не беруть участі в розробці моделі.

Загалом верифікація є критично важливим кроком у розробці комп'ютерних моделей, гарантуючи, що вони вільні від помилок і точно реалізують заплановані алгоритми. Завдяки ретельній перевірці розробники та користувачі можуть бути впевненими в результатах і прогнозах, створених цими потужними інструментами.

Аналітична верифікація комп'ютерних моделей

Аналітична верифікація – це техніка, яка використовується для перевірки правильності комп'ютерних моделей, зокрема тих, що базуються на математичних рівняннях, за допомогою аналітичних рішень. Техніка передбачає розв'язування рівнянь, представлених у моделі,

вручну, а потім порівняння результатів із результатами, отриманими за допомогою комп'ютерної моделі. Це порівняння допомагає виявити будь-які помилки або розбіжності в реалізації моделі.

Аналітична верифікація є потужною технікою, оскільки вона забезпечує точне розв'язання рівнянь, яке служить еталоном для перевірки точності моделі. Це особливо корисно для моделей, де рівняння добре зрозумілі та можуть бути розв'язані аналітично. Однак він може бути непридатним для більш складних моделей, де аналітичні рішення неможливі.

Незважаючи на свої обмеження, аналітична перевірка залишається важливою технікою перевірки комп'ютерних моделей. Це може допомогти виявити помилки в реалізації алгоритмів, перевірити припущення моделі та переконатися, що модель працює належним чином. Його також можна використовувати в поєднанні з іншими методами перевірки, такими як модульне тестування або перегляд коду, щоб отримати більш повну картину правильності моделі.

Перевірка моделі гібридних систем

Перевірка моделі – це техніка для перевірки коректності програмного забезпечення та апаратних систем шляхом вичерпного дослідження всіх можливих дій системи щодо набору формальних специфікацій. Гібридні системи – це системи, які демонструють як безперервну, так і дискретну поведінку, наприклад кіберфізичні системи, які включають програмні компоненти, що взаємодіють із фізичними компонентами.

Перевірка моделі гібридних систем передбачає використання математичних моделей для представлення безперервної поведінки системи та моделей дискретних автоматів для представлення дискретної поведінки. Процес передбачає перевірку того, що модель гібридної системи задовольняє набір формальних специфікацій, таких як властивості безпеки, властивості живучості та властивості доступності.

У книзі «Засіб перевірки моделі для гібридних систем» Томаса А. Хензінгера, Пей-Сінг Хо та Говарда Вонг-Тою автори надають поглиблений огляд методів перевірки моделі для гібридних систем. Книга охоплює низку тем, пов'язаних із перевіркою моделі гібридних систем, включаючи мови моделювання, аналіз досяжності, перевірку безпеки та синтез керування.

Автори підкреслюють важливість перевірки моделі для перевірки правильності гібридних систем, особливо в критично важливих для безпеки додатках, таких як автомобільні системи, аерокос-

мічні системи та медичні пристрої. Вони також обговорюють проблеми, пов'язані з перевіркою моделі гібридних систем, включаючи складність моделей і потребу в ефективних алгоритмах.

Однією з ключових переваг моделі перевірки гібридних систем є її здатність забезпечити вичерпну та формальну перевірку поведінки системи. Перевірка моделі може допомогти переконатися, що система задовольняє бажані специфікації, і може ідентифікувати потенційні загрози безпеці або вразливі місця, які не можуть бути виявлені за допомогою традиційних методів тестування [10].

Формальна перевірка програмних систем

Формальна верифікація – це методика перевірки коректності програмних систем за допомогою математичних методів. Він передбачає формальне визначення поведінки програмної системи за допомогою математичної моделі, а потім використання автоматизованих інструментів для перевірки відповідності системи специфікаціям.

Використання формальної перевірки стає все більш популярним у галузі розробки програмного забезпечення, особливо для критично важливих для безпеки систем, де помилки можуть мати серйозні наслідки. Формальна перевірка може допомогти виявити незначні помилки та вразливості, які неможливо виявити традиційними методами тестування.

У книзі «Інженерія якості програмного забезпечення» Джеффа Тіана автор надає поглиблений огляд методів і методів формальної перевірки. Книга охоплює широкий спектр тем, пов'язаних з формальною перевіркою, включаючи мови специфікацій, перевірку моделей, доведення теорем і сертифікацію програмного забезпечення.

Автор підкреслює важливість формальних методів у процесі розробки програмного забезпечення та надає вказівки щодо того, як інтегрувати формальну перевірку в життєвий цикл розробки програмного забезпечення. Він також обговорює переваги та обмеження формальної перевірки та дає практичні поради щодо ефективного використання формальних методів.

Однією з ключових переваг формальної перевірки є її здатність забезпечити математичний доказ правильності. Формальні методи можуть допомогти гарантувати, що системи програмного забезпечення не містять дефектів і вразливостей, і можуть забезпечити високий рівень впевненості, що система відповідає своїм специфікаціям. Однак формальна перевірка також може займати багато часу та потребуватиме спеціальних знань, що може ускладнити її реалізацію на практиці [9].

Валідація моделі – це процес оцінки точності, надійності та придатності комп'ютерної моделі для цілей. Він передбачає порівняння прогнозів або результатів моделі з реальними даними або спостереженнями, щоб визначити, наскільки добре модель представляє систему або явище, що моделюється. Мета валідації моделі – отримати впевненість у здатності моделі надавати точні та надійні результати.

Процес валідації моделі зазвичай включає такі кроки:

- Збір даних: релевантні дані збираються з реальних спостережень, експериментів або інших джерел, які представляють систему чи явище, що цікавить. Ці дані служать основою для порівняння з прогнозами моделі.

- Реалізація моделі: комп'ютерна модель розробляється або реалізується на основі набору припущень, математичних рівнянь, алгоритмів або інших методів представлення. Модель повинна точно відображати ключові особливості та поведінку системи, що моделюється.

- Порівняння з даними: прогнози або результати моделі порівнюються із зібраними даними. Для кількісної чи якісної оцінки узгодженості між моделлю та даними можна використовувати різні статистичні методи, такі як показники помилок, тести на відповідність або візуальний огляд.

- Аналіз чутливості: аналіз чутливості виконується, щоб зрозуміти, як змінюються прогнози моделі, коли змінюються ключові входні параметри або припущення. Це допомагає визначити найвпливовіші фактори та оцінити стійкість моделі.

- Уточнення та ітерація моделі: на основі результатів процесу перевірки модель може потребувати уточнення або коригування для підвищення її точності. Це може передбачати перегляд припущень моделі, оцінку параметрів або оновлення структури моделі.

- Документування та звітність: процес перевірки, включаючи використані дані, методи аналізу, результати та будь-які обмеження чи невизначеності, документується та звітується. Це забезпечує прозорість і створює базу для майбутніх користувачів моделі або рецензентів для розуміння та оцінки валідності моделі.

- Валідація моделі є ітераційним процесом, і для досягнення задовільного рівня впевненості в продуктивності моделі може знадобитися кілька циклів перевірки. Це важливо для зміцнення довіри до результатів моделі та для підтримки процесів прийняття рішень у різних сферах, вклю-

чаючи техніку, фінанси, науку про навколишнє середовище та охорону здоров'я.

Кількісна перевірка

Кількісні методи валідації важливі для перевірки точності та ефективності комп'ютерних моделей. Ці методи можна класифікувати по-різному, але одна загальна категорія включає п'ять категорій: прості методи прогнозування, методи, засновані на ідентифікації системи та оцінці параметрів, методи, засновані на бар'єрних сертифікатах, методи спотворення моделі та методи, засновані на аналізі чутливості параметрів [4].

- Прості методи прогнозування: ці методи включають порівняння прогнозів моделі з фактичними даними. Одним із поширених підходів є використання статистичних методів для порівняння прогнозованих значень моделі з фактичними значеннями, такими як середня квадратична помилка або коефіцієнт кореляції.

- Методи, засновані на ідентифікації системи та оцінці параметрів: Ці методи включають ідентифікацію параметрів моделі та оцінку їх значень на основі даних. Потім оцінені параметри використовуються для оцінки точності моделі. Приклади цих методів включають оцінку максимальної правдоподібності та байєсівський висновок.

- Методи, засновані на бар'єрних сертифікатах: ці методи включають визначення меж можливої поведінки моделі та порівняння цих границь із фактичною поведінкою, що спостерігається в даних. Бар'єрні сертифікати – це математичні функції, які можна використовувати для визначення цих меж.

- Методи спотворення моделі: ці методи передбачають введення помилок або збурень у модель та оцінку реакції моделі на ці збурення. Приклади цих методів включають моделювання Монте-Карло та аналіз чутливості.

- Методи, засновані на аналізі чутливості параметрів: ці методи передбачають зміну параметрів моделі в діапазоні значень і оцінку чутливості прогнозів моделі до цих змін. Це може допомогти визначити найважливіші параметри в моделі та оцінити їхній вплив на прогнози моделі.

«Фейс» валідація

Альтернативою попередньому методу є «фейс» перевірка, яка може бути дуже корисною для встановлення того, чи правильна логіка концептуальної моделі та чи виглядають обґрунтованими співвідношення «вихід-вихід» для моделі. Це може бути особливо корисним на ранніх етапах інженерного проектування та розробки проекту, коли немає прототипу системи, доступного

для тестування. На більш пізньому етапі розробки моделі, після проведення деякої кількісної перевірки, іноді можна повторно ввести елемент «фейс» перевірки, запитавши системних експертів, чи можуть вони відрізнити виміряну систему від результату моделювання [5].

Підходи на основі порівняння з іншими моделями

Підходи, засновані на порівняннях з іншими моделями, передбачають порівняння результатів нової моделі з результатами попередньо валідованих моделей або підсистем. Ці порівняння можуть надати корисну інформацію про точність і валідність нової моделі. Існує два основні методи для цих порівнянь: використання тимчасових модифікацій для представлення попередньої системи та перевірка історичних даних.

Використання тимчасових модифікацій передбачає модифікацію нової моделі для представлення повністю перевіреної та підтверженої моделі з попереднього проекту, яка схожа на новий проект. Порівнюючи результати нової моделі з результатами існуючої перевіреної моделі для тих самих вхідних даних і початкових умов, можна отримати уявлення про точність і валідність нової моделі.

Перевірка історичних даних передбачає використання результатів перевірки, отриманих під час тестування підсистем, які використовувалися в попередніх проектах і використовуються повторно або дуже схожі на підсистеми в новому проекті. Порівнюючи результати нової моделі з результатами перевірки, отриманими в попередніх проектах, можна оцінити точність і валідність нової моделі.

Обидва ці підходи мають свої переваги та обмеження. Тимчасові модифікації можуть забезпечити точніші порівняння між новою моделлю та існуючими перевіреними моделями, але також можуть потребувати багато часу та витрат. Перевірка історичних даних може бути менш дорогою та трудомісткою, але може не забезпечити настільки точне порівняння через відмінності в підсистемах, які використовувалися в попередніх проектах і поточному проекті. Тому важливо ретельно оцінити переваги та обмеження кожного підходу, перш ніж вирішити, який з них використовувати [6].

Набори даних для тестування моделі

Щоб перевірити продуктивність математичної моделі, можна використовувати широкий спектр наборів даних. Ці набори даних можна класифікувати за різними категоріями, такими як синтетичні дані, лабораторні дані, польові дані та історичні дані. Синтетичні дані генеруються

самою моделлю і можуть використовуватися для перевірки результатів моделі. Лабораторні дані збираються в контрольованих умовах у лабораторних умовах, і їх можна використовувати для перевірки поведінки моделі в контрольованому середовищі. Польові дані збираються в реальних умовах і можуть використовуватися для перевірки поведінки моделі в реальних умовах. Історичні дані збираються з попередніх експериментів і можуть використовуватися для перевірки поведінки моделі з часом.

Незалежно від типу набору даних, який використовується, важливо переконатися, що зібрані дані точні, точні та відповідають моделі, що тестується. Це можна зробити шляхом ретельного планування експерименту, вибору відповідних методів вимірювання та перевірки даних за допомогою повторних експериментів [7].

Перевірка підмоделей і загальних моделей

Під час включення моделі в бібліотеку підмоделей надзвичайно важливо переконати користувачів у довірі до процесів верифікації та перевірки, які проводилися під час включення моделі в бібліотеку. Ця впевненість життєвоважлива для забезпечення придатності та надійності моделі для конкретних застосувань. Щоб досягти цього, дуже важливо, щоб бібліотечні моделі були ретельно задокументовані, щоб надати чітку інформацію про характеристики, можливості та обмеження моделі.

Вичерпна документація дозволяє користувачам легко відповідати на будь-які запитання чи сумніви щодо придатності конкретної моделі для конкретного застосування. Документація повинна включати детальну інформацію про процеси верифікації та валідації, які пройшла модель, у тому числі використані методології, техніки та критерії. Ця прозорість дозволяє користувачам зрозуміти ступінь тестування та перевірки, виконаної на моделі, полегшуючи прийняття обґрунтованих рішень.

Крім документації, також важливо надати детальну інформацію про критерії прийнятності, які використовуються для включення моделі в бібліотеку. Ця інформація допомагає користувачам зрозуміти стандарти та вимоги, яким повинна відповідати модель, щоб вважатися придатною для включення. Маючи доступ до цих критеріїв прийнятності, користувачі можуть оцінити релевантність моделі та застосовність до своїх конкретних потреб.

Забезпечуючи ретельну документацію та наявність критеріїв прийнятності, бібліотека підмо-

делей вселяє довіру користувачів до моделей, які вона пропонує. Ця впевненість сприяє успішному використанню моделей і дозволяє користувачам приймати обґрунтовані рішення щодо їх придатності для конкретних застосувань.

Таким чином, перевірка підмоделей і загальних моделей у бібліотеці вимагає повної документації та чіткої наявності критеріїв прийнятності. Ці заходи дозволяють користувачам мати впевненість у процесах верифікації та валідації, що проводяться на моделях, і приймати обґрунтовані рішення щодо їх придатності для конкретних застосувань [8].

Висновки. Підсумовуючи, верифікація та валідація комп'ютерної моделі є ключовими процесами, які забезпечують точність і надійність обчислювальних моделей, що використовуються в різних сферах. Верифікація передбачає перевірку правильності впровадження моделі, тоді як валідація передбачає оцінку точності та релевантності прогнозів моделі порівняно з реальними спостереженнями.

Існує кілька підходів до верифікації та валідації комп'ютерної моделі, включаючи аналітичну верифікацію, формальну верифікацію, перевірку обличчя, порівняння з іншими моделями та набори даних для тестування моделі. Кожен підхід має свої сильні та слабкі сторони та підходить для різних типів моделей і застосувань.

Процес верифікації та валідації має бути вичерпним, задокументованим і прозорим, щоб переконалися, що модель підходить для своєї мети. Також важливо перевіряти та підтверджувати підмоделі та загальні моделі, щоб забезпечити їх надійність і точність при використанні у великих моделях.

Хоча неможливо досягти ідеальної верифікації та підтвердження, важливо дотримуватися встановлених найкращих практик і використовувати комбінацію підходів для підвищення впевненості в результатах моделі. Належна верифікація та валідація можуть допомогти запобігти дорогим помилкам і підвищити довіру до обчислювальних моделей, що призведе до кращого прийняття рішень і точніших прогнозів у різних сферах.

Список літератури:

1. D.J. Murray-Smith. Testing and Validation of Computer Simulation Models, Simulation Foundations, Methods and Applications. Springer International Publishing Switzerland, pp. 1–20.
2. D. Sornette, A. B. Davis, K. Ide, K. R. Vixie, V. Pisarenko, and J. R. Kamm. Algorithm for model validation: Theory and applications, pp 1–2 <https://doi.org/10.1073/pnas.0611677104>.
3. Bruce A. McCarl. Model Validation: An Overview with some Emphasis on Risk Models. The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library, pp. 1–5.
4. Prajna S. Barrier certificates for nonlinear model validation. In: Proceedings 42nd IEEE conference on decision and control 9–12 Dec 2003, vol. 3, pp. 3–4.
5. Bryce GW, Agnew PW. On-site investigation of electrohydraulic governors for water turbines, pp. 35–44.
6. The Mitre Corporation. Verification and validation of simulation models. In: Mitre systems engineering guide, pp. 461–469 <https://www.mitre.org/publications/technical-papers/themitre-systems-engineering-guide>.
7. Hemez F.M. The myth of science-based predictive modelling. In: Proceedings foundations'04 workshop for verification, validation and accreditation (VV&A) in the 21st century, Arizona State University, Tempe, pp. 17–17.
8. Smith M.I., Murray-Smith DJ, Hickman D. Mathematical and computer modeling of electro-optic systems using a generic modeling approach. J Def Model Simul.SS, pp. 47–60.
9. Jeff Tian. Software Quality Engineering. Wiley-IEEE Computer Society Press; 1st edition, pp. 24–70.
10. Henzinger, T.A., Ho, PH., Wong-Toi, H. HYTECH: A model checker for hybrid systems. In: Grumberg, O. (eds) Computer Aided Verification. CAV 1997. Lecture Notes in Computer Science, vol 1254. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-63166-6_48.
11. Mauro Pezze, Bicocca. Software Testing and Analysis: Process, Principles, and Techniques. pp. 3–6.

Heiko O.O. ENSURING CORRECTNESS OF COMPUTER MODELS THROUGH VERIFICATION AND VALIDATION

The article is devoted to the importance of the processes of verification and validation of computer models, which are used to simulate and predict the behavior of complex systems in science, technology and business. It reveals key aspects of these processes and their importance in ensuring the accuracy and reliability of models. Computer models help to predict, analyze and optimize the behavior of various systems, from physical objects to economic processes. The relevance of the article is that unreliable or poorly validated models can lead to wrong decisions, loss of resources and even danger to life and health. Confidence in computer models depends on their plausibility and accuracy. Much of this confidence comes from the process of model verification and validation.

Verification is checking that the model meets the specified specifications and correctly implements certain aspects of the system. After successful verification, the model has the correct structure and should function correctly from a technical point of view. Validation, on the other hand, involves comparing the behavior model with real-world data or other independent sources to ensure that the model correctly captures real-world conditions. This process of expanding the application accuracy and reliability of the model. The verification and validation process can be complex, and it can depend on the type of model and its intended use. One of the problems associated with verification and validation is insufficient data or a mismatch between the data and the real system. This can affect the accuracy of the model and lead to inaccurate predictions. Best practices include conducting summary data analysis for model verification and selecting adequate metrics for validation. Additionally, developers should document the verification and validation process to ensure transparency and repeatability. In conclusion, verification and validation are critical steps in the development of computer models to ensure their accuracy and reliability. It was also noted that achieving the best results requires continuous improvement and adherence to best practices in the process of developing and applying models.

Key words: verification, validation, model, data, analysis.

Derman V.A.

National University of Food Technologies

Kruhliak H.V.

V.I. Vernadsky Taurida National University

MATHEMATICAL MODEL FOR SELECTING PRIORITIES FOR INDICATORS OF THE MONITORING SYSTEM OF TECHNOGENIC, NATURAL AND ENVIRONMENTAL FACTORS

Software and hardware means of the automated system for monitoring environmental parameters in the zone of influence of potentially dangerous industrial facilities, which are a source of dangerous factors affecting the environment and human society, need a mathematical apparatus for the analysis and justification of the level of priorities in the program for monitoring dangerous factors and indicators of environmental environmental conditions. This mathematical model plays an important role in determining the order and sequence of collection and analysis of data on the quality of air, water, soil and other aspects of the environment for an automated system. Such automated systems of environmental monitoring allow not only to obtain information about pollution levels, chemical composition, meteorological conditions and other environmental indicators, but also to form corrective effects in the system of automated management of the state of the environment. This provides an opportunity to assess the quality of the environment, carry out functional zoning of the monitoring area and take corrective measures to reduce the impact of pollution and improve the ecological state of the environment.

The article is devoted to mathematical modeling and a systematic approach to determining priorities for the development of a system of adaptive monitoring of man-made, natural environmental factors of industrial enterprises. Features of the formation of an interval scale for indices and indicators of ecosystem disturbances under the influence of industrial load are given. The peculiarity of the formation of this article is the substantiation of the approach to the ranking of priorities based on the expert-analytical assessment of threats from man-made loads on the territory of the industrial enterprise based on the quantitative assessment of indicators of ecosystem violations. The developed model can be presented in the form of a comprehensive procedure for the formation of recommendations to managers and individuals, which will allow to objectively evaluate the options for supporting management decisions, analyze the possible results of their implementation, and reasonably choose the optimal solution for improving the environmental monitoring system at the enterprise.

Key words: model, labor safety, interval scale, monitoring, interpolation polynomial, ecological factor.

Introduction. Problem Statement. When developing a program for monitoring the system of man-made, natural and environmental factors in the territories and districts of an industrial enterprise, a problem often arises, which is associated with the formation of priorities for monitoring and evaluation of factors adversely affecting occupational safety. To solve this problem, it is necessary to create a fundamentally new toolkit for comprehensive assessment of different in nature factors of qualitative and quantitative nature in the system of adaptive monitoring [1, 2].

Analysis of publications. Based on the analysis of publications in the field of occupational safety, an approach can be identified to justify priorities in monitoring man-made, natural and environmental factors of areas and areas of industrial enterprise, based on methods common in probability theory,

research and evaluation of working conditions. The availability of probabilistic information is due to the peculiarities of labor protection management system – the probabilistic nature of accidents and their consequences, the investigation of accidents, occupational diseases, accidents, establishing the degree of disability, and so on. This applies, first, to the accounting of working conditions carried out as a result of attestation of workplaces and information on the economic consequences of injuries and occupational diseases, without which it is impossible to plan effective measures for labor protection. Peculiarities of application of intellectualization the process of the decision-making were substantiated in the publication [3] without taking into account the possible use of the monitoring system [4] of man-made, natural and environmental factors in the territories of industrial enterprises. Another approach is based on

the methods of expert assessments. Peculiarities of its application in view of environmental threats that are not formalized in terms of quantitative assessments, were considered to rank threats to biodiversity in Ukraine in the article [5].

The main goal of the article is to develop a mathematical model for determining priorities for monitoring natural, ecological and man-made factors that are significant and can be used in the decision-making support system for ensuring environmental safety in the natural-man-made geosystem of an industrial-urban agglomeration.

Research results. The purpose of this article is to substantiate the approach to ranking priorities based on analytical assessment of threats from man-made loads of industrial enterprises, based on quantitative assessments of indicators of ecosystem disturbances with subsequent impact on occupational safety indicators [6-8]. An appropriate methodology for their evaluation based on the application of stratification methods and interval scoring is proposed. Consider the structural and logical model of man-made impact of industrial production, which is shown in Fig. 1.

Annex 9 to the "Procedure for Investigation and Accounting of Accidents, Occupational Diseases and Accidents at Work" (Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 337 of April 17, 2019) presents a classifier of types of events, causes, equipment, machinery, mechanisms, vehicles, which led to an accident, acute occupational disease (poisoning), accident. Events coded 38–41 are referred to man-made, natural and environmental causes of occupational injuries.

Examples of defining prioritization for pollution monitoring are provided in publications [2, 3, 4, 5]. To address this task, criteria for determining prioritization are initially selected based on pollutant properties and measurement feasibility. Below are these criteria in summarized form:

1. The magnitude of actual or potential effects on human health and well-being, climate, or ecosystems (terrestrial and aquatic).
2. Susceptibility to degradation in the natural environment and accumulation in humans and trophic chains.
3. Potential for chemical transformation in physical and biological systems, leading to the formation of secondary (daughter) substances that may be more toxic or harmful.
4. Mobility and movement.
5. Actual or potential trends in concentrations in the environment and/or in humans.
6. Frequency and magnitude of impact.

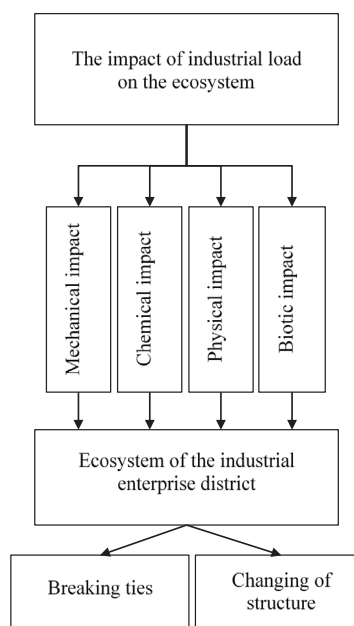


Fig. 1. Structural and logical model of man-made impact of industrial production on the ecosystem

7. Feasibility of measurements at various environmental levels.

8. Significance for assessing the state of the natural environment.

9. Suitability for widespread and consistent measurements in global and subregional ecological monitoring programs.

A large number of pollutants were assessed on a scale of 0 to 3 for each criterion. Priorities were determined based on the highest cumulative scores (higher scores indicate higher priority). These priorities, thus identified, were then divided into eight classes (higher class, i.e., lower ordinal number, indicates higher priority) with consideration of the environment and type of measurement program (impact, regional, "baseline", global). The resulting table (Table 1) of pollutants with assigned priorities and monitoring programs is provided below. Additionally, types of measurements for monitoring programs were listed for cases where pollutant measurement is challenging (indirect monitoring). For this purpose, measurements of the following parameters are needed:

a) Water quality indicators (coliform bacteria, BOD5, COD, blue-green algae, their primary productivity);

b) Soil quality indicators (salinity, pH, nitrite and organic nitrogen content, humus content);

c) Indicators of human and animal health, indicators of plant damage (incidence of diseases, genetic consequences, drug sensitivity);

d) Plant indicators of pollution.

Detailed analysis of input information, based on the principles of a systematic approach allows to form a structure of man-made, natural, environmental factors for specific typical causes of occupational injuries.

The use of an index-indicator approach to capture specific types of violations, including in the ecosystem as a result of adaptive environmental monitoring allows for a separate quantitative assessment of the impact on the relevant components of the ecosystem on a generalized scale.

in comparison with the nominal, ordinal and relative scales makes it possible not only to organize typical violations, but also to quantify and compare them.

As an interval scale for our case, you can choose a logarithmic scale or a scale obtained by the method of quadratic or cubic spline approximation [10, 11].

The method of constructing logarithmic scales that reflect the degree of disturbances in the ecosystem in the generalized indices B may be as follows:

$$B = \log_s I - \log_s a, \tag{1}$$

$$B = \frac{\ln(I/a)}{\ln(s)}, \tag{2}$$

where: a is the coefficient of proportionality that determines the limit value of the scale;

I – an indicator of typical disturbances in the ecosystem, which varies from the level considered acceptable for man-made load, to the value at which the ecosystem is disturbed,

s – is the basis of the logarithm, which determines the nature of the relationship between quantitative indicators and indices.

To determine the parameters of the interval logarithmic scale, you can use the formulas derived from expression (1):

$$B_{\max} = \frac{\ln(I_{\max}/a)}{\ln(s)}, \tag{3}$$

from here $s^{B_{\max}} = \frac{I_{\max}}{a}, a = \frac{I_{\max}}{s^{B_{\max}}}$.

Another way to convert types of indicators violations to ecosystems, I in the evaluation index B is the use of spline-functions of 2nd order. Form an orderly grid of quantitative indicators of disturbances in the system of adaptive monitoring in. The task of interpolation in this case is to construct some function – interpolant, which in the nodes of the grid takes known values. To increase the accuracy of the approximation, you can increase the number of violations, which can worsen the situation as a whole. In this case, with the increased size of the grid nodes, the degree of interpolation function is created, in accordance with the growing error in calculating the values of this function, because, for practical reasons, customs-polynomial interpolation is used. For each interval of the grid we use a polynomial of the 2nd order, which will be called the spline function of the 2nd order. The main advantage of spline functions over conventional interpolation polynomials is the stability and simplicity of calculations.

The quadratic dependence has the form:

$$B = a + b \cdot (I - I_{\max}) + c \cdot (I - I_{\max})^2 \tag{4}$$

The coefficients a, b, and c are calculated under the conditions specified. If $I = I_{\max}$, then (4) implies

Table 1
Classification of pollutants by priority classes [2, 3, 4]

Priority class	Pollutant	Medium	Type of program measurements
I	Sulphur dioxide plus suspended solids	Air	I, R, B
	Radionuclides (90Sr + 137Cs)	Food	I, R
II	Ozone	Air	I, B (in the stratosphere)
	DDT and other organochlorine compounds	Biota, human	I, R
	Cadmium and its compounds	Food, people, water	I
III	Nitrates, nitrites	Drinking water, food	I
	Oxides of nitrogen	Air	I
IV	Mercury and its compounds	Water, food	I, R
	Lead	Air, food	I
	Carbon dioxide	Air	B
V	Carbon monoxide	Air	I
	Petroleum hydrocarbons	Seawater	R, B
VI	Fluorides	Fresh water	I
VII	Asbestos	Air	I
	Arsenic	Drinking water	I
VIII	Microtoxins	Food	I, R
	Microbiological infection	Food	I, R
	Reactive hydrocarbons	Air	I

Note. B – basic (global), R – regional, I – impact.

Expert assessment of indices and indicators can be obtained using appropriate scales [9]. One of the most acceptable for quantitative indicators of disturbances in the ecosystem today is the interval scale. This scale

equality $a = B_{\max}$. Equating the first derivative $B'(I) = 0$ at a point $I = I_{\max}$, we obtain the value $b=0$. The coefficient c for the quadratic spline function is determined by the rule of calculating the minimum estimate of the index:

$$B_{\min} = a + c \cdot (I_{\min} - I_{\max})^2, \quad (5)$$

$$c = \frac{(B_{\min} - B_{\max})}{(I_{\min} - I_{\max})^2}. \quad (6)$$

In table 2 and in fig. 2 shows examples of 10-point logarithmic and quadratic scales for the indicator, which varies in the range from 1 to 150.

The methodology of substantiation of priorities in the system of ecological monitoring is based on the fact that the solution of the problem of expert assessment can be fully formalized by calculation methods, if possible by mathematical formalization of indicators of all disturbances in the ecosystem.

In practice, it is also convenient to use cubic splines $B_3(I)$ – splines of the 3rd order with a continuous first derivative. In order to construct a cubic spline, it is

necessary to determine the coefficients $a_{i0}, a_{i1}, a_{i2}, a_{i3}$, which define the interpolation cubic polynomial:

$$Q_i(x) = B_{i,3}(x) = a_{i0} + a_{i1}x + a_{i2}x^2 + a_{i3}x^3 \quad (7)$$

Let's mark:

$B_3(I_i) = B_i; B_3(I_{i+1}) = B_{i+1}; h = I_{i+1} - I_i$. We get:

$$B_3(I) = \frac{(I_{i+1} - I)^2(2 \cdot (I - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_i + \frac{(I - I_i)^2(2 \cdot (I_{i+1} - I) + h)}{h^3} \cdot B_{i+1} + \frac{(I_{i+1} - I)(I - I_i)}{h^2} \cdot m_i + \frac{(I - I_i)(I - I_{i+1})}{h^2} \cdot m_{i+1} \quad (8)$$

The value $m_i = B'_3(I_i)$ is called the slope of the spline in the node I_i .

$$B_3(I_i) = \frac{(I_{i+1} - I_i)^2(2 \cdot (I_i - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_i +$$

Let's check:
$$+ \frac{(I_i - I_i)^2(2 \cdot (I_{i+1} - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_{i+1} +$$

Table 2

Logarithmic and quadratic scales of index estimation

	The score determined by formula (1)				The score according to the formula (4)
	s = 10	s = 5	s = 2	s = 1,75	
1	7,823909	6,886717	2,771181	1,046294	1.008595
2	8,124939	7,317394	3,771181	2,284907	1.12888
5	8,522879	7,886717	5,093109	3,922263	1,484875
10	8,823909	8,317394	6,093109	5,160876	2,062
25	9,221849	8,886717	7,415037	6,798233	3,671875
50	9,522879	9,317394	8,415037	8,036845	5.95
75	9,698970	9,569323	9,000000	8,761387	7,721875
100	9,823909	9,748070	9,415037	9,275458	8.9875
125	9,920819	9,886717	9,736966	9,674202	9,746875
150	10.000000	10.000000	10.000000	10,00000	10

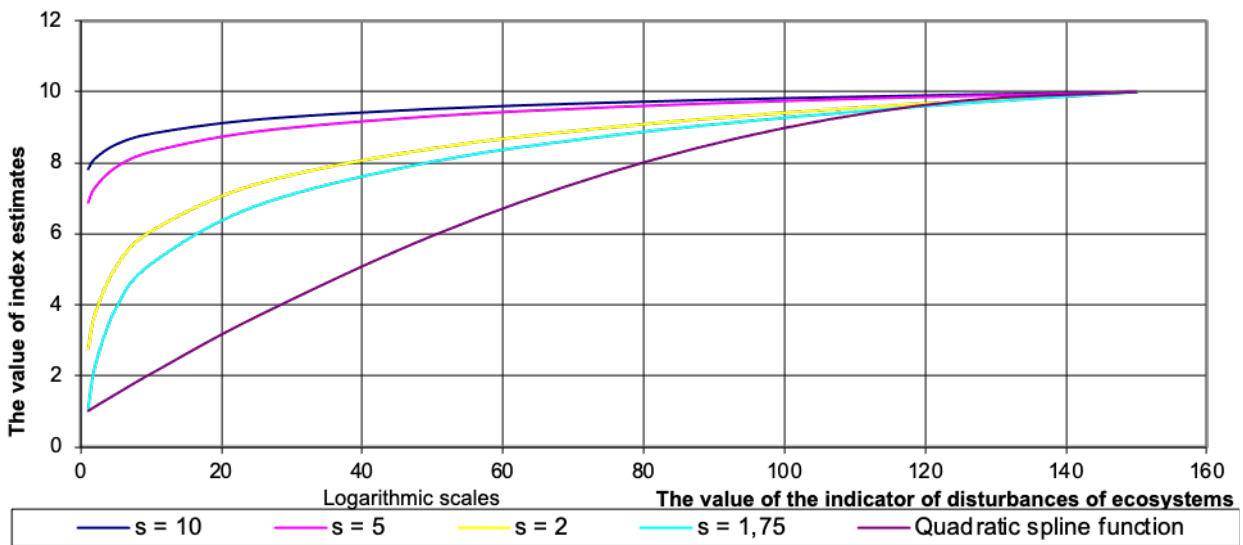


Fig. 2. Scale for evaluation of indicators of types of violations in the system of ecological monitoring

$$\begin{aligned}
 & + \frac{(I_{i+1} - I_i)^2(I_i - I_i)}{h^2} \cdot m_i + \\
 & + \frac{(I_i - I_i)^2(I_i - I_{i+1})}{h^2} \cdot m_{i+1} = \\
 & \frac{(I_{i+1} - I_i)^2 h}{h^3} \cdot B_i = \frac{h^2}{h^2} \cdot B_i = B_i.
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 B_3(I_{i+1}) &= \frac{(I_{i+1} - I_{i+1})^2(2 \cdot (I_{i+1} - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_i + \\
 & + \frac{(I_{i+1} - I_i)^2(2 \cdot (I_{i+1} - I_{i+1}) + h)}{h^3} \cdot B_{i+1} + \\
 & + \frac{(I_{i+1} - I_{i+1})^2(I_{i+1} - I_i)}{h^2} \cdot m_i + \\
 & + \frac{(I_{i+1} - I_i)^2(I_{i+1} - I_{i+1})}{h^2} \cdot m_{i+1} = \\
 & = \frac{(I_{i+1} - I_i)^2 h}{h^3} \cdot B_{i+1} = B_{i+1}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 B_3'(I_i) &= \frac{-2 \cdot (I_{i+1} - I_i) \cdot (2 \cdot (I_i - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_i + \\
 & + \frac{(I_{i+1} - I_i)^2 \cdot 2}{h^3} \cdot B_i + \\
 & + \frac{2 \cdot (I_i - I_i) \cdot (2 \cdot (I_{i+1} - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_{i+1} + \\
 & + \frac{(I_i - I_i)^2 \cdot (-2)}{h^3} \cdot B_{i+1} + \\
 & + \frac{-2 \cdot (I_{i+1} - I_i) \cdot (I_i - I_i) + (I_{i+1} - I_i)^2}{h^2} \cdot m_i + \\
 & + \frac{2 \cdot (I_i - I_i)^2(I_i - I_{i+1}) + (I_i - I_i)^2}{h^2} \cdot m_{i+1} = \\
 & = \frac{-2 \cdot h^2 + 2 \cdot h^2}{h^3} \cdot B_i + \frac{h^2}{h^2} \cdot m_i = m_i.
 \end{aligned} \tag{11}$$

After performing similar calculations, we obtain $B_3'(I_{i+1}) = m_{i+1}$.

If a polynomial of the 3rd order takes at the points I_i and, I_{i+1} respectively, the values of B_i and B_{i+1} , and derivatives at these points, respectively, m_i and m_{i+1} , then this polynomial coincides with the polynomial (8).

The slope of the interpolation cubic spline can be set differently ways. The first, or simplified, method is to use formulas for numerical differentiation of the second order of accuracy with respect to the step h .

We put: $I_{\min} = I_0$; $I_{\max} = I_N$; $h = \frac{I_N - I_0}{N}$.

$$m_i = \frac{B_{i+1} - B_{i-1}}{2h}, i = 1, 2, \dots, N - 1; \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
 m_0 &= \frac{4 \cdot B_1 - B_2 - 3 \cdot B_0}{2h}; \\
 m_N &= \frac{3 \cdot B_N - B_{N-2} - 3 \cdot B_{N-1}}{2h}.
 \end{aligned} \tag{13}$$

The second method can be used if there is a value of the B_i derivative B_i in the nodes of our grid I_i . In this case, you can put $m_i = B_i', i = 0, 1, \dots, N$.

Both methods are local, because the spline is built separately on each partial segment $[I_i; I_{i+1}]$ using formula

(7). The continuity of the first-order derivative in nodes is observed in such a construction, but the continuity of the second-order derivative cannot be guaranteed, so we assume that a cubic spline constructed by such an algorithm has a defect equal to two.

The problem of determining the cubic spline is significantly simplified by using the Hermitian polynomial. A cubic Hermitian polynomial on the interval $[I_{i-1}, I_i]$ is determined using the function B_{i-1}, B_i and derivatives B_{i-1}', B_i' . Since the values of the derivatives in the General case may be unknown, we denote them $m_i = B_3'(I_i), m_{i-1} = B_3'(I_{i-1})$. As in the previous case of constructing a polynomial, the variables m_i are the slopes of the spline at the corresponding points I_i .

The following conditions must be met:

1. Function continuity condition:

$$Q_i(x_{i-1}) = B_{i-1}; \quad Q_i(x_i) = B_i. \tag{14}$$

2. Continuity conditions of the 1st and 2nd derivatives of the function:

$$Q_i'(I_i) = Q_{i+1}'(I_i); \quad Q_i''(I_i) = Q_{i+1}''(I_i). \tag{15}$$

3. Boundary conditions:

$$Q_1'(I_{\min}) = B_{\min}'; \quad Q_n'(I_{\max}) = B_{\max}'$$

$$\text{or } Q_1''(I_{\min}) = B_{\min}''; \quad Q_n''(I_{\max}) = B_{\max}''.$$

Often use the boundary conditions of the species:

$$Q_1''(I_{\min}) = 0 \text{ i } Q_n''(I_{\max}) = 0 \tag{16}$$

The spline we get is called a natural cubic spline.

Denote $h_i = I_i - I_{i-1}$. We write the Hermitian polynomial on the interval $[I_{i-1}, I_i]$.

$$\begin{aligned}
 Q_i(I) &= B_{i-1} \frac{(I - I_i)^2(2(I - I_{i-1}) + h_i)}{h_i^3} + \\
 & + m_{i-1} \frac{(I - I_i)^2(I - I_{i-1})}{h_i^2} + \\
 & + B_i \frac{(I - I_{i-1})^2(2(I_i - I) + h_i)}{h_i^3} + \\
 & + m_i \frac{(I - I_{i-1})^2(I - I_i)}{h_i^2}.
 \end{aligned} \tag{17}$$

The conditions of continuity of the function and its first derivatives are fulfilled: $Q_i(I_{i-1}) = B_{i-1}; \quad Q_i(B_i) = B_i; \quad Q_i'(I_{i-1}) = m_{i-1}; \quad Q_i'(I_i) = m_i$.

In order to determine the spline, you need to set the conditions for the continuity of the second derivative:

$$Q_i''(I_i) = Q_{i+1}''(I_i). \tag{18}$$

In order to write these conditions in expanded form, we define a cubic Hermitian polynomial in the interval $[I_i, I_{i+1}]$, where $h_{i+1} = I_{i+1} - I_i$:

$$\begin{aligned}
 Q_{i+1}(I) = & B_i \frac{(I - I_{i+1})^2(2(I - I_i) + h_{i+1})}{h_{i+1}^3} + \\
 & + m_i \frac{(I - I_{i+1})^2(I - I_i)}{h_{i+1}^2} + \\
 & + B_{i+1} \frac{(I - I_i)^2(2(I_{i+1} - I) + h_{i+1})}{h_{i+1}^3} + \\
 & + m_{i+1} \frac{(I - I_i)^2(I - I_{i+1})}{h_{i+1}^2}.
 \end{aligned} \quad (19)$$

Now define the derivatives of the second order polynomials $Q_i(I)$ and $Q_{i+1}(I)$ at the point $I = I_i$:

$$Q''_i(I_i) = \frac{2m_{i-1}}{h_i} + \frac{4m_i}{h_i} - \frac{6(B_i - B_{i-1})}{h_i^2}; \quad (20)$$

$$Q''_{i+1}(I_i) = -\frac{4m_i}{h_{i+1}} - \frac{2m_{i+1}}{h_{i+1}} + \frac{6(B_{i+1} - B_i)}{h_{i+1}^2}. \quad (21)$$

The condition of continuity of the second derivatives has the form:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{h_i} m_{i-1} + 2\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{i+1}}\right)m_i + \frac{1}{h_{i+1}} m_{i+1} = \\
 = 3\left(\frac{B_i - B_{i-1}}{h_i^2} + \frac{B_{i+1} - B_i}{h_{i+1}^2}\right).
 \end{aligned} \quad (22)$$

For a natural cubic spline, it is convenient to use the condition:

$$Q''_1(I_{\min}) = 0; \quad Q''_{\max}(I_{\max}) = 0. \quad (23)$$

One of these methods involves assigning scores to the types of ecosystem disturbances, which are determined using information on the quantitative characteristics of the indicator in the appropriate interval scales. Quantitative data on indicators are obtained as a result of observations by the information and measurement system of environmental monitoring. When using quantitative estimates, the relevant indicators are normalized.

To analyze the structure of violations from violations of machines and mechanisms, we use the method of stratification, which allows their distribution by strata. The obtained values of scores for the relevant types of violations for the three classes of object can be used to calculate a generalized expert score assessment of threats from industrial facilities in the formation of the environmental monitoring program.

A matrix of scores B_{ho} of ecosystem disturbances of an industrial facility is formed for each object according to the following scheme:

$$B_{ho} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}. \quad (24)$$

Line matrix corresponds executions anthropogenic load factors of industrial about

the objects, column matrix – appropriate types of disturbances in the ecosystem caused by the activities of industrial enterprises. The elements of this matrix represent the scores obtained for the corresponding type of violation in the ten-point interval scale. Accordingly, for each stratum of man-made load factors.

The components of the eigenvector w_i ($i = \overline{1, m}$) are calculated in rows according to the formula:

$$\begin{aligned}
 w_1 &= [b_{11} \cdot b_{12} \cdot b_{13} \cdot \dots \cdot b_{1n}]^{1/n}, \\
 w_2 &= [b_{21} \cdot b_{22} \cdot b_{23} \cdot \dots \cdot b_{2n}]^{1/n}, \\
 &\dots \\
 w_m &= [b_{m1} \cdot b_{m2} \cdot b_{m3} \cdot \dots \cdot b_{mn}]^{1/n}.
 \end{aligned} \quad (25)$$

Normalization of factors of technogenic loading objects is carried out by calculation of normalizing coefficients k_i ($i = \overline{1, m}$) according to the formula:

$$k_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^m w_i}. \quad (26)$$

Then the priority vector is calculated V_{eo} , which consists of components ($l = \overline{1, L}$), that are integral estimates of the corresponding first object for the corresponding n stratum:

$$\begin{aligned}
 V_{eo1} &= k_{eo11} \cdot w_{eo11} + k_{eo12} \cdot w_{eo12} + \\
 &+ k_{eo13} \cdot w_{eo13} + \dots + k_{eo1m} \cdot w_{eo1m}, \\
 V_{eo2} &= k_{eo21} \cdot w_{eo21} + k_{eo22} \cdot w_{eo22} + \\
 &+ k_{eo23} \cdot w_{eo23} + \dots + k_{eo2m} \cdot w_{eo2m}, \\
 &\dots \\
 V_{eoL} &= k_{eoL1} \cdot w_{eoL1} + k_{eoL2} \cdot w_{eoL2} + \\
 &+ k_{eoL3} \cdot w_{eoL3} + \dots + k_{eoLm} \cdot w_{eoLm}
 \end{aligned} \quad (27)$$

Based on the calculated vector of priorities, V_{eo} it is possible to rank the object according to the degree of man-caused load in the environmental monitoring system with the definition of priority measures and features of their implementation (volume, sequence and periodicity) for a typical object.

Conclusions. This methodology can be presented in the form of a comprehensive procedure for the formation of recommendations of the head of industrial enterprises and decision-makers on the formation of the program of environmental monitoring and decision-making on the prevention of occupational injuries. Thus, the results of research conducted according to the presented methodology can also be used in the development of a comprehensive plan of measures to minimize the impact of harmful man-made, natural and environmental factors to justify the priorities of the environmental monitoring system.

Bibliography:

1. McLain R.J., Lee R. G. Adaptive Management: Promises and Pitfalls. Environmental Management 2013. Vol. 20, No. 4, pp. 437-448.
2. Hayes O'Hare, Kolar Gregory M.P. Building an adaptive environmental monitoring system using sensor web. ERCIM NEWS 76, 2009, pp. 38-39
3. Yevtushenko O., Siryc A. Improving of informative and operating system of the power industry of food enterprises based on intellectualization the process of the decision making. Ukrainian Journal of Food Science, 6, 2018, pp. 136-145.
4. Чумаченко С.М., Бодрик Ю.Г., Свідерський В.Є, Нікітін В.А. Підходи до визначення пріоритетів розподілу ресурсів на розробку системи екологічного моніторингу військових полігонів. Збірник наукових праць ННДЦ ОТ і ВБ України. К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2001. Вип. 12. С. 85-91.
5. Чумаченко С.М., Дудкін О.В., Коржнієв М.М., Яковлев Є.О. Методичні аспекти оцінки і ранжування загроз для біорізноманіття в Україні. Екологія і ресурси. Київ, УІДНСР, 7, 77-86 (2003).
6. DeJoy D.M. Behavior Change versus Culture Change: Divergent Approaches to Managing Workplace Safety. Safety Science, 43, 105-129 (2005).
7. Blewett V., Shaw A. Integration of occupational health and safety through self-monitoring working groups. Journal of labor protection, Australia and New Zealand, 11, 1995, pp. 15-19.
8. Hale A.R., Guldenmund F.W. Evaluating safety management and culture interventions to improve safety: Effective intervention strategies. Safety Science, 2010, 48, pp. 1026-1035.
9. Чумаченко С.М., Пісня Л. А., Дерман В. А., Михайлова А. В. Підходи до розробки інформаційної технології екологічного управління станом природно-техногенної геосистеми Збірник наукових статей міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення», м. Харків 9-13 вересня 2019р.с. 288-291.
10. Чумаченко С.М., Андріюк О.П., Прокопенко В.В. Інформаційно-аналітична система для проведення екологічної оцінки якості стану ґрунтових вод у зоні техногенного впливу міжнародного аеропорту «Бориспіль». Вчені записки Таврійського Національного університету імені В.І.Вернадського (технічні науки), том 30 (69), №1, 2019. с. 165–171.
11. V. Mashkov. New approach to system level self-diagnosis. Proceedings 11th IEEE International Conference on Computer and Information Technologies, CIT 2011, 2011, pp. 579-584.

Дерман В.А., Кругляк Г.В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИБОРУ ПРІОРИТЕТІВ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНОГЕННИХ, ПРИРОДНИХ І ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ

Програмно-апаратні засоби автоматизованої системи моніторингу параметрів навколишнього середовища в зоні впливу потенційно-небезпечних промислових об'єктів, які є джерелом небезпечних факторів впливу на довкілля та людський соціум, потребують математичного апарату для аналізу і обґрунтування рівня пріоритетів в програмі моніторингу небезпечних чинників та показників екологічного стану навколишнього середовища. Ця математична модель відіграє важливу роль у визначенні порядку і послідовності збору і аналізу даних про якість повітря, води, ґрунту та інших аспектів навколишнього середовища для автоматизованої системи. Такі автоматизовані системи екологічного моніторингу дозволяють не тільки отримувати відомості про рівні забруднення, хімічний склад, метеорологічні умови та інші показники навколишнього середовища, але і формувати корегуючі впливи в системі автоматизованого управління станом навколишнього середовища. Це надає можливість оцінити якість навколишнього середовища, провести функціональне зонування території моніторингу та взяти корегуючих заходів для зменшення впливу забруднення та покращення екологічного стану довкілля.

Стаття присвячена математичному моделюванню та системному підходу до визначення пріоритетів розвитку системи адаптивного моніторингу техногенних, природних факторів навколишнього середовища промислових підприємств. Наведено особливості формування інтервальної шкали для індексів та показників порушень екосистем, що знаходяться під впливом промислового навантаження. Особливістю формування даної статті є обґрунтування підходу до ранжування пріоритетів на основі експертно-аналітичної оцінки загроз від техногенних навантажень на території промислового підприємства на основі кількісної оцінки показників порушень екосистеми. Розроблену модель можна представити у вигляді комплексної процедури формування рекомендацій керівникам та окремим особам, яка дозволить об'єктивно оцінити варіанти супроводу управлінських рішень, проаналізувати можливі результати їх реалізації, обґрунтовано вибрати оптимальне рішення щодо вдосконалення системи екологічного моніторингу на підприємстві.

Ключові слова: модель, охорона праці, інтервальна шкала, моніторинг, інтерполяційний поліном, екологічний фактор.

Жеребець О.М.Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз
Служби безпеки України

АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ДАТЧИКІВ LORA, BLE I WIFI НА БАЗІ СИСТЕМИ РОЗУМНИХ РЕЧЕЙ

У статті представлено аналіз продуктивності датчиків LoRa, BLE і WiFi на базі системи розумних речей. Описано принципи реалізації системи інтернету речей. Наголошено, що в Інтернеті речей повідомлення від вузлів датчиків має бути миттєво доставлено між сусідніми вузлами мережі з підтримкою Інтернету речей, і щоб це сталося, вузли датчиків мають бути у відповідному діапазоні передачі, який зазвичай визначається рівнем RSSI. Описано механізми дії Bluetooth low Energy, LoRa та WiFi. Зазначається, що методологія дослідження продуктивності датчиків LoRa, BLE і WiFi на базі системи розумних речей складається з чотирьох етапів: проектування, побудова та оцінка системи взаємодії між стільниковими та бездротовими мережами типу IoT. Враховуючи, що система спрямована на інтеграцію нових технологій, спрямованих на IoT, пропонується розробити основну обробку з вбудованої системи на основі мікропроцесорної архітектури для взаємодії з користувачем через операційну систему. Запропонований прототип об'єднує стільникові технології, які забезпечують доступ до WEB-платформи та бездротових технологій WiFi, LoRa та BLE, починаючи з процесу взаємозв'язку та, нарешті, сумісності обох технологій і додатків. На основі проведених розрахунків, встановлено, що периметр, який може охопити технологія LoRa з чотирма сенсорними вузлами, становить приблизно 979 метрів, розрахованих за допомогою геореференційних координат. З двома приймачами BLE максимум 70 метрів і з двома сенсорними вузлами WiFi – 136 метрів. Технологія BLE забезпечує максимальний діапазон від шлюзу 22 метри, WiFi 44 метри та LoRa 313 метрів у відкритому міському середовищі, зберігання та перегляд щосекунди. Впроваджена технологія Wi-Fi забезпечує найвищу затримку, оскільки їй потрібно створити додатковий маршрут до сервера частинок (виробника). Цей додатковий маршрут вартий того, оскільки, хоча затримка збільшується, безпека для вузла також підвищується.

Ключові слова: Інтернет речей, сенсор, бездротова передача, повідомлення, дані, стійкість, відстань.

Постановка проблеми. Основна ідея Інтернету речей (Internet of Things – IoT) полягає у з'єднанні між собою кількох аналогових і цифрових електронних пристроїв однорідного та різнорідного характеру, щоб вони могли ефективно передавати інформацію. IoT вважається концепцією, що швидко розвивається [1] та стає все більш актуальним і означає взаємозв'язок мільярдів розумних пристроїв. Зростаюча кількість пристроїв IoT з різнорідними характеристиками вимагає від майбутніх мереж еволюціонувати, щоб забезпечити нову архітектуру, яка підтримує очікуване збільшення генерації даних, а також зберігання. Продуктивність архітектури може зосереджуватися на двох параметрах: затримці та мережевому трафіку [2].

Поняття сумісності було визначено як «здатність двох або більше систем або компонентів обмінюватися інформацією та використовувати інформацію, якою вони обмінювалися» [3]. Технології Інтернету речей за останнє десятиліття вдосконалилися як у апаратному, так і в програм-

ному забезпеченні для широкомасштабного розгортання. Активні елементи IoT є важливими для впровадження Smart City. Основою для функціонального ІКТ-розумного міста в режимі реального часу є потужний інтерфейс прикладної програми (API), який використовується для взаємодії між програмами, службами та пристроями. API допомагають створити функціональну сумісність між багатьма системами. Відображення та зберігання даних можна збирати з різних платформ, хмарних сервісів та програм для кінцевих користувачів [4].

В Інтернеті речей повідомлення від вузлів датчиків має бути миттєво доставлено між сусідніми вузлами мережі з підтримкою Інтернету речей, і щоб це сталося, вузли датчиків мають бути у відповідному діапазоні передачі, який зазвичай визначається рівнем RSSI (Індикатор рівня отриманого сигналу).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підхід наукової спільноти до визначення продуктивності сенсорних датчиків формувалася на протязі багатьох років.

Викладений у [5] матеріал представив необхідне моделювання для реалізації бездротової сенсорної мережі типу IoT з використанням технології 6LoWPAN. Вузол датчика WSN складається з модуля виявлення, алгоритмів обробки та елементів зв'язку. Бездротові сенсорні мережі WSN (аббревіатура англійською мовою Wireless Sensor Networks) представляють тенденцію до інтеграції в IoT з метою взаємодії з гетерогенними комунікаційними технологіями. Наразі доступ до Інтернету через WSN можна інтегрувати в мережу IoT двома способами: перший складається з незалежного WSN-з'єднання та доступу до Інтернету через один шлюз.

Концепція інтелектуальних датчиків необхідна для виявлення змінних у режимі реального часу для додатків IoT, наприклад, індексу забруднювачів, робота [6] запропонована в місті Бангкок. У цій роботі пропонується застосування датчиків LPWAN для моніторингу забруднення повітря через мережу NB-IoT.

Інтероперабельність у LoRa WAN та BLE мережі розглядається в роботі [7]. У цій роботі пропонується нова архітектура подвійної радіомережі для IoT, яка використовується в моніторингу дикої природи, досягаючи ширшого контролю над балансом між енергоспоживанням і діапазоном покриття. Результати оцінки показують, що запропонована подвійна мережа перевершує традиційні системи, які використовують лише один тип радіоприймача, тобто LoRa або BLE. У середньому енергоспоживання LPWAN (LoRa WAN) було знижено до 97%. Архітектура покращила термін служби мережі до 99% для різних інтенсивностей пакетного трафіку в мережі. Взаємодія між бездротовими технологіями необхідна для роботи додатків типу IoT. У [8] описано реалізацію бездротових технологій Bluetooth Low Energy і ZigBee (BLE), запропоновано шлюз, який розроблений для взаємозв'язку цих двох технологій, що орієнтований на додаток типу IoT, що дозволяє зменшити витрати, енергію та затримку, сумісність є важливою для широкомасштабного впровадження IoT.

Також варто відзначити такі роботи як: Б. Гурупрасад [9], який дослідив розумну навігаційну систему на основі LoRa та IoT. Іріанто Курніаван [10], який провів оцінку продуктивності LoRa в іригаційній системі ферми з Інтернетом речей. Також низка авторів Ібрагім Нур, Дзаблеті Філіп, Кім Хенсу та Чанг Дже-Янг [11] розробили повністю текстильну дводіапазонну антену для бездротового зв'язку BLE та LoRa. Вагіх Махмуд та Бірлі

Пітер [12] визначили шляхи покращеного підключення IoT LoRa-WAN за допомогою ширококугових всеспрямованих антен. Канакараджа П., Упадхьяй Сурабх, Котамраджу Сарат, Суніла Г. та Нілеш Рудра [13] виконали розробку та впровадження інтелектуального лічильника енергії з використанням програм LoRa-WAN та IoT. У свою чергу, Мунна Нур, Ахсан Момінул, Базе М., Хайдер Джульфіка та Родрігес Едуардо [14] запропонували використовувати інтелектуальний моніторинг і здійснювати керування приладами за допомогою системи IoT на основі LoRa. Будлал Хічам, Серріні Мохамед та Тахірі Ахмед [15] розкрили інтелектуальний підхід до моніторингу на основі WiFi Sensing для Smart Hospital.

Однак, незважаючи на масштабність наукових досліджень за окресленою тематикою, питання проведення аналізу продуктивності датчиків LoRa, BLE і WiFi на базі системи розумних речей залишається відкритим та потребує детального опрацювання відносно новітніх стандартів стільникового бездротового зв'язку.

Мета статті – проаналізувати продуктивність датчиків LoRa, BLE і WiFi на базі системи розумних речей.

Викладення основного матеріалу дослідження. Концепція IoT вимагає підключення пристроїв до Інтернету. Нова ера Інтернету речей, яка стосувалася унікально ідентифікованих об'єктів і представлених у «інтернет-подібній» структурі, відіграла важливу роль у нашому повсякденному житті з точки зору інтелекту та автоматизації як зручних способів. Встановлюючи зв'язок IoT як інтелектуальну систему для підключення об'єктів до мережі Інтернет, генерується великий обсяг даних, які потребують управління та контролю. З розвитком технологій система управління та автоматизації IoT представляє нові додатки, що застосовується в багатьох основних інфраструктурах, наприклад системи вимірювання датчиків, управління електроенергією, газом і водою відповідно до зручності окремих осіб і організацій.

Розгортання систем мобільного зв'язку третього та четвертого покоління 3G і 4G в країні є дуже високим, однак інтерес багатьох дослідницьких організацій зосереджений на майбутніх незалежних системах, таких як 5G і LTE.

Технічно 4G означає єдине інтегроване середовище на основі IP для всіх телекомунікаційних потреб, включаючи голос, відео, трансляцію медіа, Інтернет. Бездротовий зв'язок розвивається швидкими темпами, а технології LoRa, BLE і WiFi модернізуються враховуючи потреби користувачів.

З постійним розвитком додатків на протоколі IP використання мереж Wi-Fi стає все більш поширеним. Так звані точки доступу Wi-Fi (AP) стали ключовими вузлами для посилення безпеки даних і контролю доступу користувачів. Точка доступу Wi-Fi служить проміжним вузлом пересилання, спочатку вона може отримувати всі дані для взаємодії з користувачем, а з іншого боку точки доступу Wi-Fi підключаються до провайдера, дозволяючи користувачам отримувати доступ до мережі чи ні. Таким чином, вони є першим бар'єром для контролю доступу зловмисних користувачів до мережі.

Пристрої BLE (Bluetooth low Energy) були включені в стандарт Bluetooth із специфікації Bluetooth 4.0 і визначають дві різні топології мережі для передачі даних: плагін і ширококомовлення. Завдяки своїм характеристикам кожна топологія підходить для визначення варіантів використання з різними сильними та слабкими сторонами. Пізніші версії BLE (4.1, 4.2 і 5.0) підтримують ці топології та покращують їх, дозволяючи комбінувати різні ролі. Однак ці останні вдосконалені версії не реалізовані в більшості пристроїв IoT, тому, якщо необхідно працювати з додатками типу IoT, рекомендується використовувати пристрої типу BLE 4.0. Топології, доступні в стандарті BLE, це топологія підключення та топологія ширококомовлення [16].

Із зростаючим інтересом до Інтернету речей розробляються різні технології для задоволення вимог щодо інтеграції інтелектуальних пристроїв з метою низького енергоспоживання та покриття великої зони сигналу. Деякі технології LPWAN все ще знаходяться на стадії розробки, однак такі технології, як LoRa та SigFox, уже широко доступні на ринку. Що стосується низької вартості роботи, мережі на основі LoRa є перевагою перед мережами на основі SigFox, враховуючи необхідність передплати на SigFox для кожного пристрою, що призводить до поточних витрат для кожного підключеного пристрою. Проте мережі LoRa потребують конфігурації власної мережі, як запропоновано в [17], у рішенні для оцінки мережі Smart City. Починаючи з 1960-х років було проведено багато роботи, щоб зрозуміти поширення радіохвиль у лісі та міському середовищі. Можна спостерігати повний розрив зв'язку через зовнішні чинники.

Із широким використанням смартфонів трафік мобільних даних зростає в геометричній прогресії. Цей факт створює серйозну проблему з точки зору пропускну здатності для мобільних операторів, чия інфраструктура не здатна підтримувати весь додатковий трафік, створений

користувачами цього типу IP-пристроїв. Альтернативи, що з'являються, наразі розглядаються як частина еволюції мережі 5G (п'яте покоління), яка включає міграцію трафіку мобільних даних з інфраструктури оператора на розвантаження пристроїв користувачів, використовуючи переваги можливостей підключення поточних смартфонів для передачі даних через зв'язок між пристроями (D2D), зв'язок між машинами (M2M), а також інтеграція стільникового зв'язку, зв'язку Wi-Fi та часового зв'язку. Бездротовий доступ повинен включати служби для будь-якого об'єкта, який можна прив'язати до з'єднання. Цю концепцію часто називають «Інтернет речей (IoT)». Такі пристрої, як розумні лічильники комунальних послуг, цифрові вивіски, автомобільні інформаційно-розважальні системи, сенсорні мережі WSN (Wireless Sensor Network), мобільні мережі (LTE), міграція 5G і протоколи, повинні аналізувати сумісність технологій, орієнтованих на IoT.

Методологія дослідження продуктивності датчиків LoRa, BLE і Wi-Fi на базі системи розумних речей складається з чотирьох етапів: проектування, побудова та оцінка системи взаємодії між стільниковими та бездротовими мережами типу IoT.

Сучасні APP мають тенденцію модифікувати власні компоненти системи, спрямовані на пошук найкращої продуктивності на своїх платформах. Пропонований дизайн для впровадження складається з серверної частини, яка керує блоком обробки та блоком зберігання зібраних даних. API, який забезпечує взаємодію з іншими програмами та зовнішній вигляд браузера. Найважчим завданням для систем Інтернету речей є орієнтація на концепцію управління «реального часу» в поєднанні з необхідною реалізацією для сумісності багатьох технологій.

Для розробки системи трафік даних, що надходить від апаратного забезпечення, повинен бути зосереджений у режимі реального часу. Сервер був розроблений у node.js, для якого концепція websocket (веб-коннектор) повинна бути включена через бібліотеку javascript під назвою socket.io, яка вибрана для підключення веб-додатків у реальному часі та тому, що вона забезпечує двосторонній зв'язок між клієнтом, що працює в браузері, і хмарним сервером.

Враховуючи, що система спрямована на інтеграцію нових технологій, спрямованих на IoT, пропонується розробити основну обробку з вбудованої системи на основі мікропроцесорної архітектури для взаємодії з користувачем через операційну систему.

- Функціонально-конструктивні характеристики:
- оцінка та вибір архітектури та платформ;
 - включення сумісності з мобільними пристроями;
 - система повинна фіксувати та інтерпретувати необхідні дані;
 - реалізація функції хмарного сховища;
 - візуалізація змінних у графічному вигляді в реальному часі.

Запропонований прототип повинен об'єднати стільникові технології, які забезпечують доступ до WEB-платформи та бездротових технологій WiFi, LoRa та BLE, починаючи з процесу взаємозв'язку та, нарешті, сумісності обох технологій і додатків, пропонований дизайн показаний на рисунку 1.

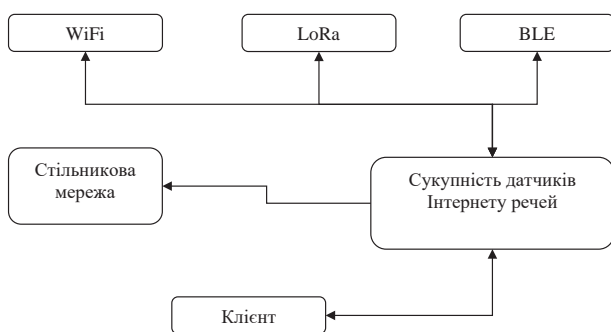


Рис. 1. Функціональний дизайн взаємозв'язку платформи

Взаємодія з сенсорними вузлами здійснюється через інтерфейси вбудованої системи. Для стандарту IEEE 802.15.1 зв'язок встановлюється з інтерфейсу bluetooth системи керування та сенсорного вузла, який реалізує bluetooth low energy 4.0 (BLE). Стандарт IEEE 802.15.4 може взаємодіяти з USB-порту raspberry на модуль, який реалізує технологію LoRa, і, нарешті, IEEE 802.11 інтерфейс від інтерфейсу WiFi вбудованої системи та модуля, що реалізує стандарт IEEE 802.11 b/g/n.

Першим кроком для впровадження є вибір апаратної системи керування, для цього оцінювалися мікроконтролери та вбудовані системи 8, 16 та 32 біт, на яких реалізовано веб-сервіси для взаємодії через методи post та get з HTML та CSS.

Raspberry Pi3 обрано як основний апаратний модуль контролю та керування, який обмінюється даними з вибраними пристроями для кожного стандарту.

Підключення до мереж дальнього радіусу дії необхідне для досягнення взаємодії з пристроями та серверами даних для цілей моніторингу та аналізу. Еталонна інтегральна схема EC20 реалізує GSM, GPRS, UMTS, HSPA, LTE та GNSS. У реалізованій системі вона працює через USB через

інтерфейс ttyUSB3, керується консоллю, надає IP-адресу під час підключення до Інтернету. Піки струму для роботи стільникового модуля вимагають додаткового джерела 500 мА та потребують стільникової антени для покращення індикатора якості обслуговування CSQ, стабілізації прийому та доставки даних, вона включає світлодіод RGB.

Інтерфейс до стільникових мереж є частиною роботи шлюзу, система живлення є автономною, базується на сонячних батареях та акумуляторних батареях. Система керування має сенсорний екран для контролю та запуску системи. Модуль GNSS надає координати геопозиціонування, а за допомогою API Google Maps можна відобразити розташування системи.

Пристрої BLE (Bluetooth low Energy) включені до стандарту Bluetooth IEEE 802.15.1 і можуть мати дві топології підключення. У першій топології з'єднання два пристрої BLE можуть встановлювати з'єднання для постійного та періодичного обміну даними, у цій топології використовуються дві ролі: головна і підлегла. Можна підключити головний пристрій до 8 підлеглих пристроїв у топології зірка. Ця топологія дозволяє передавати дані в обох напрямках, при цьому підлегли пристрої забезпечують сповіщення та функції індикації для надсилання даних головному модулю. Друга топологія називається дифузійною, пристрій BLE може використовувати рекламні пакети для передачі даних на будь-який пристрій BLE у режимі перегляду, який знаходиться в зоні його покриття. У цій топології визначено дві ролі: відправник і одержувач. Через природу цієї топології обмін даними є односпрямованим. Під час розробки системи периферійний пристрій зв'язку Bluetooth, налаштовано як головний пристрій, встановлено зв'язок, двонаправлений трафік даних, керування та зчитування пристроїв, модуль, реалізований як підлеглий, – це LightBlue Been LBM 313. Для керування пристроєм використовується бібліотека node.js під назвою been.js.

Точка доступу WiFi служить проміжним вузлом переадресації. Спочатку встановлюються всі дані для взаємодії з користувачем. І з іншого боку, точки доступу WiFi підключаються до провайдера, дозволяючи користувачам отримувати доступ до мережі. У розробці інтерфейс бездротового з'єднання WiFi, вбудований у raspberry berry, діє як маршрутизатор трафіку даних і налаштовується за допомогою таблиць маршрутизації для встановлення з'єднання між пристроями, підключеними до локальної LAN та WAN. Вибраний пристрій WiFi пропонує інтегральну схему на основі архітектури Cypress WICED, комерційно

називається Photon, є частиною сімейства Particle Photon, поєднує мікроконтролер STM32 ARM Cortex M3 із чіпом Wi-Fi.

Поширення стандарту LoRa на частоті 433 МГц знаходиться в діапазоні надвисоких частот (UHF). Технологія LoRa була реалізована з використанням трансиверів SX1278, враховуючи, що вони працюють у вільному спектральному діапазоні, мають низьке енергоспоживання та низьку вартість, мають модем великого радіусу дії. LoRa, який забезпечує наддовгий зв'язок із розширеним спектром. Технологія заснована на використанні фірмової технології модуляції Semtech LoRa, яка може досягти чутливості понад -148 дБм за допомогою кристала та інших додаткових компонентів, таких як антени розповсюдження moxer для 433 МГц.

Зростання інтересу до використання Інтернету як платформи для обміну даними спонукало до досліджень щодо публікації та використання даних.

Веб-сайт може бути розміщений на сервері та надавати послуги, які запитують клієнти. Веб-сервери складаються з операційної системи, веб-сторінки та простору пам'яті, клієнти можуть отримати доступ до веб-сервера в Інтернеті, а кілька зовнішніх клієнтів можуть підключатися до внутрішнього сервера одночасно.

Під час валідації прототипу було помічено, що платформи хмарних обчислень, такі як Azure, дозволяють ефективно керувати архітектурою IoT і взаємодіяти з веб-сервісами, що представляє концепцію взаємодії в програмах. Мережі LoRa пропонують гнучкість у вільному спектрі, низьку вартість (5 доларів США) приблизно на кожен радіопристрій і низьке споживання енергії.

У рамках дослідження пропонується тест роботи у відкритому просторі в міській місцевості для аналізу поведінки індикатора RSSI, беручи до уваги міський сценарій з перешкодами для аналізу охоплення кожного рішення. Шлюз піднятий на 7,7 метра в приміщенні, відокремлений від відкритого простору 7-міліметровим склом на північ від збору даних, вузли датчиків знаходяться приблизно в одному метрі від землі. RSSI: WiFi: -53 дБм, LoRa: -78 дБм, BLE: -67 дБм.

Для цього тесту було взято 176 даних. Релевантною інформацією для аналізу є інформація, яка описує розташування кожного вузла датчика, а також індикатор потужності сигналу RSSI кожного з них у кожній точці.

Тест полягає у визначенні найдальших точок передачі інформації, у випадку технології BLE було знайдено дві точки максимальної відстані для передачі даних із зміщенням вузла датчика на

схід на 20 метрів, а пізніше на захід на 16 метрів. Дані RSSI для точки доставки останніх даних на схід: (RSSI: WiFi: -66 дБм, LoRa: -94 дБм, BLE: -91 дБм). Відстані потребують коригування через висоту шлюзу. Різниця на осі z відповідає 6,7 м. Це коригування можна зробити за допомогою рівняння визначення максимальної відстані BLE:

$$B = \log, I - \log, a$$

Для розрахунку максимальної відстані пристрою BLE представляє висоту шлюзу, представляє відстань, обчислену за координатами супутника, а приблизну відстань від вузла датчика до шлюзу таким чином у рівнянні для східної відстані, результат рівняння $I_{B=a+c \cdot (I_{min}-I_{max})}$ і $I = I_{max}$ для західної відстані, результат рівняння $a = B_{max}$. Кути можна обчислити за наступними рівняннями:

$$B'(I) = 0$$

$$I = I_{max}$$

Для конкретного випадку кути відповідають $h - \Omega$ і $B_{min} = a + c \cdot (I_{min} - I_{max})$ східного BLE $c = \frac{(B_{min} - B_{max})}{(I_{min} - I_{max})}$ і $B_c(I)$ західного BLE, розрахунок периметра для технології BLE виконується за рівнянням:

$$Q(x) = B_c(x) - a_1 + a_2x + a_3x^2 + a_4x^3$$

Для розрахунку площі покриття:

$$(7)$$

Для визначення утворених кутів:

$$B_c(I_i) = B_c:$$

Периметр і площа, розраховані для технології BLE, відповідають $B_c(I_{i+1}) = B_c(I_i)$, а розраховані кути зони покриття відповідають $I_{i+1} = I_i$. Вносячи відповідні коригування до довжин, розрахованих за висотою шлюзу згідно з формулами отримуємо, що периметр та площа дорівнюють $B_c(I_i) = \frac{(I_{i+1} - I_i)^2 (2 \cdot (I_i - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_c$, а кути $(I_{i+1} - I_i)^2 (I_i - I_i)$. Для технології WiFi максимальна точка на схід становила 33 метри, на захід від 35 метрів, значення RSSI відповідають WiFi: -74 дБм і LoRa: -101 дБм і на захід, WiFi: -76 дБм і LoRa: -102 дБм, покриття 136 метрів.

З рівнянь виходить, що: для східної відстані значення: $\frac{B_c(I_{i+1}) - B_c(I_i)}{I_{i+1} - I_i}$ метрів, а $\frac{(I_{i+1} - I_i)^2 (I_i - I_i)}{h^3} \cdot m_i +$ для західної відстані $\frac{(I_{i+1} - I_i)^2}{h^3} \cdot a - a_1 - a_2 \cdot a$ метра. Периметр і площа відповідають $B_c(I_{i+1}) = \frac{(I_{i+1} - I_i)^2 (2 \cdot (I_{i+1} - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_c$, розраховані кути відповідають $(I_{i+1} - I_i)^2 (I_{i+1} - I_i)$. Внесення поправок на периметр і площу: $\frac{(I_{i+1} - I_i)^2 h}{h^3} \cdot R = R$ і кути $B_c(I_i) = \frac{-2 \cdot (I_{i+1} - I_i) \cdot (2 \cdot (I_i - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_c$. Щоб включити різницю у висоті між вузлом датчика та

Відстані та кути, розраховані для кожної максимальної точки

Напрямок	RSSI дБм	Відстань (м)	Коригування (м)	Площа (м ²)	Периметр (м)	—	—
Північний захід	-112	188	188,12	629,11	379,14	2,02	87,95
Північний схід	-111	165	169,25	563,25	342,58	2,25	87,77
Південний схід	-112	190	192,24	647,29	394,25	1,99	87,99
Південний захід	-113	207	203,54	689,24	411,74	1,88	88,11

доріжкою, необхідно розділити форму на чотири трикутники, розподілені від початку координат на північ, південь, схід і захід.

Технологія LoRa представила чотири точки максимальної передачі від шлюзу: перша точка розташована на відстані 189 метрів на північний захід, друга точка – на 168 метрів на північний схід, третя – на 193 метри на південний схід і четверта – на 205 метрів на південний захід. Дані RSSI для останніх точок доставки даних технології LoRa такі: RSSI на північному заході -113 дБм, RSSI на північному сході -112 дБм, RSSI на південному сході -113 дБм і RSSI на південному заході -114 дБм.

Діапазон охоплення, отриманий для технології LoRa, становить 979 метрів і являє собою прямокутник із неоднорідними сторонами, визначеними та вимірними супутниковими координатами.

Висновки. У роботі проаналізовано продуктивність датчиків LoRa, BLE і WiFi на базі системи розумних речей. Периметр, який може охопити технологія LoRa з чотирма сенсорними вузлами, становить приблизно 979 метрів, розрахованих за

допомогою геореференційних координат. З двома приймачами BLE максимум 70 метрів і з двома сенсорними вузлами WiFi – 136 метрів. Технологія BLE забезпечує максимальний діапазон від шлюзу 22 метри, WiFi 44 метри та LoRa 313 метрів у відкритому міському середовищі, зберігання та перегляд щосекунди. Хмарні обчислювальні рішення є найбільш підходящими, вибір архітектури полягає у ефективності, масштабованості та співвідношенні витрат і вигод. Системи типу IoT – це рішення, які розвиваються відповідно до потреб кінцевого користувача. Бізнес-моделі компаній, які розробляють і впроваджують системи IoT, разом із компаніями, що займаються програмним забезпеченням, орієнтовані на надання послуг візуалізації, зберігання та аналізу даних у хмарі. Впроваджена технологія Wi-Fi забезпечує найвищу затримку, оскільки їй потрібно створити додатковий маршрут до сервера частинки (виробника). Цей додатковий маршрут вартий того, оскільки, хоча затримка збільшується, безпека для вузла також підвищується.

Список літератури:

1. Popovska H., Dimovski T., Hristoski I. A Model for Integration of Internet of Things Systems in a Smart City. *11th International Conference on Applied Information and Internet Technologies – AIIT 2021* (October 15th, 2021). Zrenjanin, Serbia. 2021. URL: https://eprints.uklo.edu.mk/id/eprint/7497/1/AIIT_2021_Proceedings_pp_199-202.pdf
2. Development Strategy of Smart Internet of Things System / B. Li et al. *Chinese Journal of Engineering Science*. 2022. Vol. 24, no. 4. P. 1. URL: <https://doi.org/10.15302/j-sscae-2022.04.001> (date of access: 01.08.2023).
3. Guo B., Kou H., Zhou Y. Design of a Smart Art Classroom System Based on Internet of Things. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. P. 1–11. URL: <https://doi.org/10.1155/2022/9257827> (date of access: 01.08.2023).
4. Kumar A., Akhtar M. A. K., Pandey A. Design of Internet of Things (IoT) System Based Smart City Model on Raspberry Pi. *IETE Journal of Research*. 2022. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.1080/03772063.2022.2088629> (date of access: 01.08.2023).
5. Verma A., Ranga V. Security of RPL Based 6LoWPAN Networks in the Internet of Things: A Review. *IEEE Sensors Journal*. 2020. Vol. 20, no. 11. P. 5666–5690. URL: <https://doi.org/10.1109/jsen.2020.2973677> (date of access: 01.08.2023).
6. A Study of Air Pollution Smart Sensors LPWAN via NB-IoT for Thailand Smart Cities 4.0 / S. Duangsuwan et al. *2018 10th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, Chiang Mai, Thailand, 31 January – 3 February 2018. 2018. URL: <https://doi.org/10.1109/kst.2018.8426195> (date of access: 01.08.2023).

7. Development of real-time monitoring BLE-LoRa positioning system based on RSSI for non-line-of-sight condition / A. S. Ja'afar et al. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2023. Vol. 30, no. 2. P. 972. URL: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v30.i2.pp972-981> (date of access: 01.08.2023).
8. Ali A. I., Zorlu Partal S. Development and performance analysis of a ZigBee and LoRa-based smart building sensor network. *Frontiers in Energy Research*. 2022. Vol. 10. URL: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.933743> (date of access: 01.08.2023).
9. Guruprasad B. LoRa and IoT Based Smart Irrigation System. *Interantional journal of scientific research in engineering and management*. 2023. Vol. 07, no. 03. URL: <https://doi.org/10.55041/ijsrem18124> (date of access: 01.08.2023).
10. Irianto K. D. Performance Evaluation of LoRa in Farm Irrigation System with Internet of Things. *Kinetik: Game Technology, Information System, Computer Network, Computing, Electronics, and Control*. 2022. URL: <https://doi.org/10.22219/kinetik.v7i4.1551> (date of access: 01.08.2023).
11. An All-Textile Dual-Band Antenna for BLE and LoRa Wireless Communications / N. F. Ibrahim et al. *Electronics*. 2021. Vol. 10, no. 23. P. 2967. URL: <https://doi.org/10.3390/electronics10232967> (date of access: 01.08.2023).
12. Wagih M., Birley P. Towards Improved IoT LoRa-WAN Connectivity using Broadband Omnidirectional Antennas. *2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Madrid, Spain, 27 March – 1 April 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.23919/eucap53622.2022.9768906> (date of access: 01.08.2023).
13. Design and Implementation of Smart Energy Meter using LoRa-WAN and IoT Applications / P. Kanakaraja et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1804, no. 1. P. 012207. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1804/1/012207> (date of access: 01.08.2023).
14. Design and Implementation of Smart Energy Meter using LoRa-WAN and IoT Applications / P. Kanakaraja et al. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1804, no. 1. P. 012207. URL: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1804/1/012207> (date of access: 01.08.2023).
15. Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System / Nur-A-Alam et al. *Designs*. 2021. Vol. 5, no. 1. P. 17. URL: <https://doi.org/10.3390/designs5010017> (date of access: 01.08.2023).
16. Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System / Nur-A-Alam et al. *Designs*. 2021. Vol. 5, no. 1. P. 17. URL: <https://doi.org/10.3390/designs5010017> (date of access: 01.08.2023).
17. Boudlal H., Serrhini M., Tahiri A. An Intelligent Monitoring Approach Based on WiFi Sensing for Smart Hospital. *Artificial Intelligence and Smart Environment*. Cham, 2023. P. 212–223. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-26254-8_30 (date of access: 01.08.2023).
18. Implementation of Agent Based Smart Parking System using IoT / Prof. Kavita Patil et al. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. 2023. P. 810–816. URL: <https://doi.org/10.48175/ijarsct-8923> (date of access: 01.08.2023).
19. Mackey A., Spachos P., Gregori S. Energy Efficient Bike-Share Tracking System with BLE Beacons and LoRa Technology. *2019 IEEE Sustainability through ICT Summit (StICT)*, Montréal, QC, Canada, 18–19 June 2019. 2019. URL: <https://doi.org/10.1109/stict.2019.8789372> (date of access: 01.08.2023).

Zherebets O.M. PERFORMANCE ANALYSIS OF LORA, BLE AND WIFI SENSORS BASED ON THE SYSTEM OF SMART THINGS

The article presents an analysis of the performance of LoRa, BLE and WiFi sensors based on the system of smart things. The principles of implementation of the Internet of Things system are described. It is emphasized that in IoT, the message from the sensor nodes must be instantly delivered between the neighboring IoT-enabled network nodes, and for this to happen, the sensor nodes must be in the appropriate transmission range, usually defined by the RSSI level. The mechanisms of action of Bluetooth low Energy, LoRa and WiFi are described. It is noted that the methodology for researching the performance of LoRa, BLE and WiFi sensors based on the system of smart things consists of four stages: design, construction and evaluation of the system of interaction between cellular and wireless networks of the IoT type. Considering that the system aims to integrate new technologies aimed at IoT, it is proposed to develop the core processing from an embedded system based on a microprocessor architecture to interact with the user through the operating system. The proposed prototype integrates cellular technologies that provide access to the WEB platform and WiFi, LoRa and BLE wireless technologies, starting with the interconnection process and finally the compatibility of both technologies and applications. Based on the calculations, it was found that the perimeter that can be covered by LoRa technology with four sensor nodes is approximately 979 meters, calculated using georeferenced coordinates. With two BLE receivers a maximum of 70 meters and with two WiFi sensor nodes – 136 meters. BLE technology provides maximum gateway range of 22 meters, WiFi 44 meters and LoRa 313 meters in open urban environment, storage and viewing every second. Embedded Wi-Fi technology has the highest latency because it needs to create an additional route to the particle server (producer). This extra route is worth it because although the latency is increased, the security for the node is also increased.

Key words: Internet of things, sensor, wireless transmission, message, data, sustainability, distance.

Завгородній В.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

Завгородня Г.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Марченко В.А.

Державний університет інфраструктури та технологій

Бараненко Ю.В.

Державний університет інфраструктури та технологій

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ВЕБ-САЙТІВ

Були проаналізовані основні методи для оцінки надійності сайту. Кожен з цих методів можна застосувати для практичної оцінки надійності веб-сайту, проте їх неможливо використовувати на етапі його проектування та визначення числового значення ймовірності безвідмовної роботи сайту, оскільки всі вони базуються на емпіричних даних.

Була розроблена математична модель для оцінки надійності веб-сайту, і за її допомогою були обчислені значення ймовірності безвідмовної роботи сайту. Дослідження також показало, що при певній інтенсивності відвідувань сайту збільшення максимальної кількості користувачів призводить до зниження значення максимального часу затримки на сторінці, але в той же час збільшує ймовірність втрат доступу до сайту.

Було розширено знання про знаходження числового значення ймовірності безвідмовної роботи веб-сайту. Також був проведений аналіз методів оцінки надійності веб-сайтів.

Вирішення поставленої задачі проводилося на основі системного аналізу, математичного моделювання систем масового обслуговування, об'єктно-орієнтованого програмування. Для програмної реалізації алгоритмів використовувалися апарат чисельного математичного моделювання та пакети прикладних програм комп'ютерної математики.

Під час розробки математичної моделі оцінки надійності веб-сайту на етапі її проектування був використаний апарат систем масового обслуговування. Ця модель допомагає встановити, наскільки надійно працюватиме сайт під час його функціонування. Також було проведено обчислення максимального часу перебування користувача на сайті. Цей час був знайдений шляхом розв'язання трансцендентних рівнянь, які дозволили встановити, скільки часу може зайняти процес обробки запитів та надання відповідей на них.

Ключові слова: веб-сайт, надійність, математична модель, критичність, система масового обслуговування.

Постановка проблеми. В наш час веб-сайт є невід'ємною частиною іміджу практично будь-якої компанії, а також необхідним інструментом ведення бізнесу для різних видів інтернет-компаній. Для успішного функціонування веб-сайту необхідно чітко розуміння його можливостей, щоб знизити ймовірність відмови в обслуговуванні даного сайту. У зв'язку з цим для сайту, як системи, що розрахована на постійну безперебійну роботу, надійність грає серйозну роль [1]. Під надійністю сайту розумітимемо його експлуатаційну якість, яка характеризується ймовірністю безвідмовної роботи сайту в певний період часу

зі збереженням параметрів, заданих у технічному завданні на сайт [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка надійності веб-сайту – це важлива характеристика, яка визначає його здатність забезпечувати стабільний і безпечний доступ до контенту користувачам.

Надійність – це комплексна характеристика, і її оцінка може варіюватися в залежності від типу сайту та його цільової аудиторії. Наразі існує декілька методів оцінки надійності веб-сайту [3], розглянемо їх далі.

Метод аналізу видів, наслідків та критичності відмов широко застосовується в різних сферах

діяльності [4]. Подібне поширення цього методу обґрунтовується його здатністю пристосовуватися до індивідуальних особливостей конкретної галузі, умов експлуатації та характеру продукції, для яких його необхідно використовувати.

Критичність (α) обчислюється за допомогою формули:

$$\alpha = \ln(I / a), \quad (1)$$

де: α – бальна оцінка ймовірності виникнення i -ої відмови протягом часу експлуатації, I – бальна оцінка важкості наслідків i -ї відмови, a – бальна оцінка ймовірності виявлення i -ї відмови.

Далі значення критичності, яке розраховується для кожної відмови за формулою (1), порівнюються з пороговим значенням α_{lim} , яке було встановлено ще до проведення аналізу надійності. У випадку, коли $\alpha > \alpha_{lim}$, це вказує на необхідність введення заходів з коригування, оскільки відмова вважається значущою [5].

Згідно з джерелом [6], аналіз дерева відмов інтенсивно використовується в різних сферах для зрозуміння того, як система може вийти з ладу, визначення методів мінімізації ризиків та оцінки частоти відмов системи. Аналіз дерева відмов складається з логічних схем, які дозволяють визначити стан, в якому перебуває система [7]. Кожна подія в дереві має функціональну залежність, яка визначається статистичною ймовірністю. Іншими словами, ймовірність виникнення будь-якої події може бути визначена лише експериментальним шляхом [8].

Часто збої у роботі деяких компонентів пов'язані з певною постійною інтенсивністю збоїв λ . У цьому випадку ймовірність відмови може бути визначена просто, оскільки вона пропорційна інтенсивності λ і часу t , і підпорядковується експоненційному закону:

$$c = \frac{(B_{min} - B_{max})}{t}, \quad (2)$$

де: B – λ

Для моделювання даних, коли інтенсивність відмов є змінною у часі (зростаючою, спадаючою або постійною), застосовують так званий розподіл Вейбулла. Перевага такого аналізу полягає в тому, що навіть при неповних відмовах всіх об'єктів є можливість здійснити моделювання розподілу ресурсу. Джерела, які описують розподіл Вейбулла, наведені у роботах [9]. Цей метод дозволяє найповніше оцінити надійність системи. За допомогою Вейбулл-аналізу можна обчислити ймовірність відмови роботи сайту та провести аналіз надійності сайту. Однак, варто враховувати, що застосування даного методу на етапі проекту-

вання сайту є неможливим, оскільки він потребує експериментальних даних.

Проведений аналіз зазначених методів показав, що жоден з них не забезпечує можливості отримання числової оцінки ймовірності відмови в роботі веб-сайту. Це визначає основну проблему для подальших досліджень.

Метою даної статті є розробка математичної моделі оцінки надійності веб-сайтів.

Виклад основного матеріалу. Вплив поточної ситуації на ринку сильно впливає на надійність веб-сайту, включаючи активність конкурентів, кількість та якість конкуруючих сайтів, попит на певні товари та послуги, сезонні фактори тощо.

Ймовірність безвідмовної роботи є одним з основних показників при оцінці надійності веб-сайту. Під ймовірністю безвідмовної роботи розуміється ймовірність того, що даний об'єкт буде зберігати свої параметри протягом певного періоду часу в заданих межах і за певних умов функціонування.

Статистичну оцінку ймовірності безвідмовної роботи для масових об'єктів можна отримати, обробивши результати випробувань на надійність великих вибірок. Метод отримання оцінки залежить від плану випробувань.

При проектуванні веб-сайту зазвичай враховується високий рівень активних користувачів [10]. Також важливо розуміти, що процеси, які відбуваються на веб-сайті, є випадковими величинами. Тому для аналізу часових параметрів веб-сайту можливе застосування систем масового обслуговування (СМО).

Кожна подія характеризується моментом часу, коли вона відбувається – t . Символом Δt позначається інтервал часу між двома описаними вище моментами часу. Потік подій є незалежною послідовністю моментів t .

У контексті систем масового обслуговування з відмовами основними показниками ефективності є: абсолютна пропускна здатність (λ) – середнє число заявок, обслуговуваних системою за одиницю часу; відносна пропускна здатність (λ_{rel}) – середня частка надісланих заявок, які були обслуговані системою; ймовірність відмови (P_{out}) – ймовірність того, що заявка покине систему масового обслуговування без обслуговування; середнє число зайнятих каналів $\frac{\lambda}{\mu} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot m$ – застосовується лише до багатоканальних систем і представляє середнє число заявок, що знаходяться в обслуговуючих каналах.

Кожна сторінка веб-сайту може бути представлена у вигляді математичної моделі СМО, де

затримка відповідає часу, проведеному користувачем на сторінці. Вся модель веб-сайту може бути описана як відкрита мережа масового обслуговування.

Постановка задачі для запропонованої моделі має наступний вигляд:

$$m_i = B_i(I_i) - \text{кількість сторінок на веб-сайті};$$

I_i – середній час перебування користувача на сторінці $= \frac{(U_{i+1}-I_i)^2(U_i-I_i)}{h^2} \cdot m_i$;

U_i – інтенсивність вхідного потоку заявок до сторінки (заходів на сторінку ззовні, тобто не з інших сторінок сайту) $= \frac{(U_{i+1}-I_i)(U_i-I_i)}{h^2} \cdot m_i$;

$B_{i+1} = \frac{(U_{i+1}-I_i)^2 h}{J_i^3} \cdot B_{i+1}$ – матриця ймовірностей переходу між сторінками сайту. Вузол 0 представляє зовнішнє джерело заявок.

B_{i+1} – доля відвідувачів сайту, для якої обчислюється максимальний час затримки.

Необхідно знайти:

I_i – середній час затримки користувача на сторінці $=$;

U_i – максимальний час затримки користувача на сайті, який може перевищуватися лише для зазначеної частки відвідувачів сайту B_{i+1} (зазвичай обирається стандартне значення – 0,9 або 0,95);

B_{i+1} – середній час затримки користувача на сторінці I_i .

B_{i+1} – ймовірність відмови в обслуговуванні сторінки.

Перехід на сторінки сайту можливий трьома способами: набором адреси в адресному рядку браузера, кліком по гіперпосиланню на іншому сайті та кліком по гіперпосиланню на іншій сторінці даного сайту [7]. Інтенсивність визначає кількість входів на сторінку за одиницю часу першими двома способами, а матриця ймовірностей переходу m_i визначає алгоритм переходу між сторінками сайту третім способом.

Сучасні методи моделювання дозволяють [3] враховувати можливість неекспоненціального розподілу вхідних потоків та часу затримки користувачів на сторінках сайту. У такому випадку, в якості вхідних параметрів додаються відповідні квадрати коефіцієнтів варіації, а в якості результатів можна отримати стандартні відхилення часу відвідування сайту в цілому та кожної його сторінки окремо.

При проектуванні сайту [8] можливе дослідження його характеристик в широкому діапазоні змін параметра m_i . Це допоможе в подальшому оцінити технічні характеристики обладнання, що використовується в якості веб-сервера, що, у свою чергу, впливає на вартісні показники надійності.

Максимальний час перебування в системі може бути розрахований з використанням розв'язання

двох трансцендентних рівнянь (3) для випадку, коли квадрат коефіцієнта варіації потоку заявок на виході системи більший або дорівнює 1 та (4) для випадку, коли квадрат коефіцієнта варіації потоку заявок на виході системи менший за 1.

$$I_i = \frac{U_i - I_i}{h} \cdot m_i, \quad (3)$$

$$U_i = \frac{I_i - I_0}{N}, \quad (4)$$

$$h = \frac{I_N - I_0}{N}, \quad (5)$$

$$m_i = \frac{B_i - B_{i+1}}{2h}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (6)$$

$$m_i = \frac{4 \cdot B_i - B_{i+1} - 3 \cdot B_{i-1}}{2h}, \quad (7)$$

$$m_i = \frac{3 \cdot B_i - B_{i+1} - 3 \cdot B_{i-1}}{2h}, \quad (8)$$

$$B_{i+1} = \frac{U_i - I_i}{h} \cdot m_i, \quad (9)$$

$$I_i = \frac{U_i - I_i}{h} \cdot m_i, \quad (10)$$

$$U_i = \frac{I_i - I_0}{N}, \quad (11)$$

$$m_i = B_i, \quad i = 0, 1, \dots, N. \quad (12)$$

де U_i, I_i – квадрат коефіцієнта варіації потоку заявок на виході системи (рівень змінюваності потоку); B_{i+1} – час затримки користувача в СМО; B_i – частка відвідувачів сайту, для якої розраховується максимальний час затримки; $m_i = B_i(I_i)$ – параметри гіперекспоненціального розподілу; $m_{i-1} = B_i(I_{i-1})$ – параметри розподілу ерланговського типу.

Тоді ймовірність відмови в обслуговуванні (неможливості зайти на сторінку) може бути розрахована за допомогою формули (12):

$$B_{i+1} = \frac{U_i - I_i}{h} \cdot m_i, \quad (12)$$

де: B_{i+1} – ймовірність відмови в обслуговуванні; U_i – квадрат коефіцієнта варіації потоку заявок на виході системи; B_i – максимально можлива кількість користувачів; m_i – максимальний час перебування в системі; I_i – інтенсивність вхідного потоку заявок.

Модель повинна враховувати ці параметри та допомогти у вирішенні задачі аналізу веб-сайту з урахуванням часу затримки та ймовірності відмови.

Розглянемо одну сторінку веб-сайту з індексом $h = I_i - I_{i-1}$. Тут час обслуговування $Q(I_i) = \frac{U_i - I_i}{h} \cdot m_i$ та час очікування $Q(I_{i-1}) = B_{i-1}$ не залежать від кількості користувачів m_i .

Нехай $Q^*(I_i) = Q^*(I_i)$ та максимально можлива кількість користувачів дорівнює $h_{i+1} = I_{i+1} - I_i$. Результати обчислень з використанням даної моделі пред-

ставлені в таблиці 1. Дослідимо поведінку системи в діапазоні значень $\frac{Q_{in}(t) - R}{m(t - L_0) + (Q_{in}(t) - L_0) + h_0}$, заявок/хв з кроком 1.

Таблиця 1

Поведінка системи

$Q_{in}(t)$	$Q_{out}(t)$	$I = I_t$	-----
1,000	3,500	14,220	0,99264*10 ⁻³⁰
2,000	3,500	14,220	0,14197*10 ⁻²²
3,500	3,500	14,220	0,13386*10 ⁻¹⁷
4,000	3,500	14,220	0,84843*10 ⁻¹⁴
5,000	3,500	14,220	0,71922*10 ⁻¹¹
6,000	3,500	14,220	0,12427*10 ⁻⁸
7,000	3,500	14,220	0,84931*10 ⁻⁷
8,000	3,500	14,220	0,24604*10 ⁻⁵
9,000	3,500	14,220	0,37543*10 ⁻⁴
10,000	3,500	14,220	0,31191*10 ⁻³
11,000	3,500	14,220	0,17752*10 ⁻²
12,000	3,500	14,220	0,61112*10 ⁻²
13,500	3,500	14,220	0,17361*10 ⁻¹
14,000	3,500	14,220	0,34582*10 ⁻¹
15,000	3,500	14,220	0,57721*10 ⁻¹
16,000	3,500	14,220	0,86232*10 ⁻¹

З розрахунків випливає, що при заданих характеристиках максимально можливий потік відвідувачів сторінки – 16 осіб/хв. Тепер побудуємо графік залежності ймовірності відмови в обслуговуванні від інтенсивності потоку запитів до сторінки (рис. 1).

Як видно з рисунку 1, ймовірність відмови в доступі починає зростати при збільшенні інтенсивності потоку запитів, що надходять на сторінку, тобто коли $\frac{Q_{in}(t) - R}{m(t - L_0) + (Q_{in}(t) - L_0) + h_0} > 0$.

Далі, припустимо, що $\frac{1}{h_1} m_{i-1} + 2(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{i+1}}) m_i + \frac{1}{h_{i+1}} m_{i+1} = \lambda$ та $Q_{in}(t) = 0$, $Q_{out}(t) = 0$. Дослідимо поведінку системи в діа-

пазоні зміни значень максимально можливої кількості користувачів D з кроком 1.

На рисунку 2 наведено взаємозв'язок між ймовірністю відмови в обслуговуванні та максимальною кількістю користувачів. Ймовірність відмови в обслуговуванні вказує на те, наскільки ймовірно система не зможе обслужити нових користувачів через перевищення обсягу ресурсів або інших обмежень. З графіка видно, що при збільшенні максимально можливої кількості користувачів зростає й ймовірність відмови в обслуговуванні.

На рисунку 3 відображається залежність максимального часу затримки користувачів на сайті від максимально можливої кількості користувачів. Максимальний час затримки вказує на той період, який користувач може очікувати, перебуваючи на сайті, і він визначає ефективність роботи системи. З графіка видно, що зі збільшенням кількості користувачів максимальний час затримки також збільшується, що може вплинути на задоволеність користувачів та їхню взаємодію з сайтом.

Також з рисунків 2 і 3 видно, що при постійному рівні активності відвідувань сайту, збільшення максимально можливої кількості користувачів призводить до зниження максимального часу затримки на сторінці, але одночасно збільшує ймовірність втрат (відмови в доступі).

Висновки. У даному дослідженні була розроблена модель, яка дозволяє не тільки оцінити надійність веб-сайту, але й отримати числове значення ймовірності відмови в обслуговуванні.

Практична значимість дослідження полягає в тому, що отримані результати дозволять оцінити надійність проєктованого веб-сайту та приймати правильні рішення для його розвитку.

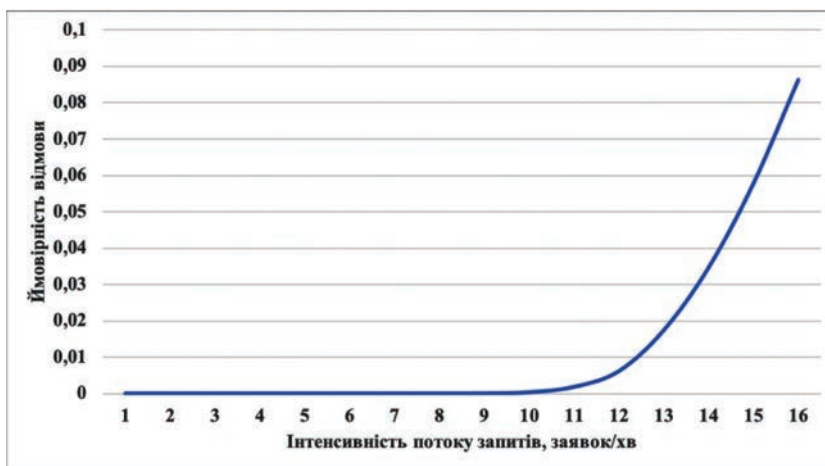


Рис. 1. Залежність ймовірності відмови у обслуговуванні від інтенсивності потоку запитів до сторінки



Рис. 2. Залежність ймовірності відмови в обслуговуванні від максимально можливої кількості користувачів

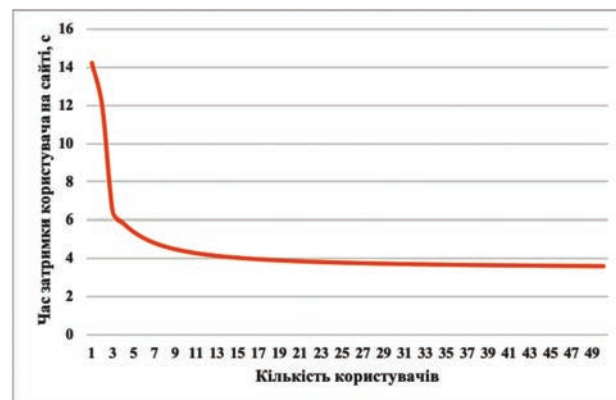


Рис. 3. Залежність максимального часу затримки користувача на сайті від максимально можливої кількості користувачів

У роботі було виявлено такі залежності:

1. Ймовірність відмови в обслуговуванні залежить від інтенсивності потоку заявок до сторінки. При певному рівні інтенсивності вхідного потоку заявок до сторінки, ймовірність відмови доступу починає зростати.

2. Ймовірність відмови в обслуговуванні також залежить від максимально можливої кількості користувачів. Збільшення максимально можливої кількості відвідувачів призводить до збільшення ймовірності відмови у доступі.

3. Максимальний час затримки користувача на сайті залежить від максимально можливої кількості користувачів. Збільшення максимально можливої кількості користувачів призводить до зменшення максимального часу затримки користувача на сторінці.

За отриманими даними можна зробити висновок, що збільшення максимальної кількості користувачів призведе до зростання ймовірності відмови, але водночас сприятиме зниженню максимального часу затримки користувача на сторінці. Ці зміни можуть негативно позначитися на продуктивності та користувацькому досвіді на сайті.

Використання таких математичних моделей та обчислень є важливим етапом проектування веб-сайту, оскільки допомагає виявити можливі проблеми та перевірити його надійність ще до його запуску. Завдяки цим дослідженням можна покращити ефективність та стабільність роботи сайту, забезпечити задоволення користувачів та позитивний досвід взаємодії з ним.

Список літератури:

1. Говорущенко Т. О. Дослідження відомих моделей оцінювання характеристик програмного забезпечення. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2013. No 1. С. 117–121.
2. Васілевський О. М., Ігнатенко О. Г. Нормування показників надійності технічних засобів: навч. посібник. Вінниця: *ВНТУ*, 2013. 160 с.
3. ДСТУ ISO/IEC 25010:2016. Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Моделі якості системи та програмних засобів (ISO/IEC 25010:2011, IDT). [Чинний від 2018-01-01]. Київ: *УкрНДНЦ*, 2018. 32 с.
4. Rezik R., Kallel I., Casillas J., Alimi A. Using Multiple Criteria Decision- Making Approaches to Assess the Quality of Web Sites. *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2016. Vol. 14, No. 7. P. 747–761.
5. Aydin S., Kahraman C. Evaluation of E-commerce website quality using fuzzy multi-criteria decision-making approach. *IAENG International Journal of Computer Science*. 2012. Vol. 39, No. 1. P. 64–70.
6. Крамаренко В.В., Завгородній В.В., Голубев С.О. Методи підвищення достовірності даних в автоматизованих системах управління. *Науковий журнал «Математичне моделювання»*. Дніпродзержинськ, 2005. № 1 (13). С. 58–63.
7. ДСТУ ISO/IEC 25021:2016 (ISO/IEC 25021:2012, IDT) Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Елементи показника якості. [Чинний від 2016-11-01]. Київ: *УкрНДНЦ*, 2016.
8. Zahran D. I., Al-Nuaim H. A., Rutter M. J., Benyon D. A Comparative Approach to Web Evaluation and Website Evaluation Methods. *International Journal of Public Information Systems*. 2014. Vol. 10. P. 21–39.

9. Гладій Г. М., Могильська М. Б. Метрики вимірювання надійності вебсайтів. *Збірник наукових публікацій Мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції «Світ наукових досліджень»*. (25-26 жовтня 2022 р.). Випуск 13. Тернопіль, 2022. С. 63–65.

10. Могильська М. Б. Критерії оцінювання надійності вебсайту. *Міжнародна наукова інтернет-конференція «Світ наукових досліджень»* (м. Тернопіль – м. Пшеворськ, 18-19 жовтня 2022 р.). Випуск 71. С. 32–35.

Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Marchenko V.A., Baranenko Yu.V. DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF WEBSITES

The main methods for assessing the reliability of the site were analyzed. Each of these methods can be applied to a practical assessment of website reliability, but they cannot be used at the design stage and determine the numerical value of the website's probability of failure, as they are all based on empirical data.

A mathematical model was developed to evaluate the reliability of the website, and with its help, the probability values of the site's fault-free operation were calculated. The study also showed that with a certain intensity of visits to the site, increasing the maximum number of users leads to a decrease in the value of the maximum delay time on the page, but at the same time increases the probability of losing access to the site.

Knowledge of finding a numerical value for the probability of a website being up and running has been expanded. An analysis of website reliability assessment methods was also conducted.

The problem was solved on the basis of system analysis, mathematical modeling of mass service systems, object-oriented programming. Numerical mathematical modeling apparatus and packages of applied computer mathematics programs were used for software implementation of algorithms.

During the development of a mathematical model for assessing the reliability of the website, the apparatus of mass service systems was used at the stage of its design. This model helps to establish how reliably the site will work during its operation. The maximum time spent by the user on the site was also calculated. This time was found by solving transcendental equations, which allowed us to establish how long the process of processing requests and providing answers to them can take.

Key words: website, reliability, mathematical model, criticality, mass service system.

Кондратець В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Мацуї А.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Федотова М.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Хлебніков М.В.

Центральноукраїнський національний технічний університет

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ І КОМПОЗИЦІЇ В МЕТОДОЛОГІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО КЕРУВАННЯ ПОДРІБНЕННЯМ-КЛАСИФІКАЦІЄЮ РУД

Неперервне зменшення вмісту корисних копалин в рудах, в тому числі і залізних, призводить до такого ж розширення їх збагачення. Перед збагаченням руду необхідно подрібнити до мікронного стану, що відповідає розміру вкраплень корисного компоненту. В залізорудних збагачувальних фабриках подрібнення вихідної руди розміром 25-0 мм або 12-0 мм здійснюється у барабанних кульових млинах, які нині не мають альтернативи і відрізняються низьким коефіцієнтом корисної дії на рівні 1...2%. Крім того, кульові млини витрачають величезну кількість електроенергії. Вона найбільша у першій стадії рудопідготовки, де в Україні в основному використовують кульовий млин і механічний односпіральний класифікатор (МОК). Покращити показники рудопідготовки в першій стадії можливо автоматизацією даного процесу, яка нині недосконала і практично не охоплює ряд важливих процесів – кульове завантаження, розділення твердого в класифікаторі та ін. Такий стан речей створився тому, що методології покращення автоматичного керування даним процесом практично не приділялось уваги. Тому запропоновано провести математичне моделювання процесів циклу подрібнення-класифікації, визначити математичні моделі керування об'єктів і на їх основі створити локальні системи автоматизованого керування, а, здійснивши композицію систем у єдине ціле, створити комплекс, що охоплює автоматичним керуванням всі процеси. Показано, що математичним моделюванням необхідно охопити п'ятнадцять процесів, з яких три математичні моделі відомі. Керування дванадцятьма процесами повинно здійснюватись на базі нових математичних моделей, які необхідно відшукати. Встановлено, що дані моделі можливо отримати, а на їх основі побудувати автоматизовані системи керування відповідними процесами. Кожна з цих автоматизованих систем виконує свої конкретні функції і діє незалежно, тому є автономною. Здійснивши композицію окремих складових в єдине ціле, реалізуємо комплекс для здійснення енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСК ТП першої стадії рудопідготовки. До його складу входять дев'ять технологічних автоматизованих систем різного призначення. Три з них – автоматизована система керування стабілізацією кульового завантаження млина, розрідження пісків класифікатора, розділення твердого в класифікаторі та допоміжна система стабілізації підсилення в радіометоді є повністю автономними. Для передавання інформації з датчиків, установлених на обертових частинах обладнання, використано радіометод. Показано, що ефективно і порівняно дешево керування можливо здійснити мікропроцесорними засобами. Найбільш ефективно використовувати осереднену сировину у поєднанні з таким керуючим комплексом. Це відкриває перспективу переведення рудопідготовки в першій стадії на якісно новий рівень з гарантованим отриманням як соціальної, так і економічної ефективності.

Ключові слова: подрібнення-класифікація руд, кульовий млин, спіральний класифікатор, енергоефективне автоматичне керування, методологія, математичне моделювання, композиція, комплекс, АСК ТП, перша стадія.

Постановка проблеми. У світі щорічно в родовищах зменшується вміст корисних копалин, що потребує збагачення руд. Оскільки це призводить

до величезних витрат електроенергії на подрібнення руд до розкриття вкраплень корисного компоненту, неперервно зростає інтерес до їх міні-

мізації. Особливо великі витрати електроенергії при подрібненні бідних залізних руд в перших стадіях рудопідготовки при їх збагаченні. Одним з шляхів зменшення перевитрати електроенергії є удосконалення автоматизації процесів в першій стадії подрібнення руди. Переведення автоматичного управління першою стадією подрібнення руди на новий якісно вищий рівень гарантує значне покращення ефективності здійснення даних технологічних процесів і, як наслідок, суттєве зменшення собівартості однієї тони залізорудного концентрату. Однак це не можливо здійснити без відповідної методології розроблення автоматизованих систем керування технологічними процесами в першій стадії рудопідготовки. Тому тема запропонованої статті є актуальною. Дана робота виконана за матеріалами наукових досліджень відповідно темі «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942), що є складовою плану наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автоматизація процесів першої стадії рудопідготовки здійснюється давно, але здебільшого вона присвячувалась лише окремим технологіям. В основному це було завантаження млинів рудою, врахування циркуляційного навантаження та інше. Порівняно мало уваги приділялось кульовому завантаженню, розділенню твердого в МОК. Методології керування процесами практично зовсім уваги не приділялось. Мова зовсім не велася про методологію керування повним процесом рудопідготовки в першій стадії в цілому. В той же час аналіз показує, що методологія керування процесом подрібнення руди в першій стадії потребує використання 15 математичних моделей, з яких відомими є лише три. Відомими є метод моделювання впливу температури на в'язкість пульпи [1, стор. 10], метод моделювання кінетики подрібнення руди в кульовому млині, метод моделювання характеристик крупності кульового завантаження при однорозмірних кулях [2, стор. 140-143].

Дванадцять математичних моделей і підходів математичного моделювання процесів необхідно розробити. Метод композиції взагалі ніколи не застосовувався при керуванні процесами рудопідготовки в перших стадіях.

Отже встановлено, що, не дивлячись на те, що рудопідготовці в перших стадіях приділялась велика увага, дослідження не отримали завер-

шального рівня. Не розвивалась методологія керування процесами подрібнення руди в перших стадіях і кульовий млин не переведено на функціонування на новому якісно вищому рівні. Тому методологію створення таких систем керування необхідно розробити і довести шляхи їх практичної реалізації.

Метою публікації є розробка схеми (алгоритму) отримання математичних моделей досліджуваних процесів або об'єктів і методів математичного моделювання та автоматизованих систем керування на їх основі, які слід застосувати при реалізації даної методології з наступним здійсненням композиції окремих складових в АСК ТП першої стадії рудопідготовки з визначенням типу технічних засобів її створення.

Виклад основного матеріалу. Методам математичного моделювання в даній праці приділяється чи не найважливіше місце, оскільки вивести керування циклом подрібнення руд на якісно вищий рівень неможливо без розгляду особливостей, які раніше практично не вивчалися. Зокрема, необхідно корінним чином удосконалити роботу кульового завантаження, значно підвищити точність вимірювання циркуляційного навантаження, стабілізувати розрідження пульпи в піщовому жолобі МОК, вивести на новий рівень систему керування подрібненням руди в кульовому млині, розділення твердого в МОК та ін. Цього не можливо досягнути без широкого застосування методів математичного моделювання. Математичне моделювання – це метод дослідження технічних об'єктів і технологічних процесів на їх математичних моделях. Вони слугують для опису властивостей досліджуваних об'єктів.

Нині не існує універсального методу отримання математичних моделей будь-яких процесів чи об'єктів. Тому в процесі аналізу запропоновано схему отримання математичної моделі, яку показано на рис. 1. З рис. 1 видно процеси, які необхідно здійснювати при розробці математичних моделей. Реальний стан об'єкта чи модельованого процесу породжує ситуацію, на яку немає відповіді. Постановка завдання полягає у виокремленні основних чи суттєвих особливостей досліджуваного об'єкта. Оскільки в реальному об'єкті процеси здебільшого достатньо складні, то необхідно звернутися до ідеалізації, що покладає на дослідника велику відповідальність. Тому процес постановки завдання здебільшого відіграє вирішальну роль.

Після цього розпочинають розроблення математичної моделі об'єкта досліджень. Головною метою побудови математичної моделі є необ-

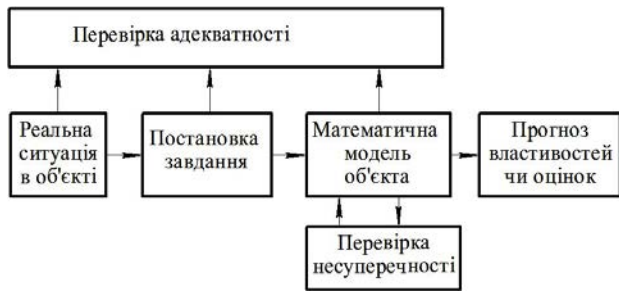


Рис. 1. Схематичне зображення отримання математичної моделі досліджуваного об'єкта

хідність передбачення об'єктивних результатів моделювання об'єкта. Обов'язково здійснюють перевірку отриманої математичної моделі. Математичний апарат моделі повинен підпорядковуватися наявним законам математичної логіки, тобто не повинно виникати суперечностей. Обов'язково повинна збігатись розмірність вихідних величин з фізичним змістом математичної моделі.

Обов'язковою є перевірка математичної моделі на адекватність – здатність відображати властивості модельованого об'єкта з похибкою, яка не перевищує задану. Для цього математичні вирази моделі необхідно постійно співставляти з реальною ситуацією в модельованому об'єкті. Точність математичної моделі оцінюють за співвідношенням значень параметрів реального об'єкта й моделі. Вона характеризується відносною похибкою, де за базове значення приймається параметр реального об'єкта.

Методи математичного моделювання, встановлені в процесі аналізу циклу подрібнення, які слід застосувати при розв'язанні поставлених завдань, наведено на рис. 2. З рис. 2 випливає, що математичним моделюванням охоплені всі технологічні процеси циклу подрібнення-класифікації руди. Як вже згадувалося, лише три процеси моделювання базуються на відомих математичних моделях, дванадцять процесів

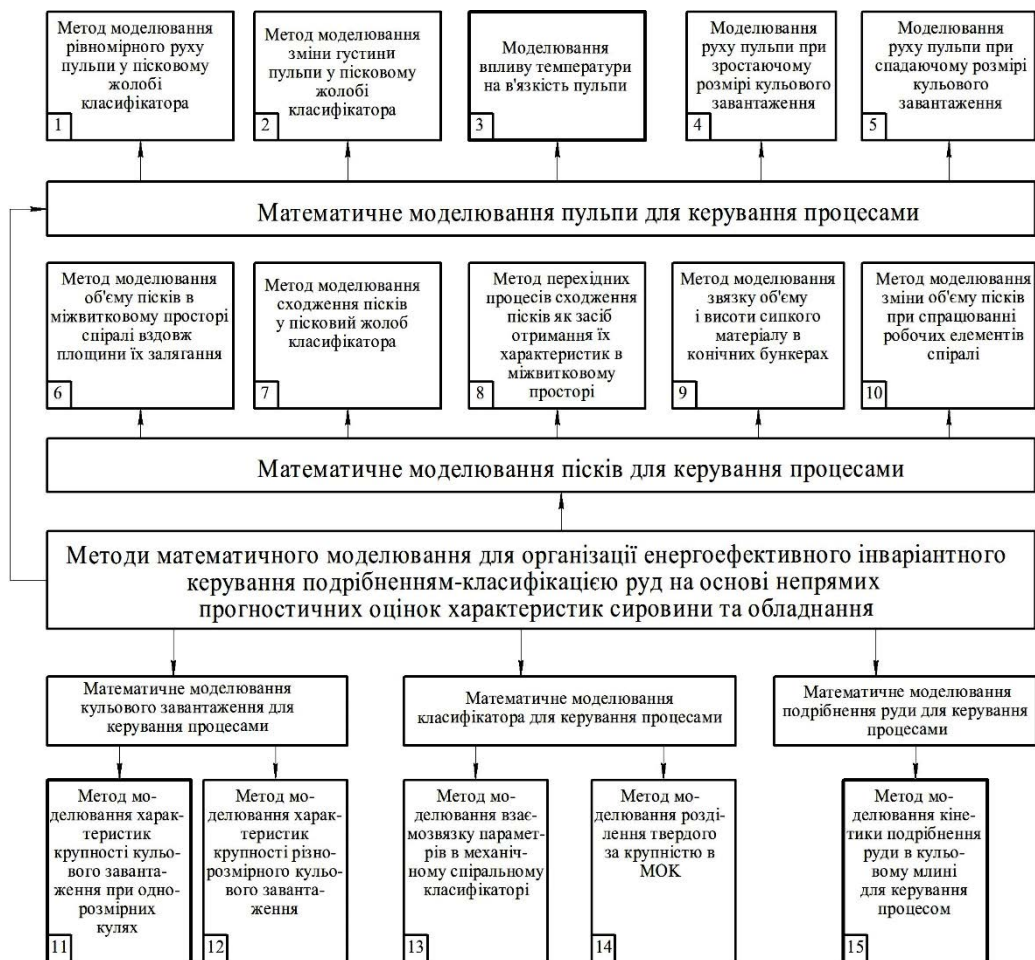


Рис. 2. Методи математичного моделювання, які слід застосовувати в процесі розроблення енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд в першій стадії

повинні здійснюватись на нових математичних моделях, які необхідно отримати.

З рис. 2 слідує, що серед методів математичного моделювання, які слід застосовувати в процесі розроблення енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд в першій стадії, виокремлено п'ятнадцять. Три з них відомі і відомі математичні моделі для їх здійснення. Це метод моделювання впливу температури на в'язкість пульпи, метод моделювання кінетики подрібнення руди в кульовому млині та метод моделювання характеристик крупності кульового завантаження при однорозмірних кулях. Дванадцять підходів математичного моделювання процесів і їх математичні моделі потребують розроблення. Аналізом встановлено, що дані моделі можливо отримати, а також можливо на їх основі створити автоматизовані системи керування (АСК) відповідними процесами. Доведено, що дані АСК будуть практично автономними. З врахуванням сказаного структура обладнання для рудопідготовки в першій стадії залізородних збагачувальних фабрик прийме вигляд, поданий на рис. 3. З рис. 3 видно, що технологічна частина обладнання першої стадії рудопідготовки представлена кульовим млином КМ, механічним односпіральним класифікатором МОК і пісковим жолобом класифікатора ПЖК, які обв'язані автоматизованими системами керування різних типів. Автоматизованих систем керування застосовано десять. Крім того, використано пристрій фіксування відхилення енергетичної ефективності подрібнення руди ПФВЕ і пристрій фіксування відхилення розрідження пульпи ПФВР, а також блок прийняття рішення про вплив на системи керування БПР. Призначення окремих АСК видно з рис. 3.

Для цього здійснимо композицію складових (рис. 3) в єдине ціле і отримаємо комплекс для реалізації енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСУТП першої стадії рудопідготовки, який приведено на рис. 4. З рис. 4 випливає, що до комплексу входять дев'ять технологічних АСК різного призначення. Аналіз показав, що три з них – АСК стабілізацією кульового завантаження млина (АСК-СКЗ); АСК розрідження пісків класифікатора (АСК-РПК); АСК розділення твердого в МОК (АСК-РТК) та допоміжна АСК стабілізацією підсилення в радіометоді (АСК-СПР) – є повністю автономними. Останні з них знаходяться у взаємозв'язку. Для передавання інформації з датчиків, установлених на частинах обладнання, що обертаються, використано радіометод. У радіометоді для забез-

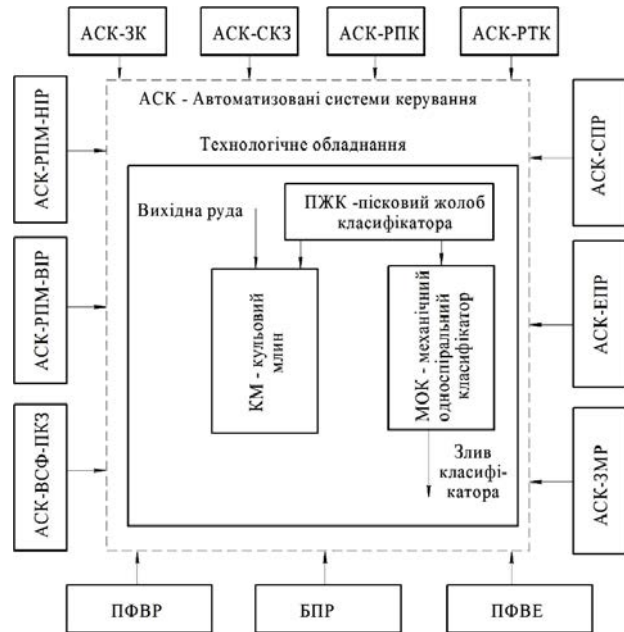


Рис. 3. Структура технологічного обладнання і автоматизованих систем керування (АСК) процесом подрібнення руди в першій стадії рудопідготовки:

АСК-СПР – АСК стабілізації підсилення в радіометоді; АСК-ЗК – АСК завантаження куль; АСК-СКЗ – АСК стабілізацією кульового завантаження; АСК-РПК – АСК розрідження пісків класифікатора; АСК-РТК – АСК розрідження твердого в класифікаторі; АСК-ЕПР – АСК енергоефективністю подрібнення руди; АСК-ЗМР – АСК завантаження млина рудою; ПФВЕ, ПФВР – відповідно пристрої фіксування відхилення енергетичної ефективності подрібнення руди й розрідження пульпи; БПР – блок прийняття рішення, про вплив на системи керування; АСК-ВСФ-ПКЗ – АСК компенсації впливу спрацювання футерівки та прослизання кульового завантаження; АСК-РПМ-ВІР, АСК-РПМ-НІР – відповідно АСК розрідженням пульпи в кульовому млині вищого і нижчого ієрархічних рівнів

печення точності передавання інформації АСК-СПР перед кожним вимірюванням технологічного параметра встановлюється задане значення коефіцієнта підсилення. Радіометодами передаються дані про середньозважену крупність пісків МОК, середньозважену крупність розвантаження кульового млина та енергетичну ефективність руйнування руди.

Базовою є АСК завантаження млина рудою, задавальне діяння якої формується відповідно до крупності вихідної руди. Однак, якщо руйнування руди відхиляється від енергоефективного значення, то АСК-ЕПР формує поправку, яка корегує це значення в бік збільшення або зменшення. Тобто, системи АСК-ЗМР і АСК-ЕПР є системами зв'язаного керування. Систему керування розрідженням пульпи у кульовому млині виконано

дворівневою, тому АСК-РПМ-ВІР і АСК-РПМ-НІР є системами зв'язаного керування. У них задавальне діяння формується з урахуванням крупності вихідної руди. Однак задавальне діяння може корегуватися АСКК-ВСФ-ПКЗ залежно від спрацьованих футерівки й можливого прослизання кульового завантаження. Тобто, ці три системи є засобами зв'язаного керування.

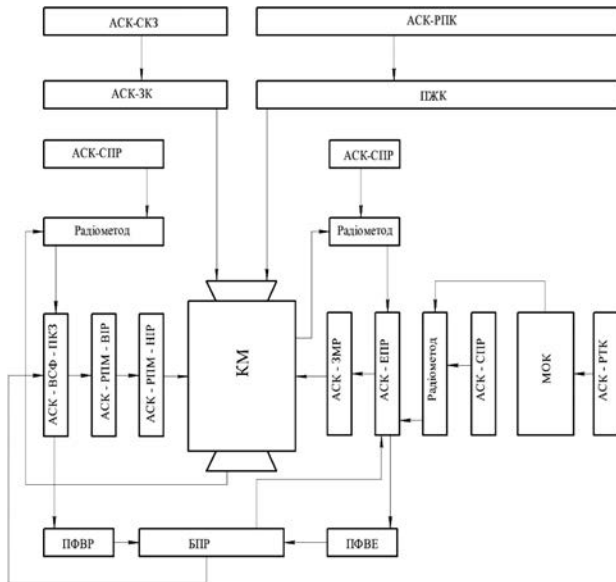


Рис. 4. Схема композиції автоматизованих систем у комплексі для здійснення енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСУТП першої стадії рудопідготовки

При керуванні завантаженням руди сигнал АСК-ЕПР, що фіксується пристроєм ПФВЕ у вигляді відхилення, може зменшитися. Тоді система спрацює через збільшення завдання на витрату руди, яка при цьому зростає. Якщо енерго-ефективність руйнування руди відповідає нормі, то блок БПР прийняття рішення не дає команди на зміну витрати руди. БПР може реалізувати певні критерії ефективності при такому керуванні. Якщо при цьому крупність розвантаження млина, наприклад, збільшиться відносно приписаного значення, то БПР подасть команду на корекцію задавального діяння на розрідження пульпи та збільшення тривалості подрібнення та одночасне зменшення розрідження пульпи й зменшення прослизання кульового завантаження. Розглянуті два впливи на системи при зміні в них задавальних діянь знаходяться в протиріччі. Збільшення подавання руди відновлює енергоефективність її руйнування, а зменшення розрідження пульпи приведе до зменшення швидкості її просування й можливого переподрібнення руди до зони контролю концентрації. Тому тут необхідно обґрунту-

вати критерій дії блока прийняття рішення БПР, щоб забезпечити найкращу ефективність подрібнення руди.

Для реалізації розглянутих систем керування необхідно прийняти тип технічних засобів. Виходячи із сучасних поглядів, області ефективного застосування мікропроцесорних, нейромережвих і нечітких систем керування наведено на рис. 5 [3, стор. 18]. Базовим об'єктом керування в комплексі є кульовий млин з спіральним класифікатором. Він є достатньо складним керованим об'єктом. Однак специфіка здійснення енерго-ефективного керування подрібненням-класифікацією руд полягає в тому, що керування окремими параметрами в складному об'єкті здійснюється традиційними методами. Тобто, дев'ять порівняно простих АСК різного призначення одночасно функціонують в одному керованому об'єкті й гарантують необхідну ефективність керування. Тут забезпечується повна інформація про об'єкт, тому ефективно й найбільш дешево керування можна здійснити мікропроцесорними засобами.



Рис. 5. Области різних технологій реалізації систем керування, де вони ефективно застосовуються

При створенні цієї системи автоматичного керування подрібненням-класифікацією руд важливим є вирішення підходу використання сировини конкретного родовища. У кінці 20-го століття фахівці почали використовувати осереднення руд певного родовища. Так створюється теорія й осереднювальні системи на гірничо-збагачувальних підприємствах. Осереднення руд в основному здійснюється за вмістом заліза. На підприємствах важливе значення приділяється збереженню незмінного складу руд, що гарантує підвищення технологічних показників збагачення, оскільки можна чітко витримувати технологічні режими. Однак, якщо руди різко відрізняються за вмістом видобутих корисних компонентів, то їх необхідно збагачувати за різними технологічними схемами.

Виходячи з цього, ще на початку 70-х років минулого століття збудовано гірничо-збагачувальні комбінати ПівніГЗК і НКГЗК за різними технологічними схемами. Таке ж спостерігається і на ПолтГЗК, де діє дві збагачувальні фабрики за різними технологічними схемами. У випадку, коли середній склад руди одного штабеля відрізняється від середнього складу руди того ж гатунку в іншому штабелі, то при переході до переробки сировини з останнього необхідно дещо змінити технологічний режим. Отже, технологія подрібнення та збагачення чутлива до складу сировини.

Зараз на більшості кар'єрів чорної металургії руда осереднюється за вмістом у ній заліза. Однак для збагачення не менш важливими факторами є текстурна характеристика руди, крупність рудомінеральної вкрапленості, стабільність її гранулометричного складу. Рівномірність гранулометричного складу руди може змінюватись в процесі завантаження-розвантаження. Проблему розвантаження бункерів з сипким матеріалом розв'язують давно, досягнуті вагомі результати. Здійснюються спроби покращення запропонованих раніше залежностей [4]. Удосконалюються наближені методи визначення розподілу тиску сипкого матеріалу в бункерах [5, 6]. В роботі [7] розкриті причини порушення рівномірності гранулометричного складу сипкого матеріалу в бункерах. Встановлено [8], що циліндричні бункери збагачувальних фабрик приводять до розосереднення руди при розвантаженні, створюючи довгоперіодну послідовність крупних шматків і дрібного матеріалу.

В той же час аналіз показує, що осереднення руди за крупністю може забезпечити ідеальна усереднювальна місткість, яку можливо реалізувати у вигляді усереднювального бункера. У ньому формується еліпсоїд випуску, з поверхні якого сипучий матеріал до випускного отвору приходить одночасно. Оскільки відбувається миттєве перемішування руди, що надходить з різних шарів над випускним отвором бункера, якість осереднення в таких системах буде висока. У цих бункерах за рахунок зміни об'єму можна зменшити коливання якості руди до будь-якого рівня неза-

лежно від його значення у вхідному потоці. При такому осередненні руди за крупністю цей параметр на вході млинів буде змінюватися лише під впливом спрацювання поверхонь дробильного обладнання.

Тому можливо стверджувати, що стабілізація якості руди перед збагаченням в усіх випадках забезпечує технологічний ефект, який виправдовує витрати на її здійснення. Забезпечення однорідності якості рудної сировини є основною умовою автоматизації технологічних процесів при збагаченні руд, засобом підвищення виходу металу й підвищення продуктивності праці.

Висновки. Таким чином, встановлено, що в процесі розроблення енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд необхідно реалізувати 15 математичних моделей, серед яких три – моделювання впливу температури на в'язкість пульпи, моделювання характеристик крупності кульового завантаження при однорозмірних кулях, моделювання кінетики подрібнення руди в кульовому млині є відомими, дванадцять підходів моделювання та їх математичні моделі необхідно розробити, що значно розширює інформацію про керовані процеси. Показано, що енергоефективне керування подрібненням-класифікацією руд можна реалізувати комплексом автономних систем у складі АСК ТП першої стадії рудопідготовки, до якого входять дев'ять автоматично діючих розроблених засобів, що, на відміну від відомих АСК ТП, забезпечує високу точність отримання інформації й переведення керування циклом подрібнення-класифікації на новий, якісно вищий рівень гарантованим отриманням як соціальної, так і економічної ефективності.

Перспективою подальших досліджень у даному напрямі є пошук методів математичного моделювання та самих математичних моделей і відповідних їм локальних автоматизованих систем керування окремими технологічними процесами, а також композиція окремих АСК у комплекс для здійснення енергоефективного керування подрібненням-класифікацією руд у складі АСК ТП першої стадії рудопідготовки.

Список літератури:

1. Гідравліка, сільськогосподарське водопостачання та гідропневмопривод / Дідур В. А. та ін. Запоріжжя: Прем'єр, 2005. 464 с.
2. Підготовка корисних копалин до збагачення / Сокур М.І. та ін. Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. 392 с.
3. Васюра А.С., Мартинюк Т.Б., Куперштейн Л.М. Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2008. 175 с.
4. Walters J.K. A Theoretical Analysis of stresses in Silos with Vertical Walls. *Chemical Engineering Science*.1973. V. 28. P. 13–21.

5. Cowin S.C. The Theory of Static Loads in Bins. *Journal of Applied Mechanics*. 1977. V. 44. № 9. P. 409-412.
6. Takami A., Syoten O.A. Theory of the Pressure Distribution in Powder in Equilibrium in a Cylindrical Vessel. *Powder Technology*. 1974. V. 10. P. 295-301.
7. Кондратець В.О. Математичне моделювання формування потоків рудного живлення кульових млинів при транспортуванні. *Вісник ХНТУ*. 2014. № 2 (49). С. 42-50.
8. Кондратець В.О., Мацуй А.М. Моделювання розподілу дробленої руди вздовж конвеєрної стрічки при розвантаженні бункерів. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2015. № 3. С. 42-50.

Kondratets V.O., Matsui A.M., Fedotova M.O., Khlebnikov M.V. MATHEMATICAL MODELLING AND COMPOSITION METHODS IN ENERGY-EFFICIENT ORE MILLING AND CLASSIFICATION MANAGEMENT METHODOLOGY

A constant reduction in the mineral content of ores, including iron ores, leads to an equally rapid expansion of enrichment. Before beneficiation, the ore must be ground to the micron size, which corresponds to the size of the mineral inclusions. In iron ore beneficiation plants, feed ore of 25-0 mm or 12-0 mm in size is milled in drum ball mills, which currently have no alternative and have a low efficiency of 1 to 2%. In addition, ball mills consume a huge amount of electricity. It is greatest in the first stage of ore preparation, where in Ukraine a ball mill and a mechanical single-spiral classifier (MSC) are mainly used. It is possible to improve the performance of the first stage of the ore dressing process by automating this process, which is currently imperfect and hardly covers a number of important processes - ball loading, separation of solids in the classifier, etc. This state of affairs has come about because little attention has been paid to methodologies for improving the automatic control of this process. Therefore it is proposed to carry out mathematical modelling of the processes of the grinding-categorization cycle, define mathematical models of controlled objects and on their basis create local automated control systems, and by composing the systems into a single whole to obtain a complex covering all processes with automatic control. It is shown that mathematical modelling needs to cover fifteen processes, of which three mathematical models are known. Twelve processes should be controlled on the basis of new mathematical models to be obtained. It is established that it is possible to obtain these models and it is also possible to create automated control systems for the relevant processes on the basis of these models. Each of these automated systems has its own specific functions and from this point of view is autonomous. By combining the individual components into a coherent whole, we get a complex for the implementation of energy-efficient control of ore milling and classification as part of the ACS of the first stage of ore preparation. It consists of nine process automation systems for different applications. Three of these - the automated control system for ball mill stabilisation, classifier sand liquefaction, classifier solids separation and the auxiliary system for radio-method gain stabilisation - are fully autonomous. A radio method is used to transmit information from sensors mounted on rotating parts of the equipment. It has been shown that microprocessor based control is the most efficient and cheapest possible. It is most efficient to use averaging raw materials in combination with such a control system. This opens the prospect of transferring ore dressing in the first stage to a qualitatively new level with a guaranteed receipt of both social and economic efficiency.

Key words: grinding and classification of ores, ball mill, spiral classifier, energy efficient automatic control, methodology, mathematical modelling, composition, complex, ASC TP, first stage.

УДК 004.415

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/11>**Куликовська Н.А.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

Руденко В.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Тіменко А.В.

Національний університет «Запорізька політехніка»

Шкарупило В.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСУ ЗБИРАННЯ ДОДАТКІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ СТРАТЕГІЙ РОЗРОБЛЕННЯ

У статті розглянуто стратегії розроблення додатків, які охоплюють різні підходи до організації та створення програмних систем. Монолітна архітектура передбачає розроблення всієї програми як єдиного інтегрованого блоку, що забезпечує простоту та легкість тестування та обслуговування. Модульна архітектура поділяє програми на незалежні модулі з чітко визначеними інтерфейсами, забезпечуючи кращу зручність обслуговування, багаторазове використання та масштабованість. Це дозволяє паралельну роботу, покращує право власності, інкапсулює код і полегшує динамічну доставку та повторне використання коду. Однак впровадження модульності може призвести до певних недоліків, таких як збільшення складності конфігурації збірки та довший час синхронізації Gradle із занадто великою кількістю модулів. Проведено дослідження, де результати показали, що кількість модулів безпосередньо впливає на час збірки. Тестування проводилось в три етапи. Перший це оригінальний проєкт, побудований за принципами модульності. Наступним кроком була зроблена його копія та об'єднані підмодулі функцій в один модуль. Третій етап, тестувався додаток з тим самим кодом, але об'єднаний в один модуль. 59-модульний проєкт продемонстрував на 37% довший час створення порівняно з одномодульним проєктом. Поетапні збірки в багатомодульному проєкті також займали значно більше часу. Результати експерименту показали, що конфігурація з одним модулем продемонструвала найменший час збирання, тоді як підхід із багатьма модулями призвів до довшої тривалості компіляції. Загалом експеримент дав цінну інформацію про компроміси між монолітною та модульною архітектурами, підкреслюючи важливість вибору найбільш прийняттого підходу на основі вимог до проєкту та бажаних результатів.

Ключові слова: модульна архітектура, час збирання, додатки, моделювання, архітектура.

Постановка проблеми. Стратегії розробки додатків включають різні підходи до організації та створення програмних систем. Монолітна архітектура означає розробку всієї програми як єдиного інтегрованого блоку, що дозволяє забезпечити простоту та легкість тестування та обслуговування. Проте, цьому підходу може бракувати масштабованості для великих проєктів. З іншого боку, модульна архітектура розділяє програми на незалежні модулі з чітко визначеними інтерфейсами, надаючи кращу обслуговуваність, багаторазове використання та масштабованість, проте це може призвести до довшого часу розробки, оскільки модулі потрібно компілювати окремо. Крім того, архітектура мікросервісів переносить модульність на екстремальний рівень, розбива-

ючи додатки на невеликі незалежні сервіси, що взаємодіють через API, що надає високу масштабованість і ізоляцію помилок, але це призводить до підвищеної складності і довшого часу розробки через потребу окремої компіляції та розгортання кількох сервісів. Модульність протягом тривалого часу була фундаментальною концепцією розроблення програмного забезпечення, і вона продовжує широко застосовуватися в сучасній практиці розроблення програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вибір стратегії активно досліджується та обговорюється в галузі розроблення програмного забезпечення в наш час [1, с. 78]. Багато науковців розглядають переваги, недоліки та компроміси архітектурних підходів. Мартін Фаулер, відомий

розробник програмного забезпечення та автор, багато писав про архітектури програмного забезпечення, включаючи дискусію про монолітні та мікросервіси [2, с. 42]. Крім того, Роберт К. Мартін, консультант із програмного забезпечення та автор, зробив внесок у цю тему [3, с. 10]. Його книга «Чиста архітектура: Посібник для майстра зі структури та дизайну програмного забезпечення» заглиблюється в важливість модульності в розробленні програмного забезпечення. Інші дослідники, такі як Еойн Вудс і Майкл Фізерс, також поділилися думками щодо архітектурного вибору між монолітними та модульними додатками. Їх роботи, зокрема «Архітектура систем програмного забезпечення: робота із зацікавленими сторонами з використанням точок зору та перспектив» та «Ефективна робота з застарілим кодом» відповідно, надають цінні погляди на цю тему [4, с. 394; 5, с. 340].

Більше того, модульний підхід до розроблення архітектурної складової сучасних розподілених вебсистем, зокрема систем, побудованих на основі вебсервісів, є дієвим механізмом одержання реконфігурованих та масштабованих рішень, що відповідають ad-hoc-природі актуальних сценаріїв запитів до таких систем [6, с. 5]. У свою чергу, при збиранні названих систем постають до вирішення задачі контролю не лише функціональних характеристик, зокрема несуперечності програмно-алгоритмічної складової [7, с. 148], а й нефункціональних характеристик – супутніх часових витрат [8, с. 91]. Такий підхід відповідає, зокрема, концепції модульного тестування, згідно якого висновок стосовно успішності проходження

досліджуваним модулем складових заданих тестових наборів робиться на підставі контролю показників і функціональних, і нефункціональних характеристик [9, с. 16].

У сукупності зазначені вище наукові публікації підкреслюють важливість вибору правильного архітектурного підходу на основі розміру, складності та вимог до масштабованості проекту. Дослідження підкреслює переваги модульних додатків з точки зору зручності обслуговування, багаторазового використання, або визнають простоту та легкість монолітних додатків. Таким чином розробникам важливо ретельно обмірковувати вибір стратегії розроблення програмного забезпечення.

Метою статті є дослідження монолітної та модульної архітектури побудови застосунків. Аналіз переваг та недоліків кожної з них. Тестування розробленого проекту на основі даних архітектура та дослідження часу збирання.

Виклад основного матеріалу. Багато мов програмування та фреймворків підтримують модульність, що дозволяє розробникам створювати модульні системи [10, с. 210]. Крім того, шаблони архітектури програмного забезпечення, такі як мікросервіси та компонентні архітектури, значною мірою покладаються на принципи модульності [11, с. 11]. Однак ступінь впровадження модульності може відрізнитися в різних проєктах і організаціях. Деякі програмні системи все ще страждають від монолітних конструкцій, де модульність мінімальна, що призводить до проблем з обслуговуванням і масштабованістю. З іншого боку, більш сучасні проєкти, як правило, охоплюють модульні практики та шаблони

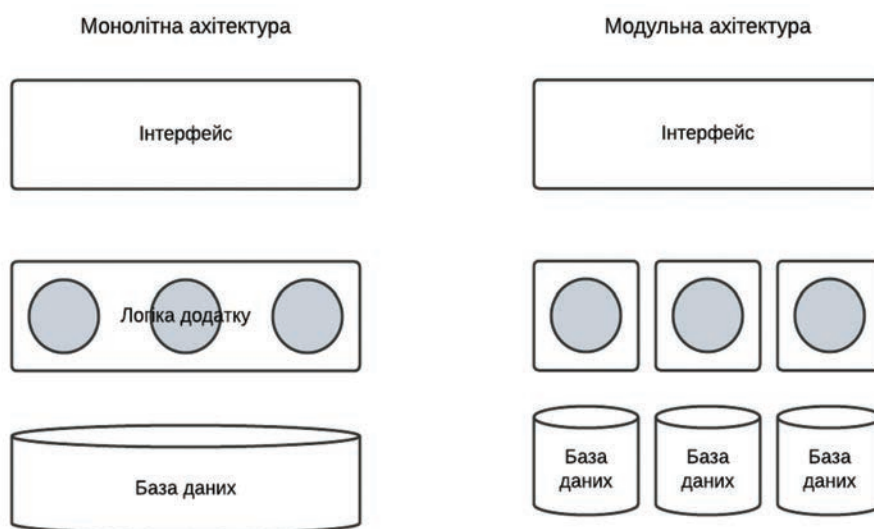


Рис. 1. Сучасні стратегії розроблення програмного забезпечення

проектування, виграючи від покращеної організації коду та легшої співпраці (рис. 1).

Модульність пропонує кілька переваг у розробленні програмного забезпечення:

- масштабованість. Модульні проекти дотримуються принципу поділу проблем, що дозволяє локалізувати зміни та зменшити каскадні ефекти. Це забезпечує кращу масштабованість у міру зростання та розвитку проекту;

- паралельну роботу. Завдяки чітким межах модулів розробники у великих командах можуть працювати паралельно більш ефективно, зменшуючи конфлікти контролю версій і підвищуючи продуктивність;

- право власності. Модулі можуть мати виділених власників, відповідальних за технічне обслуговування, виправлення помилок і перевірку коду, сприяючи підзвітності та спрощеним процесам розроблення;

- інкапсуляція. Ізольований код у модулях легше читати, розуміти, тестувати та підтримувати, що сприяє загальній якості коду.

- динамічна доставка. Модульність підтримує функції динамічної доставки, що дозволяє доставляти певні функції програми умовно або завантажувати на вимогу;

- багаторазове використання. Належна модульність дає змогу спільно використовувати код і полегшує створення кількох програм на різних платформах, використовуючи одну основу.

Хоча модульність має переваги, вона також має певні недоліки:

- занадто багато модулів. Надмірна кількість модулів може призвести до збільшення складності конфігурації збірки та довшого часу синхронізації

Gradle. Підтримка численних модулів тягне за собою постійні витрати та може вплинути на конфігурацію проекту;

- недостатньо модулів. Занадто мало модулів або великі тісно з'єднані модулі можуть нагадувати монолітну архітектуру, зводячи нанівець деякі переваги модульності. Завеликі модулі, які не мають чітко визначених цілей, слід розглядати для розділення;

- занадто складно. Рішення про застосування модульності залежить від розміру та складності кодової бази. У деяких випадках, коли очікується, що проект не перевищить певний поріг, переваги масштабованості та часу створення можуть бути незастосовні, що робить модульність менш вигідною. Важливо ретельно оцінити потреби проекту, перш ніж використовувати повністю модульний підхід.

Під час експерименту було взято вихідний код одного багатомодульного реального проекту. На основі цього додатку було сформовано три конфігурації: багато модулів, менше модулів і лише один модуль. Мета цього експерименту полягала в тому, щоб проаналізувати, як кількість модулів вплинула на час проекту. Порівнюючи продуктивність і характеристики кожної конфігурації було визначити оптимальний баланс між модульністю та монолітністю додатку.

Початковий проект мав 59 модулів, які склалися з 864 файлів Kotlin і 1 файлу Java. Крім того, він включав 65 файлів активів, 1 файл прототипу та 161 файл ресурсів (рис. 2).

Тестування проводилось в три етапи. Перший це оригінальний проект, побудований за принци-

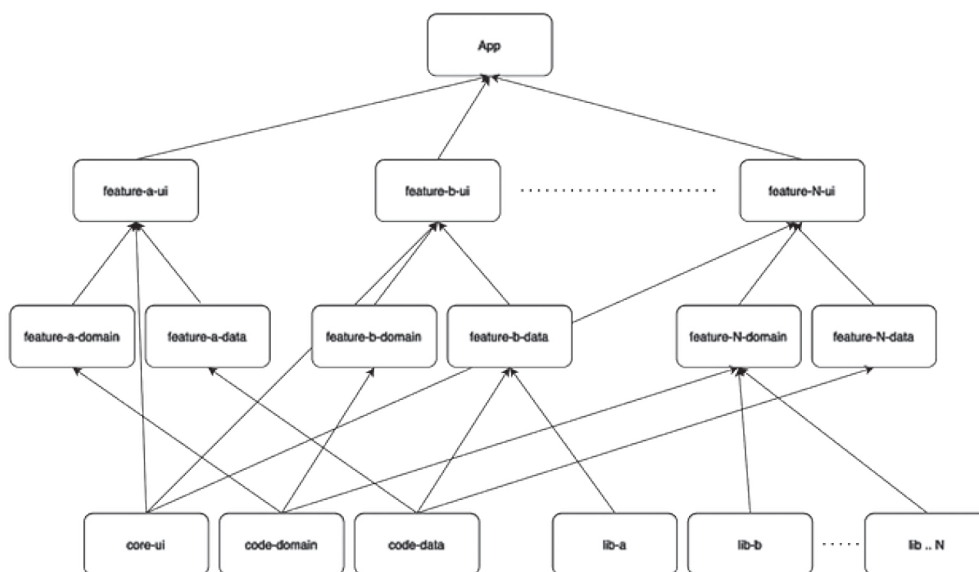


Рис. 2. Проект із 59 модулів

пами модульності. Наступним кроком була зроблена його копія та об'єднані підмодулі функцій в один модуль. Наприклад, функція А має модулі даних, домену та інтерфейсу користувача. Було зроблено переміщення даних та класів домену в модуль інтерфейсу користувача, таким чином, маючи 3 модулі для 1 функції, отримали лише один. За таким алгоритмом вдалось зменшити кількість модулів до 33 (рис. 3).

Третій етап, тестувався додаток з тим самим кодом, але об'єднаний в один модуль.

Перелічимо операції, які вимірювались при збиранні проєкту:

- ./gradlew clean – важливе завдання при перемиканні гілки проєкту;
- ./gradlew assembleDevDebug – операція виконується кожного разу, коли натискається «Створити проєкт» або «Запустити програму» в Android Studio;
- ./gradlew assembleDevDebug –offline – використання офлайн-режиму;
- ./gradlew assembleDevRelease – перевірка якості збірки;
- ./gradlew assembleDevDebug – але без очищення проєкту, щоб перевірити, як кількість модулів впливає на інкрементні збірки.

Завдання assembleDevDebug в монолітному проєкті показує найкращий час (табл. 1). Середній час на 5 запусках – 75,4 с. Проєкт з 33 модулями працював на 19,6 секунди довше, тобто на 26% довше. А 59-модульний проєкт працював на 37% довше. Як бачите, монолітний проєкт показує найкращий час збирання.

На тривалість завдання assembleDevRelease найбільше впливає кількість модулів (табл. 1). Чим більше модулів, тим довше він працюватиме.

Складання збірки випуску для проєкту з 59 модулів займає на 50% більше часу, порівняно з проєктом з одним модулем.

Завдання assembleDevDebug, без очищення після кожного виконання, показує, що поетапне збирання значно довше в багатомодульному проєкті (табл. 1).

Результати експерименту показали, що конфігурація з одним модулем продемонструвала найменший час збирання, тоді як підхід із багатьма модулями призвів до довшої тривалості компіляції. Загалом експеримент дав цінну інформацію про компроміси між монолітною та модульною архітектурами, підкреслюючи важливість вибору найбільш прийняттого підходу на основі вимог до проєкту та бажаних результатів.

Висновки. У даній роботі ми розглянули дві основні архітектурні стратегії розробки програмних додатків: монолітна та модульна. Монолітна архітектура передбачає розроблення програми як єдиного інтегрованого блоку, що спрощує тестування та обслуговування. З іншого боку, модульна архітектура дозволяє розділити програму на незалежні модулі з чітко визначеними інтерфейсами, що сприяє кращому обслуговуванню, багаторазовому використанню та масштабованості. Проведене дослідження показало, що впровадження модульності може призвести до деяких недоліків, зокрема збільшення складності конфігурації збірки та збільшення часу синхронізації Gradle при наявності великої кількості модулів. Результати показали, що кількість модулів безпосередньо впливає на час збірки. У випадку експерименту з тестуванням різних підходів, проєкт з монолітною архітектурою демонстрував найкращі результати,

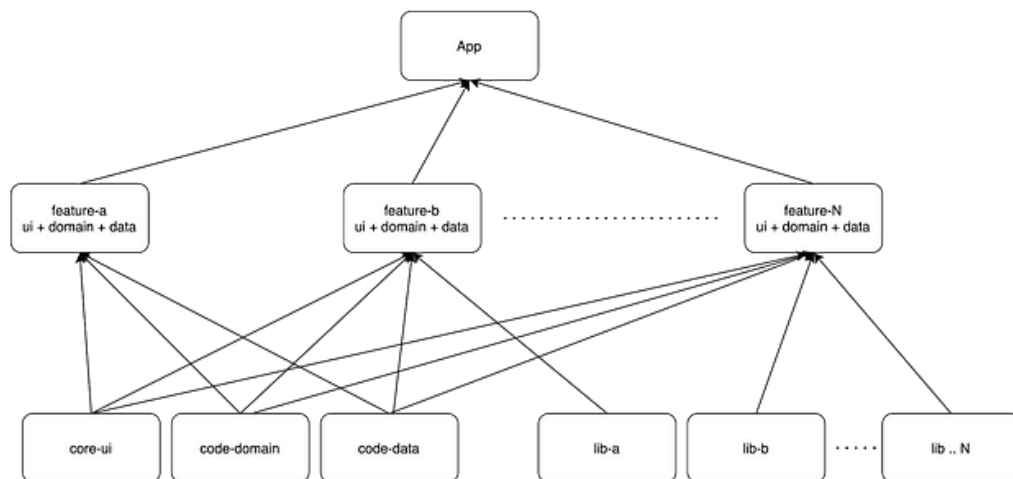


Рис. 3. Проєкт із 33 модулів

Тестування операцій

Показники	Операція assembleDevDebug			Операція assembleDevRelease			Операція assembleDevDebug без очищення		
	1 модуль	33-модуля	59-модулів	1 модуль	33-модуля	59-модулів	1 модуль	33-модуля	59-модулів
1 запуск (с)	80	98	102	185	261	331	2	7	13
2 запуск (с)	74	95	104	174	229	249	2	7	11
3 запуск (с)	74	94	102	194	238	260	2	7	10
4 запуск (с)	75	94	106	216	268	283	2	7	11
5 запуск (с)	74	94	104	225	336	368	2	7	10
Середнє значення	75,4	95	103,6	198,8	266,4	298,2	2	7	11
Дельта (с)	0	19,6	28,2	0	67,6	99,4	0	5	9
Дельта (%)	0	26	37	0	34	50	0	250	450

з найменшим часом збирання порівняно з багато-модульним проектом. Таким чином, дана робота надає цінну інформацію про компроміси між моно-

літною та модульною архітектурами та підкреслює важливість вибору оптимального підходу залежно від вимог до проекту та бажаних результатів.

Список літератури:

1. ROS-based architecture for fast digital twin development of smart manufacturing robotized systems / C. Saavedra Sueldo et al. *Annals of operations research*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s10479-022-04759-4> (date of access: 15.07.2023).
2. Pallewatta S., Kostakos V., Buyya R. Placement of Microservices-based IoT Applications in Fog Computing: A Taxonomy and Future Directions. *ACM Computing Surveys*. 2023. URL: <https://doi.org/10.1145/3592598> (date of access: 21.07.2023).
3. Multi-service prevention programs for pregnant and parenting women with substance use and multiple vulnerabilities: Program structure and clients' perspectives on wraparound programming / D. Rutman et al. *BMC Pregnancy and Childbirth*. 2020. Vol. 20, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s12884-020-03109-1> (date of access: 22.07.2023).
4. Jaskot K., Przyłucki S. Analysis of selected features of application based on monolithic and microservice architecture. *Journal of Computer Sciences Institute*. 2022. Vol. 25. P. 393–400. URL: <https://doi.org/10.35784/jcsi.3061> (date of access: 22.07.2023).
5. Nugraha A. R., Talita A. S. Mobile Application Architecture Restructuring with Microservice Approach. *Journal of Information Technology and Computer Science*. 2021. Vol. 5, no. 3. URL: <https://doi.org/10.25126/jitecs.202053239> (date of access: 25.07.2023).
6. Shkaruplyo V. A technique of DEVS-driven validation. 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, Ukraine, 23–26 February 2016. 2016. URL: <https://doi.org/10.1109/tcset.2016.7452097> (date of access: 25.07.2023).
7. Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В. Оцінювання просторової складності задачі формальної верифікації, вирішуваної методом перевірки на моделі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія «Технічні науки»*, 2020. Том 31 (70), № 5. С. 147–151. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/24> (дата звернення 25.07.2023).
8. Шкарупило В.В., Душеба В.В., Скрупський С.Ю., Блінов І.В. Стратифікована модель подання нефункціональних характеристик системи критичного призначення при проектуванні. *Електронне моделювання*, 2022. Т. 44, № 2. С. 90–106. ISSN 0204–3572. URL: <https://doi.org/10.15407/emodel.44.02.090> (дата звернення 25.07.2023).
9. JUnit, OO design patterns. CSE 331, Spring 2011, Section 4 cheat sheet. URL: <https://courses.cs.washington.edu/courses/cse331/11sp/sections/section4-cheat-sheet.pdf> (date of access: 25.07.2023).
10. Methodology for Performance Analysis of Distributed Knowledge-Based Systems / N. Kulykovska et al. *Computer Modeling and Intelligent Systems*. 2021. Vol. 2864. P. 206–215. URL: <https://doi.org/10.32782/cmis/2864-18> (date of access: 28.07.2023).
11. Ganguli A., Slyne F., Ruffini M. Real-time, low latency virtual DBA hypervisor for SLA-compliant multi-service operations over shared Passive Optical Networks. *Optical Fiber Communication Conference*, San Diego California. Washington, D.C., 2023. URL: <https://doi.org/10.1364/ofc.2023.tu3f.2> (date of access: 28.07.2023).

Kulykovska N.A., Rudenko V.V., Timenko A.V., Shkarupylo V.V. INVESTIGATING BUILD TIMES FOR APPLICATIONS BUILT ON MODERN DEVELOPMENT STRATEGIES

The article is devoted to application development strategies that cover various approaches to the organization and creation of software systems. Monolithic architecture involves the development of the entire program as a single integrated unit, which ensures simplicity and ease of testing and maintenance. A modular architecture divides applications into independent modules with well-defined interfaces, providing better maintainability, reusability, and scalability. It enables parallel operation, improves ownership, encapsulates code, and facilitates dynamic code delivery and reuse. However, implementing modularity can lead to some disadvantages, such as increasing the complexity of the build configuration and longer synchronization time of Gradle with too many modules. A study was conducted where the results showed that the number of modules directly affects the build time. Testing was conducted in three stages. The first is an original project built on the principles of modularity. The next step was to make a copy of it and combine the function submodules into one module. The third stage, the application with the same code, but combined into one module, was tested. A 59-module project demonstrated a 37% longer build time compared to a single-module project. Staged builds in a multi-module project also took significantly longer. Experimental results showed that the single-module configuration demonstrated the lowest build time, while the multi-module approach resulted in longer compilation times. Overall, the experiment provided valuable insight into the trade-offs between monolithic and modular architectures, highlighting the importance of choosing the most appropriate approach based on project requirements and desired outcomes.

Key words: modular architecture, build time, applications, modeling, architecture.

Марчук Г.В.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Левківський В.Л.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Марчук Д.К.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Муковоз В.С.

Державний університет «Житомирська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ І АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ЧАТ-БОТУ ЗІ ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ CHATGPT

Машинне навчання і штучний інтелект наразі є одними з найактивніших сфер наукової діяльності. Моделі машинного навчання використовуються в різних галузях: від автоматизованого визначення діагнозу в медицині до автономних автомобілів і системи рекомендацій в онлайн-платформах. Чат-боти, зокрема, стають все більш поширеними завдяки їх здатності автоматизувати комунікацію з користувачами та вирішувати широкий спектр задач. ChatGPT – це потужний інструмент для генерації тексту і ведення діалогу. Його можливості, особливості та принципи роботи роблять його важливою моделлю в області штучного інтелекту і машинного навчання. Метою статті є огляд мовних моделей мови, дослідження можливостей і аналіз роботи GPT-4 та проведення порівняльного аналізу між моделями GPT-3.5 і GPT-4. В результаті проведених досліджень було проаналізовано можливості ChatGPT. Було розглянуто особливості роботи та теоретичні основи мовних моделей. Проведено діалог з ботом, який показав, що відповіді на різні питання були отримані, але відрізнялися якістю. При порівнянні результатів роботи моделей GPT-3.5 і GPT-4 можна підкреслити більш чіткі та логічні результати отримані в чаті GPT-4. При пошуку відповідей GPT-3.5 потрапляє в логічні пастки, які GPT-4 може успішно оминути. GPT-4, хоч і краща за GPT-3.5 у всіх аспектах, але все ще має проблеми та недоліки – знання про світ все ще обмежені. Ставлячи питання природною мовою, GPT-3.5 не завжди міг розуміти питання і доводилося розширювати, створювати підказки чи зовсім перефразувати запит. В цьому питанні GPT-4 буде значно краще передбачати наміри користувачів. Але GPT-4 також не завжди може дати достовірні відповіді, а також за рахунок неправдивої інформації може надати хибні результати. Розробники вказують на те, що недоліки залишаються і в GPT-4, але їх значно менше порівняно з попередніми моделями. За оцінками розробників нова модель отримала на 40% більше балів, ніж GPT-3.5. Загалом дослідження надає цінні висновки з приводу використання моделей GPT у різноманітних сферах застосування, і демонструє потенціал їх використання для розв'язання складних задач.

Ключові слова: ChatGPT, GPT-3.5, GPT-4, штучний інтелект, нейронна мережа, мовна модель.

Постановка проблеми. Розвиток сучасних технологій в області штучного інтелекту та машинного навчання став справжньою революцією в останні десятиліття. Досягнення в галузі обробки природної мови дозволяють створювати все більш складні і реалістичні чат-боти. Вони стають важливими помічниками в багатьох сферах: від обслуговування клієнтів до внутрішніх корпоративних потреб, забезпечуючи швидку та ефективну взаємодію з користувачем. Одним з найвідоміших та найпередовіших чат-ботів є ChatGPT, розроблений компанією OpenAI.

18 лютого 2023 року віце прем'єр-міністр з інновацій, розвитку освіти, науки та технологій –

Міністр цифрової трансформації Михайло Федоров заявив, що ChatGPT розблоковано для використання в Україні [1]. На сьогодні це революційна технологія, яка дуже швидко входить у життя людства, охоплює чи не всі сфери нашого буття. Тому перш за все треба дослідити можливості чату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні методи штучного інтелекту застосовуються у різних сферах. Часто у програмних системах стали з'являтися чат-боти, які допомагають у повсякденному житті, полегшують отримання інформації. Автори робіт [2, 3] демонструють програмний продукт з використанням методів

штучного інтелекту для пошуку вільного місця на парковці. Використовуючи чат-бот, можна здійснювати пошук вільних місць, витрачаючи при цьому мінімум часу.

Нещодавно штучний інтелект у науці зробив ще один крок вперед, випустивши програмне забезпечення високої мовної моделі ChatGPT. Його почали застосовувати у різних сферах, одночасно перевіряючи правильність роботи. Великі мовні моделі виявилися корисними в багатьох областях, включаючи розмовних агентів, освіту та зрозумілий штучний інтелект. У статті [4] підкреслено дивовижну упередженість ChatGPT, пов'язану з використанням цифр у числах. Також показані деякі переваги ChatGPT, розробленого як розмовний агент, і обговорено деякі його обмеження. Мехмед Фірат [5] досліджує як ChatGPT може змінити автодидактичний досвід і відкрити освіту. Автор вважає ChatGPT багатообіцяючим інструментом для відкритої освіти, оскільки він може покращити незалежність і автономію учнів, які знаходяться на самонавчанні. ChatGPT має потенціал для підвищення мотивації та залученості серед цих учнів. У роботі "Potential Use of Chat GPT in Global Warming" аналізується потенційне використання ChatGPT у глобальному потеплінні [6]. Підкреслено, що ця технологія надає дослідникам і політикам потужний інструмент для створення та аналізу різних кліматичних сценаріїв на основі широкого діапазону вхідних даних, а також для підвищення точності кліматичних прогнозів. Сом Бісвас (Som S. Biswas) [7] проводить дослідження ролі ChatGPT у громадському здоров'ї. У роботі розглянуто потенційне використання ChatGPT у сфері охорони здоров'я, а також переваги та недоліки його використання. Малік Саллам [8] визначає корисність ChatGPT в медичній освіті, дослідженнях і практиці. Однак використовувати цей чат-бот слід дуже обережно, враховуючи його потенційні обмеження. У поточному стані ChatGPT не відповідає вимогам бути зазначеним як автор у наукових статтях.

У роботі [9] проведено оцінку точності та надійності медичних реакцій, згенерованих штучним інтелектом на основі ChatGPT. Дослідження побудовано на основі запитань лікарів до ChatGPT. Бот генерував значною мірою точну інформацію для різноманітних медичних запитів, згідно з оцінкою академічних лікарів-спеціалістів, хоча з важливими обмеженнями. У роботі [10] було повідомлено про розробку GPT-4, великомасштабної мультимодальної моделі, яка може приймати вхідні зображення та текст і надавати відповіді у текстовому вигляді. Хоча GPT-4 менш здатна, ніж людина, у багатьох сценаріях реального світу, вона демонструє ефективність на рівні людини в різних професійних і академічних тестах. GPT-4 – це модель на основі Transformer,

попередньо навчена передбачати наступний маркер у документі. Процес узгодження після тренінгу призводить до покращення показників фактичності та дотримання бажаної поведінки. Це дозволило авторам точно передбачити деякі аспекти продуктивності GPT-4 на основі моделей, навчених не більше ніж 1/1.

Метою даної роботи є комплексне дослідження та аналіз чат-боту на основі штучного інтелекту ChatGPT, що включає в себе ознайомлення з теоретичними основами трансформерних моделей мови, які лежать в основі його роботи, а також практичне вивчення його роботи через проведення експериментів і аналіз отриманих результатів.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань:

- ознайомлення з теоретичними основами трансформерних моделей мови;
- дослідження основних можливостей GPT-4;
- проведення порівняльного аналізу між GPT-3.5 і GPT-4.

Виклад основного матеріалу. Все більш доступними стають великі мовні моделі (Large Language Model, LLM), найвідоміші з них належать до сімейства моделей Generative Pre-trained Transformer OpenAI, які зазвичай називаються GPT. У роботі [11] доведено, що досягнення значного приросту продуктивності моделей можливе, і автори пропонують підказки щодо того, які моделі (Трансформери) і набори даних (текст із довгостроковими залежностями) найкраще працюють із цим підходом.

На даний час існує вже чотири моделі ChatGPT. GPT-1 представлений у 2018 році. Основна ідея полягала в тому, щоб попередньо навчити модель на великому наборі даних, а потім адаптувати її до конкретних завдань.

GPT-2 був випущений в 2019 році і став набагато потужнішим за свого попередника. Він мав 1,5 мільярда параметрів і здатний генерувати дуже переконливий текст.

Коли велика мовна модель навчена на достатньо великому та різноманітному наборі даних, вона здатна добре працювати в багатьох доменах і наборах даних. GPT-2 забезпечує найсучаснішу продуктивність на 7 із 8 протестованих наборів даних моделювання мови. Різноманітність завдань, які модель здатна виконувати в нульових умовах, свідчить про те, що високопродуктивні моделі, навчені максимізувати ймовірність достатньо різноманітного текстового корпусу, починають вчитися виконувати дивовижну кількість завдань без необхідності явного контролю [12].

GPT-3, представлений в 2020 році, є найбільшою моделлю зі 175 мільярдами параметрів. Ця модель може генерувати текст, що здатний обдурити людей, відповідати на запитання, писати есе та виконувати інші завдання.

GPT-4 має значно більше параметрів. Дана модель випущена 14 березня 2023 року і доступна для користувачів платної версії – ChatGPT Plus. Вважається, що GPT-4 надійніший, креативніший та здатний обробляти набагато складніші інструкції, ніж GPT-3.

Всі моделі можуть генерувати переконливий текст, відповідати на запитання, перекладати мови тощо. Однак, у них також є недоліки. Вони вимагають величезних обсягів даних для навчання і величезних ресурсів для роботи. Крім того, вони можуть генерувати помилкову, неточну або навіть шкідливу інформацію.

Особливості ChatGPT: архітектура, навчання, генерація відповіді.

ChatGPT є вражаючим прикладом використання архітектури Transformer для побудови чат-ботів. Transformer – це спеціальна модель нейронної мережі, розроблена для обробки послідовностей мовних даних. Вона використовує механізм, відомий як "self-attention", щоб модель могла враховувати контекст всього вхідного тексту при генерації відповіді [13]. Ця архітектура має низку переваг над традиційними моделями послідовностей, такими як LSTM та GRU, включаючи краще масштабування та можливість паралельного обчислення.

Одним з ключових особливостей моделі GPT є те, що вона генеративна, а не дискримінативна. Це означає, що вона генерує вихідні дані, а не просто класифікує їх в задані категорії. Це робить модель особливо потужною для завдань, таких як генерація тексту.

ChatGPT навчається на великих наборах даних, які складаються з різних видів текстів, таких як книги, статті, веб-сторінки тощо. Процес попереднього тренування полягає в тому, щоб навчити модель прогнозувати наступне слово в реченні на основі всіх попередніх слів. Під час цього процесу модель навчається на великій кількості синтаксичних та семантичних особливостей мови.

Навчання моделі проходить у два етапи. Перший – це перед тренування, коли модель навчається прогнозувати наступне слово в реченні на основі всіх попередніх слів. Другий етап – це тонка настройка, коли модель навчається на конкретних завданнях або даних, які ми хочемо, щоб вона виконувала.

Після навчання модель може генерувати відповіді на вхідні запити. Вона робить це, використовуючи той же принцип, який використовувала під час навчання: прогнозує наступне слово на основі всіх попередніх слів, а потім продовжує цей процес, поки не сформує відповідь.

Однак варто зазначити, що відповіді ChatGPT генеруються статистично, і модель не має реаль-

ного розуміння мови або змісту. Вона не має свідомості або розуміння світу за межами того, що було включено в її навчальні дані.

ChatGPT був навчений на великій кількості англійських текстів, тому краще справляється з англійською мовою. Однак, чат також може генерувати текст на інших мовах, які були представлені в навчальному наборі. Це робить його поліглотичним до певної міри, але його можливості з іншими мовами можуть бути обмеженими, особливо з мовами, які значно відрізняються від англійської за структурою та синтаксисом.

Аналіз роботи GPT-4: приклади діалогів, якістю відповідей на різні типи запитів.

Основні функції, які може виконувати ChatGPT:

1. Відповіді на загальні запитання.

Чат може надати інформацію з різних галузей знань, відповідати на загальні запитання, надавати пояснення та допомагати розуміти складні поняття. Наприклад, чат-боту було поставлено запитання «Розкажи коротко що вивчає курс "Мови інтелектуального аналізу даних"». Результат відповіді зображено на рисунку 1.

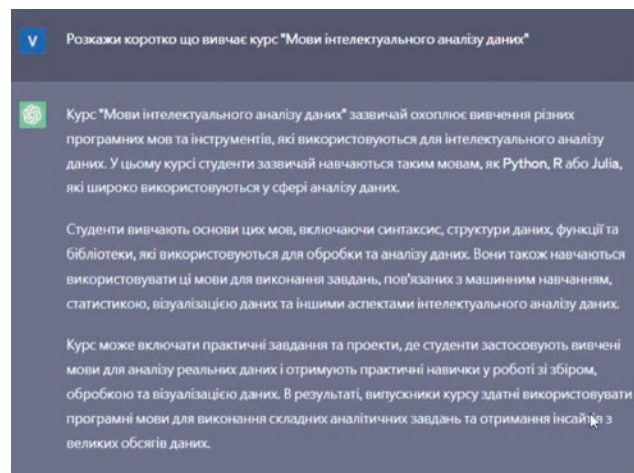


Рис. 1. Відповідь на запитання

Проаналізувавши відповідь (див. рис. 1) можна побачити, що чат-бот намагався максимально стисло розповісти, що являє собою курс «Мови інтелектуального аналізу даних», що студенти вивчають під час його проходження та які практичні завдання вони виконують.

2. Допомога з письмовими завданнями.

Чат може допомогти у написанні есе, статей, листів, резюме тощо. Для того щоб перевірити як чатбот впорається з цим завданням йому було задане наступну умову «Напиши невеличку статтю для шкільної газети в якій розповідається про перемогу шкільної команди по футболу «Бобринята» у чемпіонаті між школами (100–200 слів)». Результат зображено на рисунку 2.

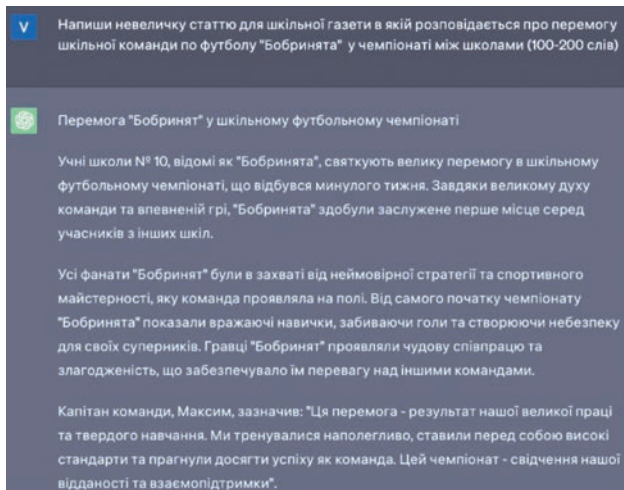


Рис. 2. Уривок статті «Бобринята»

Під час постановки завдання було вказано бажаний об'єм інформації, який повинен складати 100–200 слів, кількість слів якими відповів чат-бот становить 226. Також слід зазначити, що відповідь ChatGPT задовольняє вимоги невеликої статті для шкільної газети. У ній пояснюється про перемогу команди «Бобринята» у шкільному футбольному чемпіонаті, використовуються підходящі слова та описуються успіхи команди.

3. Переклад.

ChatGPT може допомогти з перекладом тексту з однієї мови на іншу, надати загальний переклад або допомогти зрозуміти значення виразів чи фраз. Для перевірки цього уміння чат-боту, було обрано переклад фразеологізмів української мови на англійську з поясненням. Результат зображено на рисунку 3.

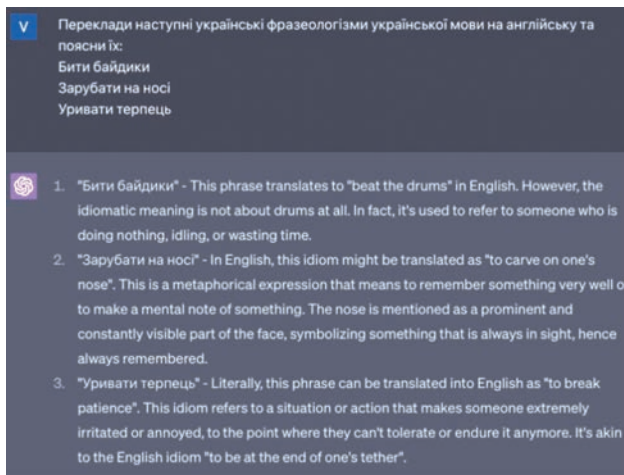


Рис. 3. Переклад фразеологізмів

Аналізуючи відповідь можна побачити, що ChatGPT досить точно переклав усі фразеологізми, пояснив їх та навіть навів приклади на англійській мові.

4. Генерація ідей.

ChatGPT може допомогти генерувати ідеї для літературної творчості, маркетингової діяльності, назв продуктів тощо. Чату можна поставити запитання або описати ситуацію, і він намагатиметься запропонувати кілька підходящих варіантів. Для прикладу цієї функції було вирішено задати завдання придумати назву для ІТ-компанії. Результат зображено на рисунку 4.

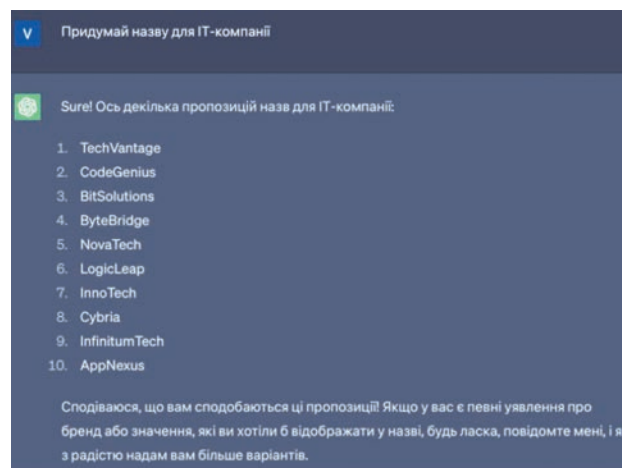


Рис. 4. Генерація назви для ІТ-компанії

На рисунку 4 зображені запропоновані варіанти назв для ІТ-компанії, які згенерував ChatGPT, також він запропонував вказати більше деталей про бренд, щоб можна було згенерувати більш точні назви.

5. Розваги та загальна розважальна інтеракція.

Чат може відтворювати роль співбесідника в різних ситуаціях, відтворювати діалоги, анекдоти та історії. Також може задавати загадки, грати в слова, проводити вікторини тощо. Для того, щоб перевірити дану функцію, чат-боту було поставлено завдання вигадати історію в якій він у минулому гонщик «Формули 1» та розповідає про свій виступ. Відповідь ChatGPT зображена на рисунку 5.

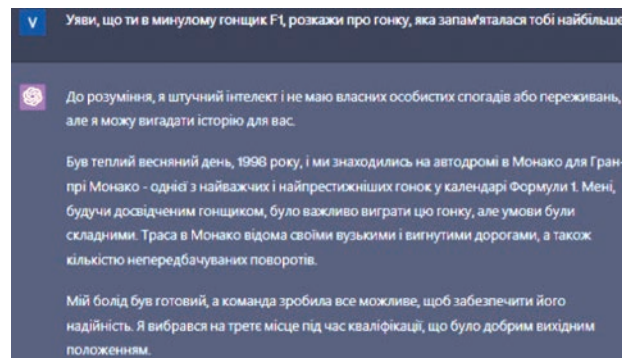


Рис. 5. Фрагмент генерація історії

Проаналізувавши відповідь, слід зазначити, що результат було згенеровано, враховуючи реальні аспекти гонок «Формули 1», включаючи стратегію гонщиків, технічні проблеми, які можуть виникнути, та важливість психології в гонках.

6. Крім того ChatGPT може написати, проаналізувати та пояснити програмний код. Для цього чат-боту було поставлено завдання написати алгоритм обходу графа за допомогою пошуку в ширину на мові JavaScript (рис. 6).

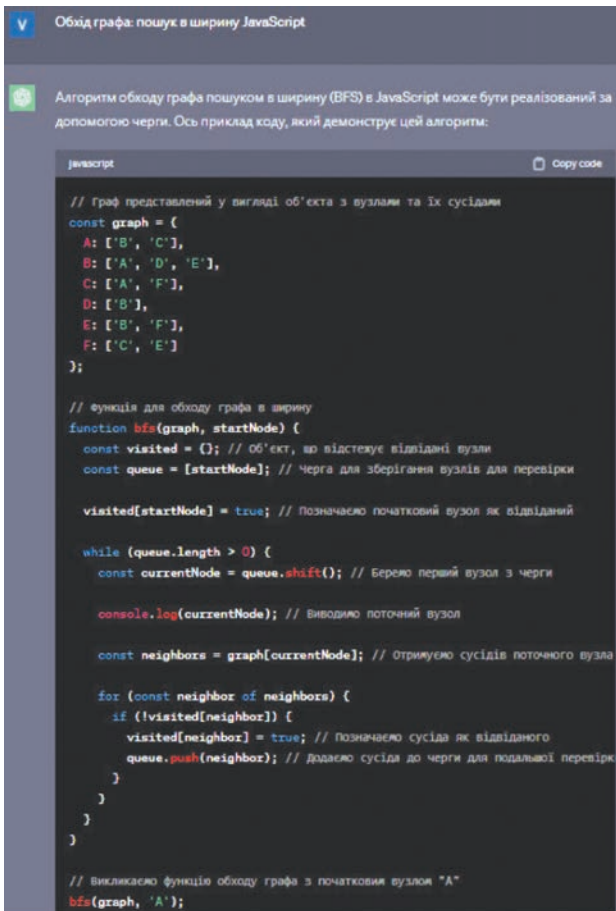


Рис. 6. Генерація програмного коду за допомогою ChatGPT

На рисунку 6 зображено програмний код, що відповідає поставленому завданню, також можна побачити, що ChatGPT вставив коментарі до коду які полегшують розуміння і читання цього коду. Програмний код було скопійовано і він виявився працюючим.

Також чат-боту був наданий наступний фрагмент коду з запитом пояснити його (рис. 7).

Відповідь зображена на рисунку 8.

Аналізуючи відповідь на поставлену задачу (див. рис. 8), можна зазначити, що надана інформація про код бінарного пошуку є вірною і точно пояснює його роботу.

```

1- function binarySearch(sortedArray, key){
2  let start = 0;
3  let end = sortedArray.length - 1;
4- while (start <= end) {
5    let middle = Math.floor((start + end) / 2);
6-    if (sortedArray[middle] === key) {
7      return middle;
8-    } else if (sortedArray[middle] < key) {
9      start = middle + 1;
10-    } else {
11      end = middle - 1;
12    }
13  }
14  return -1;
15  }
```

Рис. 7. Код для пояснення



Рис. 8. Пояснення наданого коду

7. Також ChatGPT може оформлювати свої відповіді у вигляді таблиці. Для того щоб перевірити як чатбот впорається з цим завданням йому було задане наступне завдання: “Склади таблицю плюсів та мінусів мови програмування JavaScript” (рис. 9).

Порівняння роботи GPT-3.5 та GPT-4: приклади діалогів, аналіз відповідей GPT-4 і GPT-3.5 – це потужні мовні моделі, які генерують текст природною мовою з великого обсягу даних. GPT-4 – це найновіша і найдосконаліша версія на даний час, яка також може обробляти зображення як вхідні дані. Окрім того ця модель має більше даних та обчислювальної потужності, ніж GPT-3.5, що робить її більш точною, креатив-

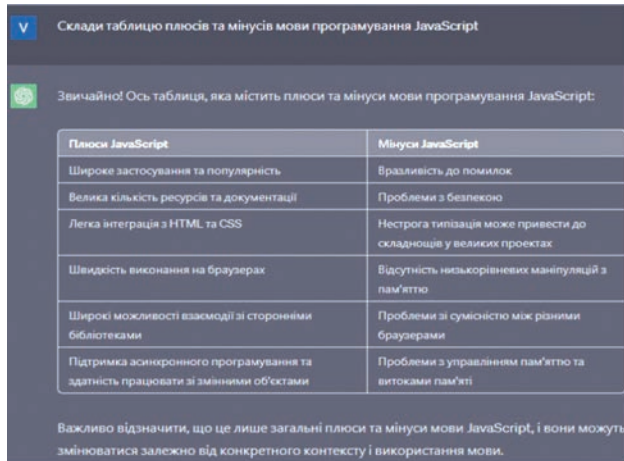


Рис. 9. Приклад оформлення відповіді у вигляді таблиці

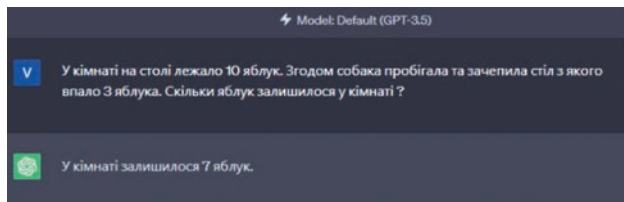


Рис. 10. Результат вирішення задачі моделлю GPT-3.5

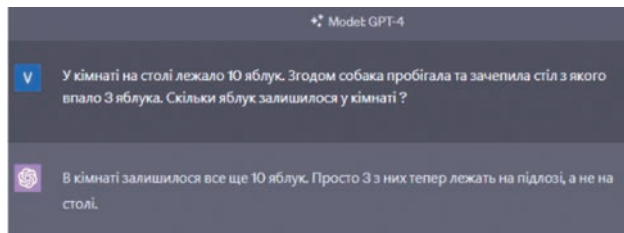


Рис. 11. Результат вирішення задачі моделлю GPT-4

ною та надійною у вирішенні складних завдань. GPT-4 може обробляти розмови більш глибоко і відповідати з підвищеною точністю і влучністю.

Порівняння моделей GPT-3.5 та GPT-4 наведено в таблиці 1.

Більша кількість параметрів вказує на те, що модель GPT-4 краще пристосована до вивчення та узагальнення закономірностей на основі даних, на яких вона тренувалася. Таким чином, вона може генерувати більш зв'язний, контекстний і доречний текст.

Це допомагає GPT-4 створювати вільні результати навіть на складних завданнях, які вимагають глибшого розуміння та креативності. Це свідчить про те, що GPT-4 здатен виконувати людські завдання з належним рівнем інтелекту. Щоб переконатися у цьому, дамо змогу цим двом моделям вирішити задачу на логіку: «У кімнаті на столі лежало 10 яблук. Згодом собака пробігала та зачепила стіл з якого впало 3 яблука. Скільки яблук залишилося у кімнаті?». Результат відповіді моделі GPT-3.5 зображено на рисунку 10 та GPT-4 на рисунку 11.

Проаналізувавши відповіді на рисунках 10 та 11 можна побачити, що модель GPT-3.5 зробила помилку, в той час як GPT-4 відповіла вірно. GPT-3.5 потрапляє в логічні пастки, які GPT-4 успішно минає у тестах. GPT-4, хоч і краща за GPT-3.5 у всіх аспектах, але все ще має проблеми та недоліки. Вона робить, іноді, хоча і не завжди, прості помилки в міркуваннях; і може бути довірливою, коли користувачі надають неправдиву інформацію.

Таблиця 1

Порівняння моделей GPT-3.5 та GPT-4

Критерій порівняння	GPT-3.5	GPT-4
Розробник	OpenAI	OpenAI
Дата випуску	15 березня 2022	14 березня 2023
Попередник	GPT-3	GPT-3.5
Тип	Генеративний попередньо навчений трансформер; велика мовна модель; фундаментальна модель	Авторегресійний мультимодальний генеративний попередньо навчений трансформер; велика мовна модель; фундаментальна модель
Основні характеристики	Включає моделі з редагуванням та вставкою, тренується на даних до червня 2021	Може приймати зображення та текст як вхід, використовує системні повідомлення для управління моделлю, може взаємодіяти з зовнішніми інтерфейсами
Основні вдосконалення	Використовує навчання з учителем для більш точного налаштування	Більш надійний, креативний, може обробляти більш нюансовані інструкції, включає контекстні вікна 8,192 та 32,768 токенів
Моделі	text-davinci-002, text-davinci-003, gpt-3.5-turbo	Деталі моделі GPT-4 не були розкриті

Висновки. В даній роботі було проведено комплексне дослідження та аналіз можливостей чат-боту на основі штучного інтелекту ChatGPT. Розглянуто особливості роботи моделі ChatGPT, включаючи аспекти її архітектури та механізмів генерації відповідей. Було розглянуто теоретичні основи трансформерних моделей мови. Проведено тестування функціональних можливостей у вигляді діалогу з ботом. Проаналізувавши приклади діалогів, було з'ясовано, що якість відповідей ChatGPT на різні типи запитів варіюється, але в цілому достовірні.

Також було проведено порівняльний аналіз роботи моделей GPT-3.5 та GPT-4. За результатами цього аналізу, можна стверджувати, що GPT-4 демонструє суттєве покращення в якості генерації тексту порівняно з GPT-3.5. Приклади діалогів ілюструють, як модель GPT-4 більш ефективно вирішує задачі, що ставляться перед нею.

Однак, не дивлячись на істотні поліпшення, які принесла GPT-4, є ще багато викликів, які необхідно подолати. Вони стосуються, зокрема, точності інформації, генерованої моделлю, та здатності моделі ефективно адаптуватися до контексту конкретного діалогу.

Список літератури:

1. «Я активно використовую чат GPT. Це мій AI-радник»: Михайло Федоров про технології штучного інтелекту на війні, у роботі Мінцифри та у власному досвіді», 2023. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/ya-aktivno-vikoristovuyu-chat-gpt-tse-miy-ai-radnik-mikhaylo-fedorov-pro-tekhnologii-shtuchnogo-intelektu-na-viyni-u-roboti-mintsifri-ta-u-vlasnomu-dosvidi>
2. Levkivskiy V., Marchuk D., Lobanchykova N., Pilkevych I., Salamatov D. Available parking places recognition system. CEUR Workshop Proceedings 4th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering Volume 3077 (2022). pp.123-134 URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper07.pdf>
3. Левківський В.Л., Марчук Г.В., Ципоренко В.В., Марчук Д.К. Комп'ютерна програма «Алгоритмічно-програмне забезпечення обробки та аналізу потоку кадрів відеоданих, що надходять з камер міста», 2021. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8019/109822.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Amos A. ChatGPT Usage and Limitations (2022). DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26616.11526>
5. Mehmet Firat. How Chat GPT Can Transform Autodidactic Experiences and Open Education? (2023). DOI: <https://doi.org/10.31219/osf.io/9ge8m>.
6. Biswas S.S. Potential Use of Chat GPT in Global Warming. Ann Biomed Eng 51, 1126–1127 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10439-023-03171-8>
7. Biswas S.S. Role of Chat GPT in Public Health. Ann Biomed Eng 51, 868–869 (2023). DOI: <https://doi.org/10.1007/s10439-023-03172-7>
8. Sallam M. ChatGPT Utility in Healthcare Education, Research, and Practice: Systematic Review on the Promising Perspectives and Valid Concerns. Healthcare. 2023; 11(6):887. DOI: <https://doi.org/10.3390/healthcare11060887>
9. Johnson, D., Goodman, R., Patrinely, J., Stone, C., Zimmerman, E., Donald, R., ... & Wheless, L. Assessing the Accuracy And Reliability Of Ai-generated Medical Responses: An Evaluation Of The Chat-gpt Model (2023). DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2566942/v1>
10. OpenAI. GPT-4 Technical Report, arXiv:2303.08774v3 (2023). DOI: <https://doi.org/10.48550/arxiv.2303.08774>
11. Radford, A., Narasimhan, K., Salimans, T., Sutskever, I. et al. Improving language understanding by generative pre-training. OpenAI (2018).
12. Radford, A., Wu, J., Child, R., Luan, D., Amodei, D., Sutskever, I. Language Models are Unsupervised Multitask Learners. Semantic Scholar (2019). URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Language-Models-are-Unsupervised-Multitask-Learners-Radford-Wu/9405cc0d6169988371b2755e573cc28650d14dfe>
13. Ashish V., Shazeer N.M., Parmar N., Uszkoreit J., Jones L., Gomez A.N., Kaiser L., Polosukhin I. Attention is All you Need. NIPS (2017). DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762> K.

Marchuk G.V., Levkivskiy V.L., Marchuk D.K., Mukovoz V.S. RESEARCH AND ANALYSIS OF CHATBOT CAPABILITIES WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE CHATGPT

Machine learning and artificial intelligence are currently one of the most active areas of scientific activity. Machine learning models are used in various industries: from automated diagnosis in medicine to autonomous cars and recommendation systems in online platforms. Chatbots, in particular, are becoming increasingly widespread due to their ability to automate communication with users and solve a wide range of tasks. ChatGPT is a powerful tool for text generation and dialogue. Its capabilities, features, and principles of operation make it an important model in the field of artificial intelligence and machine learning. The purpose of the article is to review linguistic models of the language, study the capabilities and analyze the operation of GPT-4, and conduct

a comparative analysis between GPT-3.5 and GPT-4. As a result of the conducted research, the capabilities of ChatGPT were analyzed. The features and theoretical foundations of language models were considered. A dialog with the bot was conducted, which showed that answers to various questions were received, but differed in quality. When comparing the results of GPT-3.5 and GPT-4 models, we can emphasize the clearer and more logical results obtained in the GPT-4 chat. When searching for answers, GPT-3.5 falls into logical traps that GPT-4 can successfully avoid. GPT-4, although better than GPT-3.5 in all aspects, still has problems and shortcomings – knowledge of the world is still limited. When asked a question in natural language, GPT-3.5 could not always understand the question and had to expand, create hints, or even rephrase the query. In this regard, GPT-4 will be much better at predicting user intentions. However, GPT-4 may also not always provide reliable answers, and it may also provide false results due to false information. The developers point out that GPT-4 still has some drawbacks, but they are much smaller compared to previous models. According to the developers, the new model received 40% more points than GPT-3.5. In general, the study provides valuable insights into the use of GPT models in various applications, and demonstrates the potential of their use for solving complex problems.

Key words: *ChatGPT, GPT-3.5, GPT-4, Artificial Intelligence, neural network, language models.*

Мовчан К.О.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки
та судових експертиз Служби безпеки України

РИЗИКИ КІБЕРБЕЗПЕКИ В ЕПОХУ РОБОТОТЕХНІКИ

Збільшення використання роботів у різних галузях, таких як медицина, транспорт, безпека, оборона та промисловість, на жаль, супроводжується зростаючою кількістю кібератак і загроз безпеці. Зрозуміло, що захист критичних інфраструктур від кібернетичних загроз має вирішальне значення для забезпечення безпеки і нормального функціонування суспільства.

У даній статті фокусується увага на комплексний підхід до кібербезпеки роботів, досліджуючи загрози, атаки та методи їх запобігання. Зрозуміло, що вразливі компоненти роботів включають дані, програмне забезпечення, мережі та обладнання. Для забезпечення цілісності, доступності і конфіденційності роботів рекомендується посилити шифрування, авторизацію/автентифікацію та забезпечити фізичний захист. Це допоможе уникнути перехоплення інформації, несанкціонованого доступу до роботів, а також впровадження шкідливих даних та програм.

Додатково, слід підкреслити важливість оцінки рівня кібербезпеки робототехнічних систем у різних галузях. Кожна сфера має свої особливості та унікальні загрози, тому необхідно вивчати їх з ціллю забезпечення адекватного захисту.

Зважаючи на швидкий розвиток безпілотних літальних апаратів (БПЛА), слід звернути увагу на ризики, пов'язані з їх використанням у зловмисних цілях. Кібератаки на БПЛА можуть мати серйозні наслідки, включаючи втручання у функціонування дронів та навіть можливість нанесення шкоди людям та навколишньому середовищу. Основний принцип упередження полягає у тому, щоб забезпечити надійний захист роботів від кібератак, що вимагає комплексних контрзаходів та вивчення новітніх технологій. Це включає розвиток методів шифрування, зміцнення систем авторизації та автентифікації, а також використання фізичних заходів безпеки, щоб запобігти несанкціонованому доступу до роботів.

У статті досліджуються майбутні виклики, зокрема у сферах штучного інтелекту, хмарних роботів та криміналістичного дослідження роботів. Дослідження та застосування штучного інтелекту може значно поліпшити продуктивність роботів, але також може відкрити нові ризики. Вивчення хмарних роботів допоможе зрозуміти, як хмарні технології можуть бути використані для підвищення кібербезпеки роботів. Криміналістичне дослідження роботів дозволить виявляти кібератаки та визначати їх винуватців, що є критично важливим для забезпечення кібербезпеки.

Ключові слова: кіберзахист, роботи, операційна система роботів, криміналістичне дослідження роботів, БПЛА, кумулятивне підсумовування.

Постановка проблеми. Останніми роками безпека комп'ютерів, пристроїв Інтернету речей, роботів і дронів стала критично важливою проблемою. В умовах, коли роботи розгортаються в життєво важливих місцях, а дрони набувають все більшого поширення, важливо розуміти їхні вразливості та потенційні загрози, щоб забезпечити безпеку як людей, так і машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Безпека роботів і дронів стала критично важливою проблемою через їхню вразливість і потенційні загрози. У випадку з роботами ризики для безпеки можуть виникнути випадково під час розробки або через невідповідних користувачів [1, 2], тоді як проблеми кібербезпеки можуть бути спричинені зловмисниками [3], які намагаються

використати важливі дані роботів і поставити під загрозу їхню цілісність, доступність і конфіденційність. Обмеження в авторизації/автентифікації [4, с. 64], шифруванні [5, с. 546] та фізичному захисті [6, с. 132] призводять до слабкої захищеності роботів і потребують модернізації. Атаки на роботів можуть призвести до різних наслідків, включаючи крадіжку інформації, глушіння бездротового зв'язку, маніпулювання поведінкою або командами [1], маніпуляції з даними [7, с. 174], фізичне пошкодження [8, с. 88] і підробку/шпиунство [5, с. 546].

Різними авторами були проведені дослідження з питань безпеки роботів. В їх роботах розглядаються атаки на безпеку, вразливості, пов'язані з ними ризики, а також надаються рекомендації

та вимоги [9] щодо захисту роботів від зловмисників. У інших дослідженнях автори звертають увагу на такі більш поширені загальні вразливості та вектори атак, як операційна система роботів (ROS – Robotic Operating System) [10, с. 192], з акцентом на перевагу вразливостей, пов'язаних з програмним забезпеченням.

Незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам захищеності роботів та дронів, стрімкий розвиток цих систем зумовлює потребу подальших досліджень цієї тематики.

Метою статті є всебічний аналіз і цілеспрямоване дослідження проблем кібербезпеки, пов'язаних з роботами і безпілотними літальними апаратами. Розглядаються вразливості, загрози і наслідки, з якими стикаються ці технології, а також досліджуються методи їх захисту. Визначаючи сфери, які потребують подальшого дослідження, що у свою чергу сприяє кращому розумінню та зменшенню ризиків кібербезпеки у сфері робототехніки та безпілотників.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Сфера робототехніки стикається з різними проблемами кібербезпеки, включаючи фізичні атаки, мережеві атаки та атаки на операційні системи (ОС). Фізичні атаки спрямовані на апаратні компоненти роботів і можуть негативно вплинути на їхню продуктивність. Наприклад, хакери можуть маніпулювати мікроконтролерами роботизованого автомобіля, що призводить до помилкових інструкцій, пошкодження компонентів або розрядки акумулятора [11, с. 211]. Мережеві атаки використовують вразливості в датчиках і комунікаційних протоколах роботів [12, с. 174]. Ці атаки можуть включати введення неправдивих даних, масштабування вимірювань або компрометацію бездротових технологій, таких як NFC і Wi-Fi. Крім того, роботи з людиноподібними рисами [13, с. 1], такі як Pepper, вразливі до таких загроз, як підробка облікових даних для входу в систему, крадіжка даних і заподіяння фізичної шкоди людям, які перебувають поблизу робота.

Що стосується безпілотників, то їхня інформаційна безпека викликає значно більше занепокоєння. Багато дронів не мають захисту та шифрування бездротового зв'язку, що робить їх вразливими до атак [14, с. 10]. Наприклад, спуфінг-атаки можуть перехоплювати і змінювати інформацію GPS, надаючи хакерам повний контроль над безпілотником. Як і звичайні комп'ютери, дрони також вразливі до зараження шкідливим програмним забезпеченням, оскільки хакери можуть впроваджувати шкідливе програмне забезпечення в системи наземних

станцій через незахищені бездротові з'єднання дистанційного керування. Телеметричні дані, що використовуються для моніторингу безпілотників, часто передаються незахищеними бездротовими каналами [15, с. 115], що дозволяє перехоплювати дані, впроваджувати шкідливе програмне забезпечення та змінювати маршрути польоту. Оскільки дрони літають по заздалегідь запрограмованим та визначеним маршрутам, то маніпуляції із запрограмованими маршрутами безпілотників також несуть загрозу безпеці, оскільки це може призвести до крадіжки вантажу або доставки шкідливого вантажу. Технічні та експлуатаційні проблеми, такі як збої зв'язку, обмеження терміну служби акумуляторів і відсутність навичок пілотування, ще більше посилюють вразливість безпілотників. Природні фактори, такі як вітер, спека, дощ і туман, також можуть впливати на функціональність дронів. Крім того, дрони можуть бути перехоплені за допомогою методів глушіння Wi-Fi, що призводить до тимчасової або постійної втрати контролю над ними.

Виявлення та захист роботів від кібератак на фізичному рівні має вирішальне значення. Коли робот/дрон зазнає кібератаки, існують фізичні індикатори, які можуть допомогти ідентифікувати атаку, наприклад, зупинка робота і затримки у відповіді на навігаційні команди. Рішення для виявлення таких атак в основному реалізовані в людиноподібних роботах. Так один з підходів передбачає використання інтелектуального контроллера в поєднанні з роботом. Інтелектуальний контроллер має датчик, який вимірює параметри процесу, а логіка прийняття рішень порівнює ці вимірювання з обмеженнями. Якщо виникають будь-які порушення, активується тривога. Це рішення показало кращу ефективність у виявленні кібератак порівняно зі статистичними методами, такими як кумулятивне підсумовування (CUSUM – cumulative sum control chart) [16, с. 248].

Іншим запропонованим рішенням є інтеграція систем Intel SGX з компонентами ROS для підвищення загальної безпеки роботів [17, с. 491]. Це апаратне середовище з підтримкою безпеки, що забезпечує тестовий майданчик для роботів і гарантує безпечну обробку даних. Крім того, оновлене рішення ROS під назвою Trusted-ROS використовує апаратні обчислення для захисту незашифрованих даних, що зберігаються в пам'яті. Іншим рішенням для роботів, що використовують ROS – є використання контроллера, який обмежує поведінку робота, щоб запобігти проблемам безпеки і пом'якшити індукцію неправдивої інформації

ції та атаки на відмову в обслуговуванні (DoS – Denial of Service).

Одним із ключових аспектів захисту роботів на мережевому рівні є раннє виявлення аномалій і вторгнень. На практиці застосовуються різні методи, серед яких найчастіше використовуються машинне навчання (ML – machine language) і статистичні методи. ML особливо ефективний у системах виявлення злочинців, які використовують розпізнавання обличчя. Такі алгоритми, як аналіз головних компонентів (PCA – principle component analysis) і лінійний дискримінантний аналіз (LDA – linear discriminant analysis), можна застосовувати для ідентифікації злочинців на основі даних розпізнавання обличчя. Такі фактори, як якість, освітлення та бачення, також відіграють значну роль в ефективності цих систем [18, с. 150].

У випадку застосування методу виявлення аномалій у сенсорних мережах, можна досліджувати два підходи: виявлення неправильного використання та виявлення на основі аномалій. Виявлення зловживань передбачає зіставлення сигнатур атак із сигнатурами, що контролюються, що робить його ефективним для виявлення відомих атак, але менш ефективним проти нових типів атак. З іншого боку, виявлення на основі аномалій визначає відхилення від нормальних профілів даних [19, с. 1].

Інші підходи до систем виявлення вторгнень (IDS – intrusion detection system) включають статистичні методи, непараметричні методи, підходи на основі правил, CUSUM, кластеризації даних, щільності та підходи векторної підтримки [20, с. 34].

На рівні операційних систем роботів, таких як Linux і ROS, також було виявлено численні вразливості та кібератаки. Щоб зменшити небезпеку такого типу атак, пропонуються різні рішення та інструменти для захисту ROS:

1. захист ROS на прикладному рівні, інтегрований безпосередньо в ядро ROS;
2. використання такого програмного забезпечення, як Ice та Fast-RTPS;
3. для ефективного «пом'якшення» атак на зграї БПЛА використовується ROS 2 із функціями безпеки;
4. використання віртуальних платформ, таких як RESCHU-SA, для аналізу впливу дій людини на безпеку CPS (Cyber Physical System);
5. впровадження інфраструктури безпеки та контролю доступу для запобігання ненормальному введенню даних у системи БПЛА;

6. використання методів шифрування для захисту однорангових взаємодій між вузлами ROS;

7. пропонуються різні рішення на основі шифрування, такі як CryptoROS, SROS1 і ROSRV для безпеки ROS.

Ці рішення охоплюють широкий спектр методів, від інтеграції безпеки в ядро ROS до використання шифрування для захисту зв'язку між вузлами ROS, що підвищує безпеку роботизованих систем і захисту їх від потенційних кіберзагроз.

У сфері кібербезпеки роботів існує безліч інструментів і технологій, які відіграють вирішальну роль у забезпеченні вищого рівня безпеки, особливо коли роботи взаємодіють з людьми. Одним із фундаментальних аспектів є довіра до роботів, яка може мати значні наслідки. Коли люди довіряють роботу, вони можуть мимоволі розкрити йому особисту (конфіденційну) інформацію та охоче прийняти його рекомендації. Тому встановлення надійності роботів стає першочерговим. Крім того, під час взаємодії з роботами може швидко розвинуватися довіра та співпраця, особливо коли робот демонструє емоційну поведінку, яка впливає на людей і переконує їх. Розуміння впливу емоційних проявів роботи на прийняття рішень людиною має вирішальне значення для формування ефективної взаємодії між людиною та роботом.

Організація безпечної роботи робота в різних сценаріях має важливе значення. Наприклад, у промислових умовах роботи повинні бути захищені від потенційних кіберфізичних атак. Зловмисники можуть використовувати вразливі місця для отримання несанкціонованого доступу, потенційно завдаючи шкоди як роботам, так і навколишньому середовищу. Надійні системи виявлення вторгнень і заходи безпеки є життєво важливими для захисту промислових роботів.

У галузі медицини ставки ще вищі, оскільки роботи часто використовуються в критично важливих програмах охорони здоров'я. Вкрай важливо переконатися, що медичні роботи стійкі до атак, оскільки вторгнення може порушити життєво важливі функції, що призведе до небезпечних для життя наслідків. Впровадження надійного шифрування, контролю доступу та регулярних оцінок безпеки є важливими кроками для забезпечення безпеки медичних роботів і пацієнтів, з якими вони взаємодіють.

Крім того, роботи, які працюють у сфері реагування на катастрофи, стикаються з унікальними проблемами. Ці роботи можуть бути чутливими до бездротових перешкод, порушуючи зв'язок і координати під час рятувальних місій. Забезпечення

надійних протоколів зв'язку та систем резервного копіювання може підвищити стійкість роботів реагування на катастрофи проти кіберфізичних атак.

У військовому та поліцейському секторах роботи використовуються для спостереження та розвідки, і їхня безпека має першочергове значення для національної безпеки. Зловмисники можуть спробувати атакувати роботів використовуючи мережеві атаки. Але впровадження надійного шифрування та безпечних протоколів зв'язку може запобігти несанкціонованому доступу та захистити конфіденційні дані. До того ж, громадська безпека може бути під загрозою, якщо зловмисники зможуть маніпулювати роботами або дронами спостереження. Включення розширених механізмів автентифікації може захистити цих роботів, дозволяючи лише авторизованому персоналу контролювати та взаємодіяти з ними.

Сільськогосподарський сектор також покладається на роботів для виконання різноманітних завдань, і їх безпека є важливою для забезпечення безперебійної роботи. Безпілотні літальні апарати, які зазвичай використовуються в сільському господарстві, можуть бути вразливими до експлуатації через їх знаходження на відкритій місцевості. Впровадження фізичних засобів захисту та безпечних протоколів зв'язку може захистити цих роботів від несанкціонованого доступу та втручання.

Висновки. Поширення роботів у різних галузях промисловості зробило їх невід'ємною частиною нашого повсякденного життя. Однак, оскільки роботи стають все більш досконалими, пов'язані з цим ризики кібербезпеки також посилюються, що призводить до серйозних наслідків, почина-

ючи від фінансових втрат і закінчуючи потенційною шкодою для людського життя. Ця стаття містить комплексний огляд кібербезпеки роботів, зосереджуючись на трьох найважливіших аспектах: операційні системи, мережі та фізична безпека. Аналізуючи існуючі атаки та ризики, у статті наголошується на необхідності покращення автентифікації, авторизації, шифрування та заходів фізичного захисту для пом'якшення несанкціонованого доступу, маніпулювання даними та встановлення програмного забезпечення. Аналіз показує, що машинне навчання, статистичні методи та розпізнавання образів є поширеними методами виявлення атак і розуміння їх наслідків. Виявлені наслідки атак роботів включають маніпуляції поведінкою, фізичні пошкодження, крадіжки інформації, перешкоди бездротовій мережі, підробку, шпигунство та маніпуляції даними. Крім того, дослідження заглиблюється в реальні вразливості та слабкі сторони роботів, підкреслюючи важливість захисту їх від кіберзагроз. Стаття закладає основу для майбутніх досліджень шляхом виявлення відкритих проблем, таких як інтеграція штучного інтелекту (ШІ) у робототехніку, хмарну робототехніку та криміналістичне дослідження роботів. Слід зазначити, що ШІ має величезний потенціал для підвищення продуктивності роботів, масштабованості та когнітивних можливостей. Хмарна робототехніка, як нова тенденція в IoT і хмарних обчисленнях, заслуговує на значну увагу. Крім того, враховуючи зростаючу ймовірність того, що роботи стануть мішенню хакерів, дослідження криміналістичних методів, специфічних для роботів, має вирішальне значення.

Список літератури:

1. Yaacoub, J. P., Noura, H., Salman, O., Chehab A. Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations. *Internet of Things*, 11, Article 100218. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218>.
2. Fosch-Villaronga E., Mahler T. Cybersecurity, safety and robots: Strengthening the link between cybersecurity and safety in the context of care robots. *Computer Law & Security Review*, 41, Article 105528. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2021.105528>.
3. Wang C., Tok Y. C., Poolat R., Chattopadhyay S., Elara M. R. How to secure autonomous mobile robots? An approach with fuzzing, detection and mitigation. *Journal of Systems Architecture*, 112, Article 101838. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2020.101838>.
4. Jain S., Doriya R. Security issues and solutions in cloud robotics: A survey. In M. Prateek, D. Sharma, R. Tiwari, R. Sharma, K. Kumar, N. Kumar (Eds.), *Next generation computing technologies on computational intelligence*. Singapore: Springer Singapore. 2019. pp. 64–76.
5. Petit J., Shladover S. E. Potential cyberattacks on automated vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16, 2015, pp.546–556. <https://doi.org/10.1109/TITS.2014.2342271>.
6. Khalid A., Kirisci P., Khan Z. H., Ghrairi Z., Thoben K. D., Pannek J. Security framework for industrial collaborative robotic cyber-physical systems. *Computers in Industry*, 97, 2018, pp. 132–145. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.02.009>
7. Sabaliauskaitė G., Ng G., Ruths J., Mathur A. A comprehensive approach, and a case study, for conducting attack detection experiments in cyber-physical systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 98, 2017, pp. 174–191. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.09.018>

8. Cornelius G., Caire P., Hochgeschwender N., Olivares-Mendez M. A., Esteves-Verissimo P., Völp M., Voos H. A perspective of security for mobile service robots. In A. Ollero, A. Sanfeliu, L. Montano, N. Lau, C. Cardeira (Eds.), *ROBOT 2017: Third Iberian robotics conference*. pp. 88–100. Cham: Springer International Publishing. 2018.
9. Yaacoub J. P. A. Noura, H. N. Salman O., Chehab A. Robotics cyber security: Vulnerabilities, attacks, countermeasures, and recommendations. *International Journal of Information Security*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10207-021-00545-8>
10. Dieber B., Breiling B., Taurer S., Kacianka S., Rass S., Schartner P. Security for the robot operating system. *Robotics and Autonomous Systems*, 2017, pp. 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.09.017>
11. Raval R., Maskus A., Saltmiras B., Dunn M., Hawrylak P. J., Hale J. Competitive learning environment for cyber-physical system security experimentation. In *2018 1st international conference on data intelligence and security (ICDIS)*, 2018, pp. 211–218.
12. Sabaliauskaite G., Ng G., Ruths J., Mathur, A. A comprehensive approach, and a case study, for conducting attack detection experiments in cyber-physical systems. *Robotics and Autonomous Systems*, 2017, pp. 174–191. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2017.09.018>
13. Giaretta A., De Donno M., Dragoni N. Adding salt to pepper: A structured security assessment over a humanoid robot. In *Proceedings of the 13th international conference on availability, reliability and security*. 2018, pp.1–8. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.
14. M.F.B.A. Rahman, *Smart cctvs for secure cities: Potentials and challenges*, 2017. p. 35.
15. X. Lin, R. Wiren, S. Euler, A. Sadam, H.-L. Maattanen, S.D. Muruganathan, S. Gao, Y.-P.E. Wang, J. Kauppi, Z. Zou, et al., *Mobile networks connected drones: field trials, simulations, and design insights*, arXiv Preprint arXiv:1801.10508. 2018, pp. 115-125.
16. Sabaliauskaite G., Ng G. S., Ruths J., Mathur A. P. Empirical assessment of methods to detect cyber attacks on a robot. In *2016 IEEE 17th international symposium on high assurance systems engineering (HASE)*, 2016, pp. 248–251.
17. Staffa M., Mazzeo G., Sgaglione L. Hardening ros via hardware-assisted trusted execution environment. In *2018 27th IEEE international symposium on robot and human interactive communication (RO-MAN)*, 2018, pp. 491–494.
18. Jujjuri R., Tripathi A. K., Majji S., Prathap B. R., Patnala T. R. Detection of cyber crime based on facial pattern enhancement using machine learning and image processing techniques. In *Using computational intelligence for the dark web and illicit behavior detection*. 2022, pp. 150–165.
19. Mitchell R., Chen I. R. A survey of intrusion detection techniques for cyber-physical systems. *ACM Computing Surveys*, 46. 2014, pp.1-29 <https://doi.org/10.1145/2542049>.
20. Rajasegarar S., Leckie C., Palaniswami M. Anomaly detection in wireless sensor networks. *IEEE Wireless Communications*, 15, 2008, pp.34–40. <https://doi.org/10.1109/MWC.2008.4599219>.

Movchan K.O. CYBERSECURITY RISKS IN THE AGE OF ROBOTICS

The increasing use of robots in various industries, such as medicine, transport, security, defence and industry, has unfortunately been accompanied by a growing number of cyberattacks and security threats. It is clear that protecting critical infrastructures from cyber threats is crucial to ensuring the safety and normal functioning of society.

This article focuses on a comprehensive approach to robot cybersecurity, exploring threats, attacks, and methods of prevention. It is clear that vulnerable components of robots include data, software, networks, and hardware. To ensure the integrity, availability, and confidentiality of robots, it is recommended to strengthen encryption, authorisation/authentication, and physical protection. This will help to avoid interception of information, unauthorised access to robots, and the introduction of malicious data and programs.

Additionally, it is important to emphasise the importance of assessing the cybersecurity level of robotic systems in various industries. Each industry has its own characteristics and unique threats, so it is necessary to study them in order to ensure adequate protection.

Given the rapid development of unmanned aerial vehicles (UAVs), attention should be paid to the risks associated with their use for malicious purposes. Cyberattacks on UAVs can have serious consequences, including interference with the functioning of drones and even the possibility of harming people and the environment. The main principle of preemption is to ensure that robots are reliably protected from cyberattacks, which requires comprehensive countermeasures and the study of the latest technologies. This includes developing encryption methods, strengthening authorisation and authentication systems, and using physical security measures to prevent unauthorised access to robots.

The article explores future challenges, in particular in the areas of artificial intelligence, cloud robots and forensic robotics. The research and application of artificial intelligence can significantly improve the performance of robots, but it can also open up new risks. The study of cloud robots will help to understand how cloud technologies can be used to improve the cybersecurity of robots. Forensic robotics research will help detect cyberattacks and identify their perpetrators, which is critical to ensuring cybersecurity.

Key words: *cybersecurity, robots, robot operating system, forensic investigation of robots, UAVs, cumulative summation.*

Oleshchenko L.M.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”

Moshenskyi A.O.

National University of Food Technologies

HARDWARE AND SOFTWARE SYSTEM OF ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING AND ANALYSIS BASED ON ESP8266 CONTROLLER

Hardware and software systems for monitoring and analyzing environmental indicators play an important role in the collection, analysis and understanding of data on the quality of air, water, soil and other aspects of the environment. Monitoring systems make it possible to obtain information on pollution levels, chemical composition, meteorological conditions and other environmental indicators. This provides an opportunity to assess the quality of the environment, identify problem areas and take measures to reduce pollution and improve the state of the environment. Thanks to monitoring systems, dangerous levels of pollution or chemicals in the environment can be detected in time. This helps to prevent potential threats to human health and to take necessary safety measures, such as evacuation or the use of protective equipment. Hardware and software systems allow monitoring the implementation of environmental standards and regulations established by authorities. This may include requirements for pollution levels, emissions of harmful substances, and monitoring compliance with environmental licenses and permits. Hardware and software monitoring systems allow detection of emergency situations, such as chemical leaks, fires or other environmental accidents. This allows to react quickly, take the necessary measures to minimize damage and ensure the safety of the population.

The article describes the environmental data monitoring system and software methods for analyzing temperature and air humidity data, as well as the signal level of the router with which the controller interacts. The obtained data were analyzed and visualized using analytical tools of the Python programming language. A correlation was found between temperature and humidity parameters, time periods of emergency shutdowns of the monitoring system due to emergency power outages, as well as time periods when the signal level was reduced due to the presence of people in the room for a selected period of time. The Google Colab cloud environment was used for data analysis. The technical characteristics of the monitoring system installed in Cherkasy city based on the ESP8266+HTU21 controller are described.

Key words: *streaming data, Python, environmental monitoring, temperature and humidity sensor, Wi-Fi signal level sensor, Internet of Things (IoT), ESP8266+HTU21.*

Introduction. Problem Statement. The importance of systems for monitoring and analyzing environmental indicators lies in the fact that they provide objective information necessary for making decisions about environmental protection, ensuring safety and creating sustainable environmental conditions for future generations. Air quality monitoring helps assess the environmental impact of various sources of pollution such as industrial plants, transportation systems, energy, etc. This provides a basis for making decisions to improve efficiency, eradicate hazardous sources of pollution and promote sustainable development. Air quality monitoring plays a crucial role in evaluating the environmental impact of industrial plants, transportation systems and energy production. By monitoring air quality, decision-makers can gather data to assess the level of

pollution, identify sources of contamination, and make informed decisions to enhance efficiency and promote sustainable development. This information serves as a foundation for implementing measures to eliminate hazardous pollution sources, improve air quality, and protect human health and the environment.

Related research. Researchers continuously improve sensor technologies for air quality monitoring, focusing on accuracy, precision, and reliability. They use monitoring data to create detailed air pollution maps, identify hotspots, and understand pollutant dispersion [1]. Integration with GIS and predictive models helps estimate pollution levels in unmonitored areas [2]. Studies on health effects analyze the relationship between pollutant concentrations and respiratory diseases, cardiovascular issues, and mortality rates, aiding

in policy development [3]. Source apportionment models identify pollution sources, supporting targeted emission control [4]. Citizen science engages communities in monitoring, validating data, raising awareness, and influencing policies for better air quality [5]. ESP8266 based mesh network for smart monitoring systems was described, but usually physical LR radio on the L1(L2) for range extension and sensitivity increase was not employed [6]. NodeMCU and different IoT Cloud implementation in the authors articles cycle was described [7]. Platform choice, power consumption in the mash modes and timings were optimized rarely.

The main goal of the article is software analysis of streaming data of the environmental indicators monitoring system, in particular, air temperature and humidity and wireless network data transmission signal level in conditions of emergency power outages.

Existing software solutions for sensor data analysis. ThingSpeak is an IoT platform for collecting, analyzing, and visualizing sensor data. It integrates with various IoT platforms, supports MATLAB for advanced analysis, and offers APIs for

easy integration with other applications. It's open-source with an active user community. Analogues to ThingSpeak include InfluxDB, a time-series database for sensor data analysis, Grafana for visualization, AWS IoT Analytics for scalable data processing and analysis, and Microsoft Azure IoT Hub for managing sensor data and integration with Azure services.

Research results. The authors use Google Colab cloud computing and Python programming language technologies to analyze streaming data from online platforms to which data from sensors are sent. The sensor based on ESP8266+HTU21, which was installed in August 2022 in the Cherkasy city [8] (Fig. 1).

The sensor is designed to measure the temperature and humidity of the air, in addition, it records the strength of the Wi-Fi network signal and the voltage level of the battery [9].

Consider the technical characteristics of the IoT system based on ESP8266+HTU21 microcontroller (Fig. 2). The pinout of the ESP8266 microcontroller is shown in Fig. 3.

HTU21 temperature and air humidity sensor is connected to the ESP8266 microcontroller (Fig. 4).

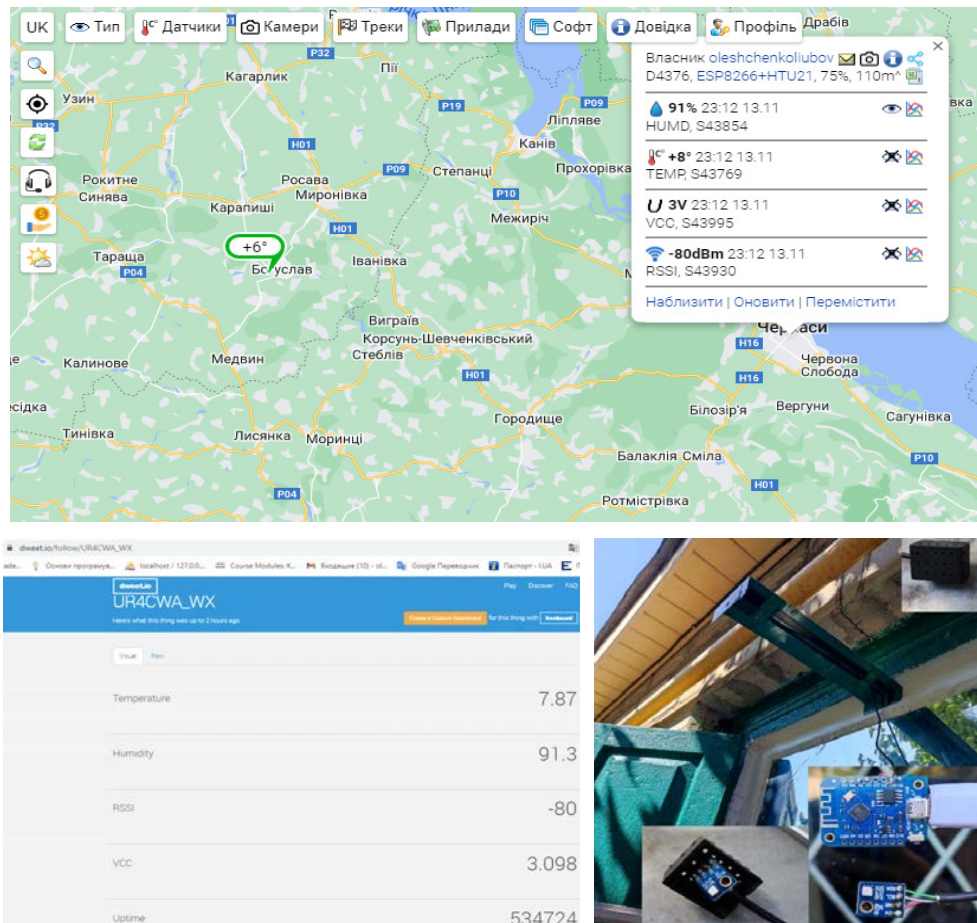


Fig. 1. Installation and connection to the Internet sensor based on ESP8266+HTU21 in the Cherkasy city [8, 9]

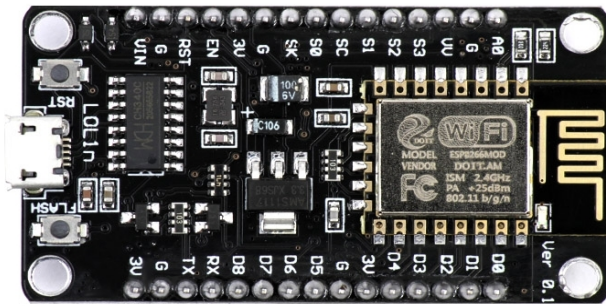


Fig. 2. ESP8266 controller for research

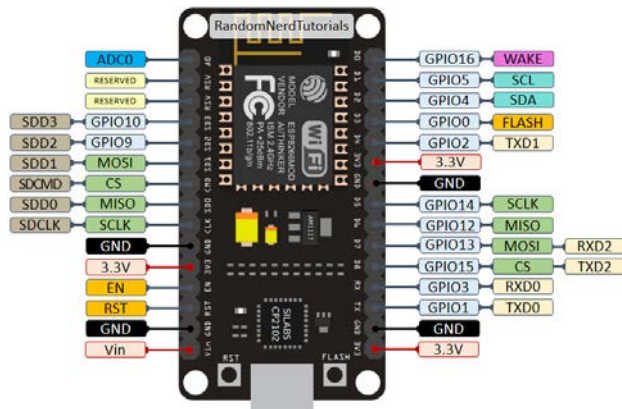


Fig. 3. Pinout of the ESP8266 controller

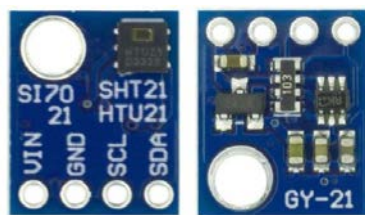


Fig. 4. HTU21 sensor

The connection diagram of the HTU21 sensor to the ESP8266 microcontroller is shown in Fig. 5.

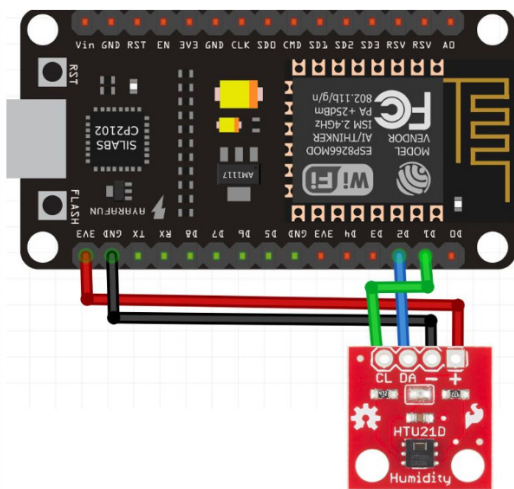


Fig. 5. Connection diagram of ESP8266 with HTU21

To analyze the sensor data, we use the data dataset D4376-20220826-20221114-1H.csv, obtained from this sensor in the period from August to mid-November 2022. Consider the volume and basic statistical information about the dataset (minimum, maximum, average value, etc.), visualize the data using the capabilities of the Python programming language. To perform this task, we use an IPython notebook in the Google Colab cloud computing environment.

Google Colab is a cloud-based tool that provides free access to computing power, memory, and GPUs to run Python software code without having to install hardware on computer. Using Colab, developers can work on CPU/GPU-intensive tasks such as machine learning and big data analytics. Colab users get free access to powerful graphics processing units (GPUs) and tensor processing units (TPUs) for their tasks. In addition, Colab includes a wide range of popular Python libraries such as NumPy, Pandas, Matplotlib, PyTorch, TensorFlow, Keras and allows to install other libraries as needed. Files can be stored on Google Drive, which allows for easy recovery from any computer and provides data backup.

Before uploading the provided dataset to Google Colab, we import the necessary Python libraries:

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.dates as mdates
%matplotlib inline
```

We download the received dataset of indicators that were recorded by the temperature and humidity sensor. Since the file was received in CSV format, the appropriate function was used to load it into a dataframe. Since in the provided CSV file a semicolon was used as a separator instead of a comma, we specify the separator ";" in the import parameters:

```
pathToWeatherDataset = '/content/drive/MyDrive/data_colab/D4376-20220826-20221114-1H.csv'
weatherSensorDf = pd.read_csv(pathToWeatherDataset, sep=';')
```

We check the correctness of the import by displaying the first five records in the dataframe:

```
weatherSensorDf.head()
```

The content of the CSV file was correctly loaded into the dataframe. The table has seven columns: UNIXTIME, Date, Time, TEMP, HUMD, RSSI, VCC. The Date and Time columns are responsible for the date and time of taking the indicator, and duplicate the information from the UNIXTIME column, in which the date and time are presented in UNIX timestamp format. We add a new TIMESTAMP column to the dataframe, into which we copy the values from the UNIXTIME column and convert them to the Python datetime type by applying the appropriate function:


```
weatherSensorDf['TIMESTAMP'] = pd.to_datetime(weatherSensorDf['UNIXTIME'], utc=True).dt.tz_convert('Europe/Kyiv')
weatherSensorDf
```

The new **TIMESTAMP** column in the dataframe now contains correct information about the date and time of recording the sensor indicators in a readable format. Now the **UNIXTIME**, **Date**, **Time** columns are not needed, as they duplicate the existing information in the **TIMESTAMP** column. Therefore, we remove these columns **UNIXTIME**, **Date**, **Time** from the dataframe:

```
weatherSensorDf.drop(['UNIXTIME', 'Date', 'Time'], axis=1, inplace=True)
```

```
weatherSensorDf.head()
```

	TEMP	HUMD	RSSI	VCC	TIMESTAMP
0	20.94	69.70	-41.00	3.1	2022-08-27 22:00:00+03:00
1	21.51	62.06	-42.17	3.1	2022-08-27 23:00:00+03:00
2	20.45	68.52	-43.42	3.1	2022-08-28 00:00:00+03:00
3	20.15	69.38	-44.75	3.1	2022-08-28 01:00:00+03:00
4	19.68	70.85	-46.45	3.1	2022-08-28 02:00:00+03:00

So, five columns in the dataframe are obtained. The **TEMP** column indicates the outdoor temperature in degrees Celsius, the **HUMD** column indicates the relative humidity in percent. The **RSSI** column is an indicator of the power level of the Wi-Fi signal (through which the recorded data is sent) arriving at the sensor antenna, the **VCC** column displays the voltage of the batteries that power this sensor in volts, the **TIMESTAMP** column displays the date and time the sensor recorded the indicators. We find out how many records of sensor measurements are available in the data frame:

```
len(weatherSensorDf)
```

The dataset contains 1392 records. That is, the volume of the dataset is 1392 rows, and the number of columns is 5. We check the data types of each column in the dataset and make sure that there are no missing values in the rows:

```
weatherSensorDf.info()
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 1392 entries, 0 to 1391
Data columns (total 5 columns):
 # Column Non-Null Count Dtype
-----
 0 TEMP 1392 non-null float64
 1 HUMD 1392 non-null float64
 2 RSSI 1392 non-null float64
 3 VCC 1392 non-null float64
 4 TIMESTAMP 1392 non-null datetime64[ns, Europe/Kyiv]
dtypes: datetime64[ns, Europe/Kyiv](1), float64(4)
memory usage: 54.5 KB
```

Therefore, there are no missing values in the table. Therefore, there is no need to filter the dataframe to exclude empty rows. As we can see, the data type for the

TIMESTAMP column is **datetime**, that is, the conversion was done correctly. We also learn basic statistical information: minimum, maximum, average value, etc:

```
weatherSensorDf.describe()
```

	TEMP	HUMD	RSSI	VCC
count	1392.000000	1392.000000	1392.000000	1392.000000
mean	13.461602	75.639325	-72.403247	3.097399
std	5.641691	17.412619	5.452205	0.004884
min	1.410000	23.540000	-87.830000	3.070000
25%	9.607500	64.250000	-75.250000	3.100000
50%	12.960000	79.600000	-72.500000	3.100000
75%	16.572500	90.172500	-70.080000	3.100000
max	37.370000	101.180000	-41.000000	3.100000

We see that the maximum value of the temperature is 37.37 °C, and the minimum is 1.41 °C. The average value is 13.462 °C. The same information can be viewed about other columns. In addition, in the above statistical information, we can see the value of the standard deviation, percentiles of the level of 25%, 50%, 75%. We visualize the sensor data using the capabilities of the Python language. To do this, we plot the dependence of all four measured values (**TEMP**, **HUMD**, **RSSI**, **VCC**) on the date and time of their fixation. To do this, we create a separate function that create a graph with the appropriate signatures:

```
def plot_weather_sensor_data(column_name: str, column_label: str, color: str):
    fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 5))
    ax.plot(weatherSensorDf["TIMESTAMP"], weatherSensorDf[column_name], f' {color}o-', markersize=3)
    plt.xticks(rotation=90)
    ax.xaxis.set_major_locator(mdates.DayLocator())
    ax.xaxis.set_minor_locator(mdates.HourLocator(interval=12))
    ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.DateFormatter('%d.%m'))
    plt.ylabel(column_label, fontsize=15)
    plt.xlabel('Timestamp', fontsize=15)
    plt.show()
```

We have the following four graphs that visualize the dependence temperature (°C), relative humidity (%), Wi-Fi signal power level (dBm), battery voltage (V) versus time, respectively (Fig. 6, 7, 8, 9):

```
plot_weather_sensor_data("TEMP", "Temperature, °C", "g")
plot_weather_sensor_data("HUMD", "Humidity, %", "r")
plot_weather_sensor_data("RSSI", "RSSI, dBm", "m")
plot_weather_sensor_data("VCC", "VCC, V", "b")
```

As we can see in the graphs above, there was one long period (around September 10–13, 2022) where there was no power, so the sensor was unable to capture the relevant readings at that time and send them over the Wi-Fi network.

We find the correlation between temperature and humidity parameters. To perform this task, we

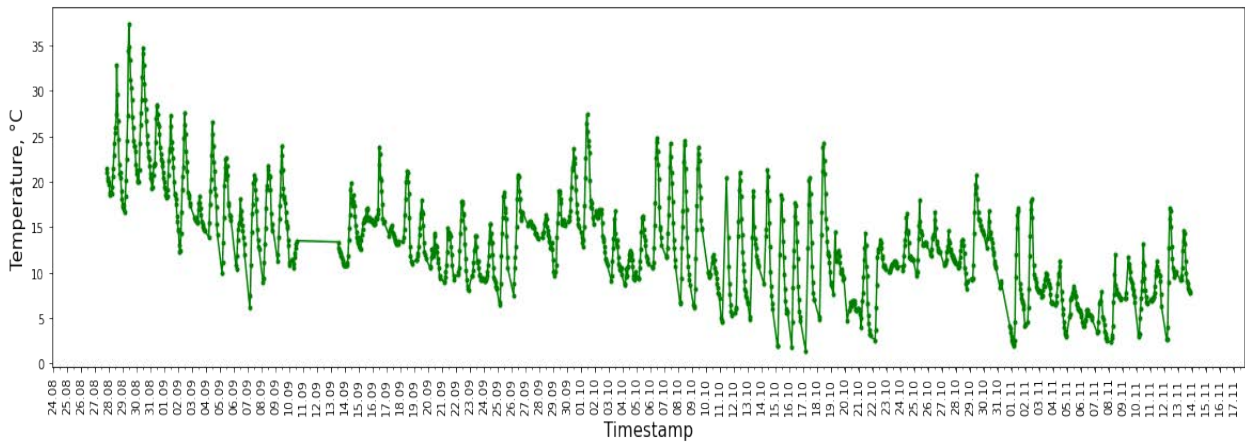


Fig. 6. Dependence of temperature (°C) on time

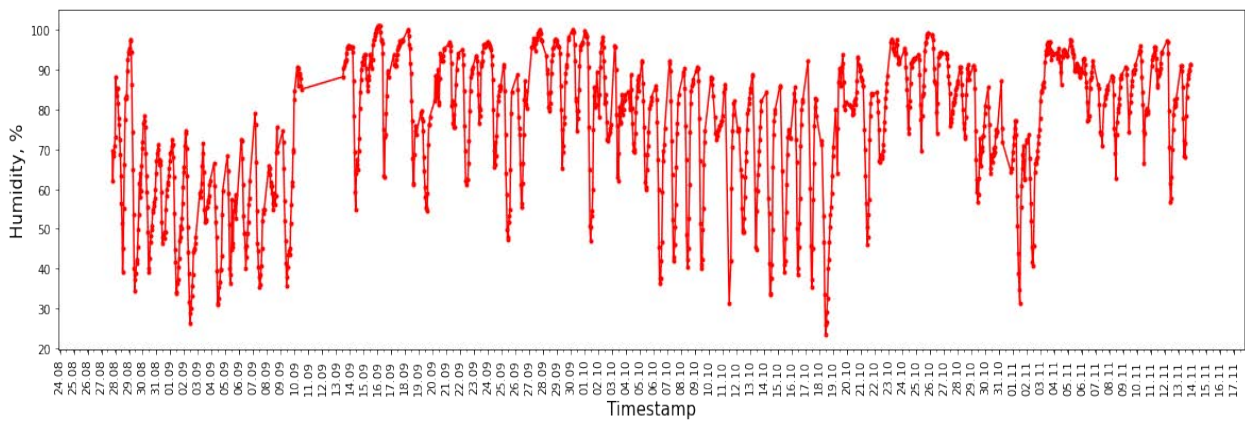


Fig. 7. Dependence of relative humidity (%) on time

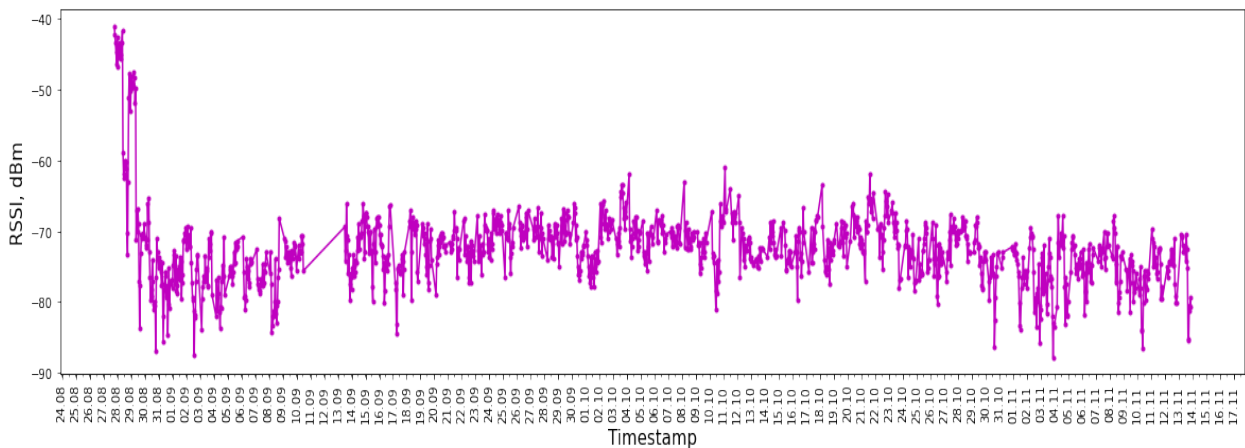


Fig. 8. Dependence of Wi-Fi signal power level (dBm) on time

again use an IPython notebook in the Google Colab environment. To build a heat map, we import the Seaborn library:

```
import seaborn as sns
```

We choose the period from 08/27/22 to 11/13/22. We build a correlation matrix for parameters: TEMP, HUMD, RSSI, VCC. To determine the correlation

value, we use the Pearson method. Having received the correlation matrix, we build a heat map for it to see more clearly which variables are correlated (Fig. 10). The lighter the color, the more the two variables are correlated, and the darker the color, respectively, the opposite, that is, they are less correlated or not correlated at all:

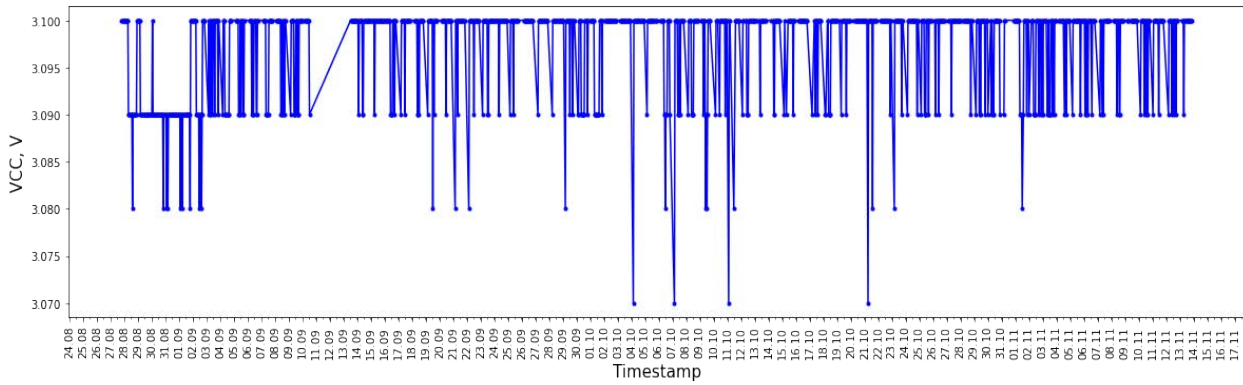


Fig. 9. Dependence of battery voltage (V) on time

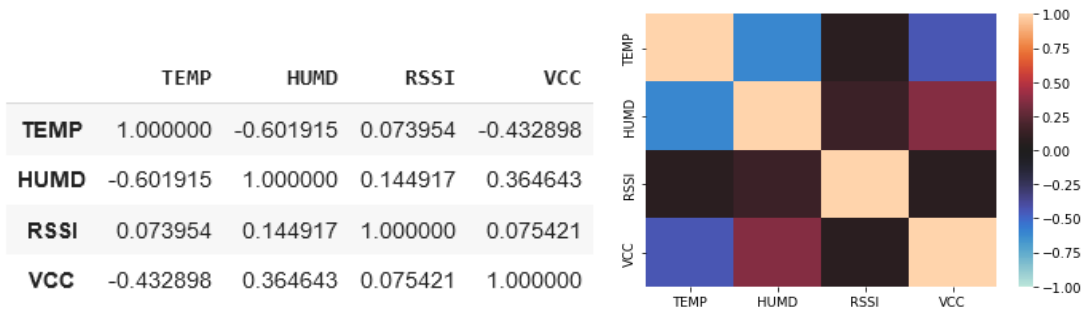


Fig. 10. Correlation matrix for parameters: TEMP, HUMD, RSSI, VCC

```
weatherSensorDfCorr = weatherSensorDf.
corr(method='pearson')
weatherSensorDfCorr
```

We are investigating the correlation between temperature and humidity parameters, so we consider these two parameters. It can be seen that the parameters of temperature and humidity have a correlation with a value of -0.602, that is, it is a moderately negative (negative) correlation. From this it follows that with an increase in temperature, the relative humidity of the air can sometimes decrease. There is a certain logic in this, because as the temperature increases, water evaporates more actively, so the air is drier. Also, the obtained moderate correlation can be explained by the fact that in autumn, when the temperature decreased, there was a lot of rain, as a result of which the humidity was higher. We construct a dot diagram of the dependence of relative air humidity on air temperature (Fig. 11):

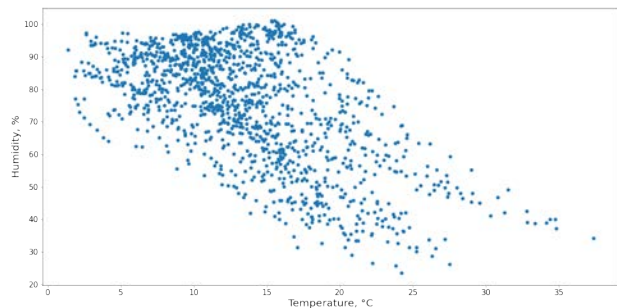


Fig. 11. The dependence of relative air humidity on air temperature

```
y = weatherSensorDf["HUMD"]
x = weatherSensorDf["TEMP"]
plt.figure(figsize=(20,10))
plt.scatter(x, y)
plt.ylabel('Humidity, %', fontsize=20)
plt.xlabel('Temperature, °C', fontsize=20)
plt.xticks(fontsize=15)
plt.yticks(fontsize=15)
plt.show()
```

From the resulting diagram of the dependence of relative air humidity on air temperature, it can be seen that, indeed, at higher air temperatures, air humidity is often less important. We find out when emergency sensor shutdowns occurred. To perform this task, we again use the IPython notebook in the Google Colab environment. As we can see above, the sensor in normal mode sends readings once an hour. Therefore, in order to determine emergency shutdowns, it is necessary to find the largest gaps in time between fixing the sensor indicators. Since the recorded indicators of the sensor are stored in chronological order, it be enough to compare the

recording time in each pair of saved indicators in the data frame.

```
startTimestamp = weatherSensorDf["TIMESTAMP"].min()
endTimestamp = weatherSensorDf["TIMESTAMP"].max()
countDays = (endTimestamp - startTimestamp).days + 1
fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 5))
n, bins, patches = ax.hist(weatherSensorDf["TIMESTAMP"],
countDays, rwidth=0.9)
plt.xticks(rotation=90)
ax.yaxis.set_major_locator(ticker.MultipleLocator(1))
ax.xaxis.set_major_locator(mdates.DayLocator())
ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.
DateFormatter('%d.%m'))
ax.yaxis.grid()
plt.ylabel('Number of measurements', fontsize=15)
plt.xlabel('Day and month', fontsize=15)
plt.ylim(0, 24)
plt.xlim(startTimestamp, endTimestamp)
plt.show()
```

For a visual presentation, we build a histogram, where for each day we display how many indicators were recorded.

If 24 indicators were recorded in one day, this means that the sensor worked around the clock and there were no emergency shutdowns (Fig. 12):

As we can see from the histogram above, only at the beginning of the measurements, in August, the sensor

worked absolutely around the clock. Starting from September, we can see that there was no electricity for 4–5 hours on average. At the same time, we can see fairly large blackouts, there is even one the size of several days. We write a function that iterate through all recorded values in the dataframe and look for breaks in measurements of more than one hour. Next, we sort these interruptions in measurements by the largest interval in hours. We assume that emergency outages are those outages that last 10 hours or more:

```
last_timestamp = None
gaps = []
for index, measure in weatherSensorDf.iterrows():
current_timestamp = measure["TIMESTAMP"]
if last_timestamp == None:
last_timestamp = current_timestamp
continue
hours_diff = int((current_timestamp - last_timestamp).
total_seconds())//3600
if hours_diff > 1:
gaps.append((hours_diff, last_timestamp, current_
timestamp))
last_timestamp = current_timestamp
gaps.sort(key=lambda x: x[0], reverse=True)
print("Electricity outages (>= 10 hours):")
for row in gaps:
if row[0] < 10:
break
```

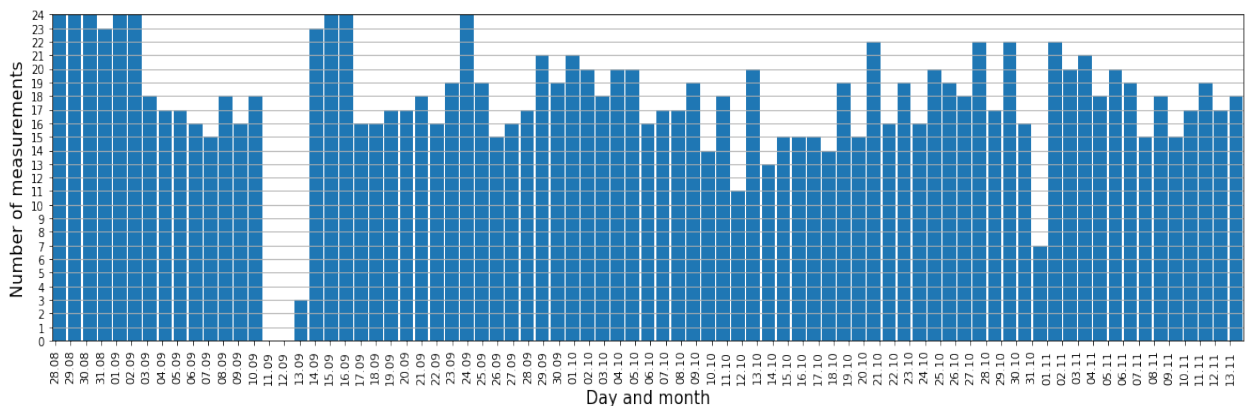


Fig. 12. Daily measurements

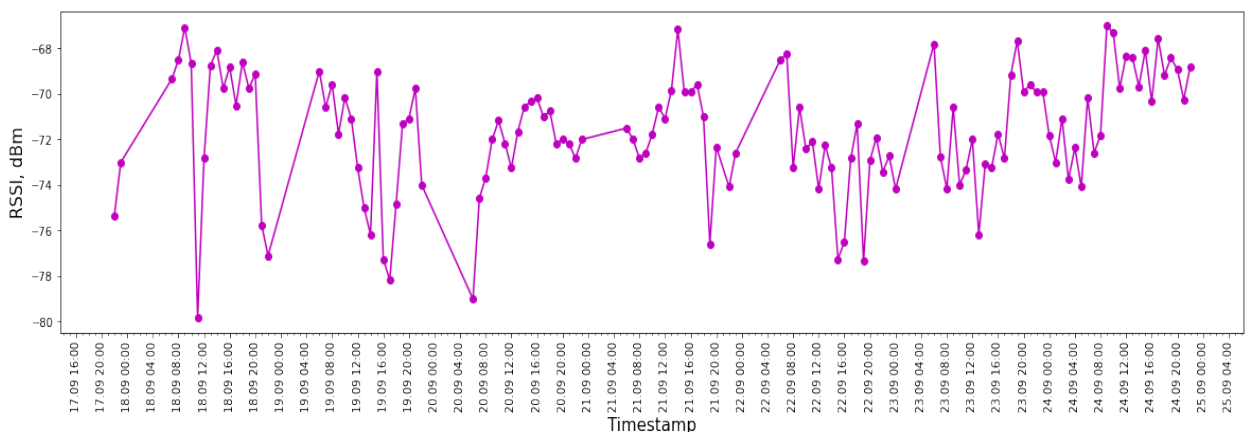


Fig. 13. The dependence of the Wi-Fi signal power level on time

```
print(f"Duration: {row[0]}\tFrom: {row[1]:%d.%m
%H:%M}\tTill: {row[2]:%d.%m %H:%M}")
Electricity outages (>= 10 hours):
Duration: 72 From: 10.09 15:00 Till: 13.09 15:00
Duration: 15 From: 31.10 08:00 Till: 31.10 23:00
Duration: 10 From: 25.09 20:00 Till: 26.09 06:00
Duration: 10 From: 09.10 20:00 Till: 10.10 06:00
```

There were a total of four emergency shutdowns that lasted 10 hours or more.

```
72 hours without light: from 10.09 15:00 to 13.09 15:00
15 hours without light: from 31.10 08:00 to 31.10 23:00
10 hours without light: from 25.09 20:00 to 26.09 06:00
10 hours without light: from 09.10 20:00 to 10.10 06:00
```

We find when there was a decrease in the signal level due to the presence of people in the room for a given period of time. To perform this task, we again use an IPython notebook in the Google Colab environment. We set the period of time in which the research should be conducted. We filter the dataset to get data for, for example, the fourth week of sensor operation:

```
firstTimestamp = weatherSensorDf["TIMESTAMP"].min()
week = 4
startTimestamp = firstTimestamp +
timedelta(weeks=(week - 1))
endTimestamp = firstTimestamp +
timedelta(weeks=week)
weatherSensorDfFiltered = weatherSensorDf[
(weatherSensorDf["TIMESTAMP"] >= startTimestamp) &
(weatherSensorDf["TIMESTAMP"] <= endTimestamp)]
weatherSensorDfFiltered
```

Therefore, 130 measurements were obtained during the fourth week of sensor operation. We visualize the filtered data from the data frame and we plot a graph of the dependence of the Wi-Fi signal power level on time in a given period of time (Fig. 13):

```
fig, ax = plt.subplots(figsize=(20, 5))
ax.plot(weatherSensorDfFiltered["TIMESTAMP"],
weatherSensorDfFiltered["RSSI"], 'mo-')
plt.xticks(rotation=90)
ax.xaxis.set_major_locator(mdates.
HourLocator(interval=4))
ax.xaxis.set_minor_locator(mdates.HourLocator())
ax.xaxis.set_major_formatter(mdates.
DateFormatter('%d.%m %H:%M', tz=pytz.timezone('Europe/
Kyiv'))))
plt.ylabel('RSSI, dBm', fontsize=15)
plt.xlabel('Timestamp', fontsize=15)
plt.show()
```

We create a function that go through all the recorded values in the data frame and look for those values of the Wi-Fi signal strength level that be less than or equal to -75 dBm. We assume that due to people in the room, the Wi-Fi signal should drop to a level of -75 dBm or below:

```
low_signals = []
for index, measure in
weatherSensorDfFiltered.iterrows():
current_rssi = measure["RSSI"]
if current_rssi <= -75:
current_timestamp = measure["TIMESTAMP"]
next_timestamp = current_timestamp + timedelta(hours=1)
current_row = [[current_rssi], current_timestamp, next_timestamp]
len_low_signals = len(low_signals)
if len_low_signals > 0 and low_signals[len_low_signals -
1][2] == current_timestamp:
```

```
low_signals[len(low_signals) - 1][0].append(current_rssi)
low_signals[len(low_signals) - 1][2] = next_timestamp
else:
low_signals.append(current_row)
print("Lowering the Wi-Fi signal strength (RSSI <= -75):")
for row in low_signals: rssi_mean = pd.DataFrame(row[0]).
mean()[0]
```

```
print(f"RSSI: {rssi_mean:.2f}\tFrom: {row[1]:%d.%m
%H:%M}\tTill: {row[2]:%d.%m %H:%M}")
```

```
Lowering the Wi-Fi signal strength (RSSI <= -75):
RSSI: -75.33 From: 17.09 22:00 Till: 17.09 23:00
RSSI: -79.83 From: 18.09 11:00 Till: 18.09 12:00
RSSI: -76.42 From: 18.09 21:00 Till: 18.09 23:00
RSSI: -75.59 From: 19.09 13:00 Till: 19.09 15:00
RSSI: -77.71 From: 19.09 16:00 Till: 19.09 18:00
RSSI: -79.00 From: 20.09 06:00 Till: 20.09 07:00
RSSI: -76.58 From: 21.09 19:00 Till: 21.09 20:00
RSSI: -76.88 From: 22.09 15:00 Till: 22.09 17:00
RSSI: -77.33 From: 22.09 19:00 Till: 22.09 20:00
RSSI: -76.17 From: 23.09 13:00 Till: 23.09 14:00
```

We combine the intervals in which the break in time is one or two hours, because we consider the reason for the separation of such intervals to be the measurement error. So, there were only eight people present in the room during the 4th week of operation of the device (from 09/17 22:00 to 09/24 22:00), because the Wi-Fi signal strength level dropped to -75 dBm or lower:

```
From: 17.09 22:00 to: 17.09 23:00; average RSSI
value: -75.33 dBm
From: 18.09 11:00 to: 18.09 12:00; average RSSI
value: -79.83 dBm
From: 18.09 21:00 to: 18.09 23:00; average RSSI
value: -76.42 dBm
From: 19.09 13:00 to: 19.09 18:00; average RSSI
value: -76.65 dBm
From: 20.09 06:00 to: 20.09 07:00; average RSSI
value: -79.00 dBm
From: 21.09 19:00 to: 21.09 20:00; average RSSI
value: -76.58 dBm
From: 22.09 15:00 to: 22.09 20:00; average RSSI
value: -77.11 dBm
From: 23.09 13:00 to: 23.09 14:00; average RSSI
value: -76.17 dBm
```

Conclusions and future work. The article describes the hardware and software system based on the ESP8266 controller. Software methods are used to analyze data on temperature and air humidity, as well as the signal level of the router with which the controller interacts. The obtained data were analyzed using analytical tools of the Python programming language. A correlation was found between temperature and humidity parameters, time periods of emergency shutdowns of the monitoring system due to emergency power outages, as well as time periods when there was a decrease in the signal level to account for the presence of people in the case of selected time intervals.

In the future, the authors plan to optimize the runtime when connecting and polling sensor sets to enable long battery life in offline mode. The cycle is scheduled as follows: wake up, connect, fast connect

with settings without DHCP, DNS and other timers, check sensors, request, send data, ACK, properly prepare for sleep with port modes and stop the main

core, deep sleep. The equipment is planned to be designed without interface converters, LDOs, only MCU, sensors, BMS, battery, charger, solar charger.

Bibliography:

1. Rahman, M.H., Agarwal, S., Sharma, S. et al. High-Resolution Mapping of Air Pollution in Delhi Using Detrended Kriging Model. *Environ Model Assess* 28, 39–54 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10666-022-09842-5>
2. Ramos, R.V., Blanco, A.C. Integrated GIS and air dispersion modeling approach for roadside pollutant mapping: a case study in Baguio City, Philippines. *Spat. Inf. Res.* 30, 371–383 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41324-022-00438-5>
3. Keswani A., Akselrod H., and. Anenberg S. C. (2022) Health and Clinical Impacts of Air Pollution and Linkages with Climate Change. *NEJM Evid* 2022; 1(7). DOI: 10.1056/EVIDra2200068
4. Morantes, G., González, J.C. & Rincón, G. Characterisation of particulate matter and identification of emission sources in Greater Caracas, Venezuela. *Air Qual Atmos Health* (2021). <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01070-2>
5. Kaginalkar A., Kumar S., Gargava P., Kharkar N. and Niyogi D. (2022) SmartAirQ: A Big Data Governance Framework for Urban Air Quality Management in Smart Cities. *Front. Environ. Sci.* 10:785129. doi: 10.3389/fenvs.2022.785129
6. Syifaul Fuada., Hendriyana Hendriyana. UPISmartHome V.2.0 – A Consumer Product of Smart Home System with an ESP8266 as the Basis June 2022 *Journal of Communications* 17(7):541-552 DOI: 10.12720/jcm.17.7.541-552
7. R. Sarwansah, U. Jaelani, A. Hasad, S. Supratno, and Sugeng, "Aplikasi NodeMCU ESP8266 Untuk Monitoring Kelembaban Tanah Berbasis Internet of Things," *Journal of Students Research in Computer Science*, Vol. 3, No. 1, pp. 63-72, May 2022, doi: 10.31599/jsrscv3i1.1174.
8. Public monitoring project <https://eu.narodmon.com/4376>
9. Dweet.io https://dweet.io/follow/UR4CWA_WX
10. UT5UUV Callsign Lookup <https://www.qrz.com/db/UT5UUV>

Олещенко Л.М., Мошенський А.О. АПАРАТНО-ПРОГРАМНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ТА АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ КОНТРОЛЕРА ESP8266

Апаратно-програмні системи моніторингу та аналізу показників навколишнього середовища відіграють важливу роль у зборі, аналізі даних про якість повітря, води, ґрунту та інших аспектів навколишнього середовища. Такі системи моніторингу дозволяють отримувати відомості про рівні забруднення, хімічний склад, метеорологічні умови та інші показники навколишнього середовища. Це надає можливість оцінити якість середовища, виявити проблемні зони та вжити заходів для зменшення забруднення та покращення стану довкілля. Завдяки системам моніторингу можна вчасно виявляти небезпечні рівні забруднення або хімічних речовин у середовищі. Це допомагає запобігти потенційним загрозам для здоров'я людей та прийняти такі заходи безпеки, як евакуація або застосування захисного обладнання. Апаратно-програмні системи дозволяють контролювати виконання екологічних стандартів та нормативів, встановлених органами влади, зокрема, вимоги до рівнів забруднення, викидів шкідливих речовин, а також моніторинг дотримання екологічних ліцензій та дозволів. Апаратно-програмні системи моніторингу дозволяють виявляти надзвичайні ситуації, такі як витоки хімічних речовин, пожежі або інші екологічні аварії. Це дозволяє швидко реагувати, вживати необхідних заходів для мінімізації збитків та забезпечення безпеки населення.

У статті описано побудовану авторами апаратно-програмну систему моніторингу даних навколишнього середовища та програмні методи аналізу даних температури та вологості повітря, а також рівень сигналу маршрутизатора, з яким взаємодіє контролер. Проаналізовано та візуалізовано отримані дані за допомогою аналітичних інструментів мови програмування Python. Знайдено кореляцію між параметрами температури та вологості, періоди часу аварійних відключень моніторингової системи внаслідок екстрених відключень електроенергії, а також періоди часу, коли відбувалось зниження рівня сигналу за рахунок присутності людей в приміщенні за обраний проміжок часу. Для аналізу даних використано хмарне середовище Google Colab. Описано технічні характеристики встановленої у м. Черкаси моніторингової системи на базі контролера ESP8266+HTU21.

Ключові слова: потокові дані, Python, моніторинг стану навколишнього середовища, датчик температури та вологості повітря, датчик рівня сигналу Wi-Fi, Інтернет речей, ESP8266+HTU21.

Пахомова В.М.

Український державний університет науки і технологій

Квочка М.Ю.

Український державний університет науки і технологій

ВИЗНАЧЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ АТАК КАТЕГОРІЇ PROBE ЗАСОБАМИ БАГАТОШАРОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Для виявлення мережеских атак в режимі реального часу використовуються системи визначення вторгнень (Intrusion Detection System, IDS), в яких з'являється проблема великого обсягу мережевого трафіку і для вирішення якої доцільно використання нейромережної технології, що підтверджує актуальність теми. В роботі проведено дослідження наступних мережеских атак категорії PROBE: *Ipsweep*; *Nmap*; *PortswEEP*; *Satan* з використанням відкритої бази даних NSL-KDD засобами нейронної мережі конфігурації 41-1-X-5, що створена в середовищі MatLAB за допомогою додатку Toolbox, а також визначення її оптимальних параметрів та оцінювання параметрів якості виявлення мережеских атак категорії PROBE на створеній нейронній мережі. Проведено дослідження середньоквадратичної похибки створеної нейронної мережі при різній кількості прихованих нейронів (20, 40, 60 та 80) за різними алгоритмами навчання (Levenberg-Marquardt, Bayesian regularization та Scaled Conjugate Gradient) на вибірках різної довжини (250, 750 та 1500 прикладів). Визначено, що найменше значення похибки створеної нейронної мережі досягнуто при 60 прихованих нейронів за алгоритмом навчання Levenberg-Marquardt на вибірці із 1500 прикладів. Виконано оцінювання параметрів якості виявлення мережеских атак категорії PROBE на створеній нейронній мережі. Визначено, що значення помилки першого та другого роду склали 6,67 % та 5,33 % відповідно.

Ключові слова: атака, мережеский клас, PROBE, прихований нейрон, довжина вибірки, алгоритм навчання, похибка, оцінка якості.

Постановка проблеми. Створення ефективної системи виявлення мережеских 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 мережеских атак є застосування нейромережної технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що для виявлення мережеских атак доцільно використання нейромережної технології [2–10, 12], зокрема багатошарового перцептрон (Multi Layer Perceptron, MLP) [2, 12], самоорганізуючої карти Кохонена (Self Organizing Map, SOM) [3, 9], радіально-базисної мережі (Radial Basis Function Network, RBF) [5, 7], а також нейронечіткої мережі (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS) [4, 7]. На сьогодні відомо, що різні НМ, в основі яких різні математичні апарати, можуть по різному визначати різні атаки на комп'ютерну мережу. Однак, разом з тим важливим недоліком таких методик є відсутність універсальності їх застосування при визначенні мережеских атак різних категорій: DoS; PROBE;

R2L; U2R, серед яких найбільша кількість досліджень стосовно категорії DoS [5–6]. Для виявлення мережеских атак категорії PROBE авторами був використаний SOM в [3] та нейронечітка мережа в [4], але відомо, що властивості MLP дозволяють його також використати для виявлення мережеских атак цієї категорії, однак це потребує проведення додаткового дослідження стосовно оптимальних параметрів MLP (кількості прихованих нейронів, довжини вибірки та алгоритму навчання).

Формулювання цілей статті. Проведені дослідження ставили за мету розвиток методики виявлення мережеских атак категорії PROBE. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: розробити методику виявлення мережеских атак засобами багатошарової нейронної мережі (НМ); при виконанні машинного навчання виявити оптимальні параметри НМ, що забезпечить достатньо високий рівень достовірності виявлення вторгнень в комп'ютерну мережу; оцінити помилки першого та другого роду при виявленні мережеских атак на створеній НМ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Мережева категорія PROBE представляє одну

з чотирьох категорій атак, що спрямована на сканування портів з метою отримання конфіденційної інформації. Основні мережеві класи атак категорії PROBE: Ipsweep (атака полягає у скануванні мережевого простору з метою виявлення активних хостів); Nmap (атака використовується для сканування портів хостів з метою виявлення відкритих портів та отримання інформації про сервіси, які запущені на цих портах); Portswpeer (атака полягає у скануванні портів на окремому хості з метою виявлення відкритих портів та отримання інформації про сервіси, які запущені на цих портах); Satan (збір детальної інформації про систему та виявлення вразливостей, які можна використати для злому). У якості початкових даних використана відкрита база даних NSL-KDD [11]. У якості методу дослідження використано MLP, структура якого подана на рис. 1.

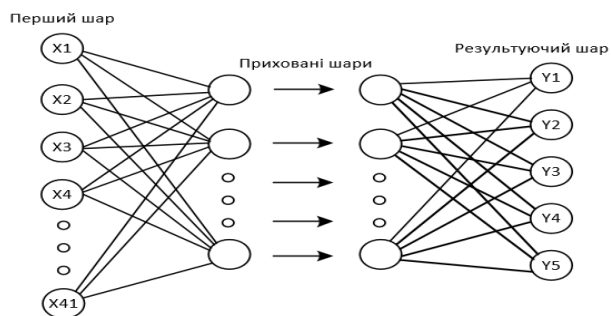


Рис. 1. Структура багатошарового перцептронну

Перший шар НМ має X1...X41 нейрони (це параметри мережевого трафіку), що зведені до таблиці 1. Результуючий шар має наступні нейрони: Y1 – Normal (нормальний стан: відсутність атаки на комп'ютерну мережу); Y2 – атака класу Nmap; Y3 – атака класу Satan; Y4 – атака класу Ipsweep; Y5 – атака класу Portswpeer.

Таблиця 1

Перелік нейронів першого шару НМ

Нейрон	Назва	Опис
X1	duration	тривалість з'єднання
X2	protocol_type	тип протоколу
X3	service	сервіс, який використовується в з'єднанні
X4	flag	прапорець, що вказує статус пакета
X5	src_bytes	кількість байтів відправлених від джерела до призначення
X6	dst_bytes	кількість байтів відправлених від призначення до джерела
X7	land	вказує, чи є з'єднання land-атакою (1 – так, 0 – ні)
X8	wrong_fragment	кількість неправильних фрагментів
X9	urgent	кількість, пакетів з високим пріоритетом
X10	hot	кількість «гарячих» (часто відвідуваних) пунктів призначення
X11	num_failed_logins	кількість неуспішних спроб входу
X12	logged_in	прапорець, що показує, чи було виконано вхід в систему
X13	num_compromised	кількість компрометованих систем, пов'язаних з пакетом
X14	root_shell	вказує, чи було встановлено root shell
X15	su_attempted	прапорець, що показує, чи була спроба використання команди підняття привілеїв
X16	num_root	кількість команд від root
X17	num_file_creations	кількість створених файлів
X18	num_shells	кількість оболонок, виконаних під час сеансу
X19	num_access_files	кількість файлів з доступом
X20	num_outbound_cmds	кількість вихідних команд
X21	is_host_login	прапорець, що показує, чи було виконано вхід як хост
X22	is_guest_login	прапорець, що показує, чи було виконано вхід як гість
X23	count	кількість з'єднань до хоста за останню секунду
X24	srv_count	кількість з'єднань до одного сервісу за останню секунду
X25	serror_rate	частота з'єднань з помилками (сервісні помилки)
X26	srv_serror_rate	частота з'єднань до одного сервісу з помилками (сервісні помилки)
X27	rerror_rate	частота з'єднань з помилками (системні помилки)
X28	srv_rerror_rate	частота з'єднань до одного сервісу з помилками (системні помилки)
X29	same_srv_rate	частота з'єднань до одного сервісу з однаковим типом сервісу
X30	diff_srv_rate	частота з'єднань до різних сервісів

Нейрон	Назва	Опис
X31	srv_diff_host_rate	частота з'єднань до різних хостів для одного сервісу
X32	dst_host_count	кількість унікальних хостів, на які відбулися зєднання
X33	dst_host_srv_count	кількість унікальних хостів, на які відбулися зєднання до одного сервісу
X34	dst_host_same_srv_rate	частота зєднань до одного сервісу на одному хості
X35	dst_host_diff_srv_rate	частота з'єднань до різних сервісів на одному хості
X36	dst_host_same_src_port_rate	частота з'єднань з одного порту джерела до одного порту призначення,
X37	dst_host_srv_diff_host_rate	частота з'єднань до різних хостів для одного сервісу на одному хості
X38	dst_host_serror_rate	частота з'єднань до одного хосту з помилками (сервісні помилки)
X39	dst_host_srv_serror_rate	частота з'єднань до одного сервісу на одному хосту з помилками (сервісні помилки)
X40	dst_host_rerror_rate	частота з'єднань до одного хосту з помилками (системні помилки)
X41	dst_host_srv_rerror_rate	частота з'єднань до одного сервісу на одному хосту з помилками (системні помилки)

Таблиця 2

Фрагмент вибірки (для нейронів першого шару)

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	
0	2	1	1	8	0	0	0	0	0	
0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	
0	2	1	1	8	0	0	0	0	0	
X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	
0	0	1	26	0	0	0	0	1	0	
0	0	365	1	0,1	0	0,9	1	0	1	
0	0	1	41	0	0	0	0	1	0	
X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X40	X41
1	3	115	1	0	1	0,3	0	0	0	0
0	255	1	0	1	0	0	0,1	0	0,9	1
1	2	106	1	0	1	0,5	0	0	0	0

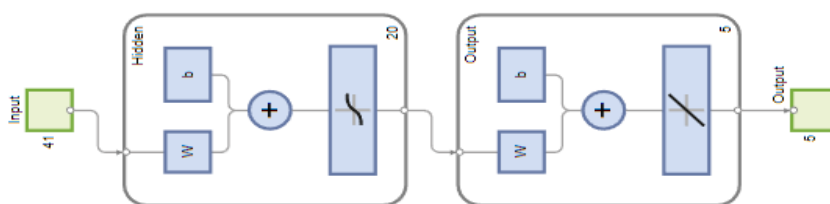


Рис. 2. Структура створеної НМ в MatLAB

Формування вибірки. На основі відкритої бази даних NSL-KDD складено вибірку із 250 прикладів (по 50 прикладів на кожний мережевий клас), фрагмент якої представлено в таблиці 2 у якості прикладу.

Створення НМ. За допомогою пакета Toolbox в MatLAB створено НМ конфігурації 41-1-20-5 [1], де 41 – кількість нейронів першого шару (пара-

метри мережевого трафіку), 1 – кількість прихованих шарів, 20 – кількість прихованих нейронів, 5 – кількість результуючих нейронів; у якості функції активації прихованого шару взято гіперболічний тангенс, на результуючому шарі – лінійна функція. Створено в MatLAB НМ, структуру якої відображено на рис. 2; отримані результати

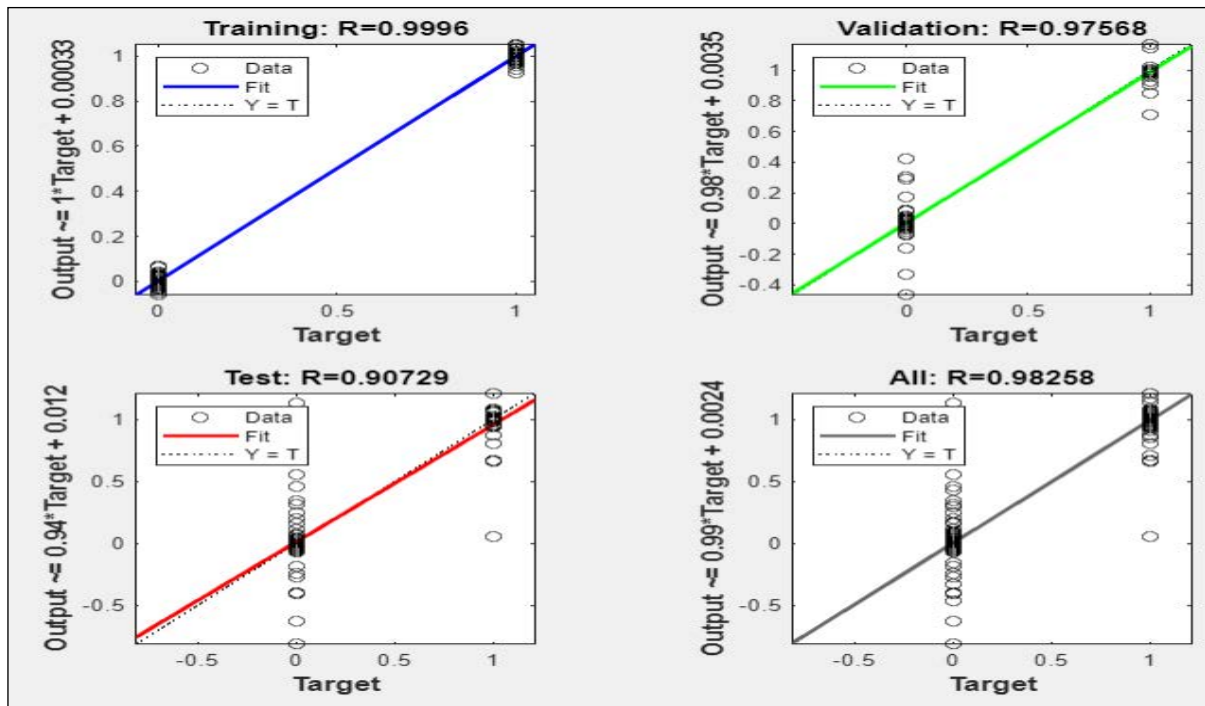


Рис. 3. Отримані результати на НМ конфігурації 41-1-20-5

(значення регресії) на створеній НМ показано на рис. 3.

Визначення оптимальних параметрів НМ. На створеній НМ проведено дослідження похибки (Mean Square Error, MSE) при різній кількості прихованих нейронів (20, 40, 60 та 80) за наступними алгоритмами навчання НМ: Levenberg-Marquardt; Bayesian regularization; Scaled Conjugate Gradient) на вибірках різної довжини (250, 750 та 1500 прикладів). Визначено, що найменше значення похибки НМ склало 0,0071 при 60 прихованих нейронів за алгоритмом навчання Levenberg-Marquardt на вибірці із 1500 прикладів (по 300 прикладів на кожному мережевий клас).

Оцінка параметрів якості. На створеній НМ конфігурації 41-1-60-5 при визначених оптимальних параметрах отримані наступні результати: TP (True Positive); FP (False Positive); FN (False Negative); TN (True Negative).

Помилка першого роду – це кількість невірно виявлених атак (FP, False Positive), а помилка другого роду – це кількість пропусків атак (FN, False Negative); обчислені значення помилок першого та другого роду відповідно до мережевого класу атак категорії PROBE зведені до таблиці 4.

Із таблиці 4 видно, що на створеній НМ найкраще визначаються атаки мережевих класів Ipsweep та Portsweep.

Таблиця 3

Отримані значення похибки НМ конфігурації 41-1-X-5

Кількість прихованих нейронів	Кількість прикладів	Алгоритм навчання	MSE
20	250	Levenberg-Marquardt	0,0312
20	750	Levenberg-Marquardt	0,0262
20	1500	Levenberg-Marquardt	0,0114
40	1500	Levenberg-Marquardt	0,0074
60	1500	Levenberg-Marquardt	0,0071
80	1500	Levenberg-Marquardt	0,0158
60	1500	Bayesian regularization	0,0277
60	1500	Scaled Conjugate Gradient	0,0172

Таблиця 4

Помилка першого та другого роду на НМ конфігурації 41-1-60-5

Мережевий клас атаки	Кількість неправильно виявлених атак	Кількість пропусків атак
Normal	30 з 300	30 з 300
Nmap	30 з 300	30 з 300
Satan	40 з 300	20 з 300
Ipsweep	0 з 300	0 з 300
Portsweep	0 з 300	0 з 300
Усього:	100 з 1500	80 з 1500

Крім того, проведено розрахунок деяких інших параметрів якості. TPR (True Positive Rate) пред-

ставляє відношення правильно виявлених позитивних екземплярів (TP) до загальної кількості позитивних екземплярів (TP + FN). FPR (False Positive Rate) визначається як відношення кількості неправильно виявлених позитивних екземплярів (FP) до загальної кількості негативних екземплярів (FP + TN). Accuracy визначається як відношення загальної кількості правильно класифікованих екземплярів (TP + TN) до загальної кількості екземплярів (TP + TN + FP + FN). Precision визначається як відношення кількості правильно виявлених позитивних екземплярів (TP) до загальної кількості позитивно виявлених екземплярів (TP + FP). Recall визначається як відношення кількості правильно виявлених позитивних екземплярів (TP) до загальної кількості позитивних екземплярів (TP + FN). Обчислені значення параметрів якості зведені до таблиці 5.

Таблиця 5

Показники оцінки якості виявлення атак на НМ конфігурації 41-1-60-5

TP	FP	FN	TN	TPR	FPR	Accuracy	Precision	Recall
1300	100	80	20	0,94	0,83	0,9	0,93	0,94

Із таблиці 5 видно, що при виявленні мережових атак категорії PROBE на створеній НМ значення помилки першого та другого роду склали 6,67 % та 5,33 % відповідно.

Практична значимість. У [3] найменшу точність показала самоорганізуюча карта Кохонена при виявленні атак мережового класу Nmap; одночасне використання створеної нейронної мережі, а також нейронечіткої мережі для визначення ступеню здійснення атаки категорії PROBE [4] та

самоорганізуючої карти Кохонена для виявлення мережового класу категорії PROBE [3] дозволить підвищити точність виявлення атак цього класу при використанні комбінованого варіанту.

Висновки. Для виявлення наступних мережових класів атак категорії PROBE: Nmap; Satan; Portsweep; Ipsweep запропоновано нейронну мережу конфігурації 41-1-X-5, де 41 – кількість нейронів першого шару (параметри мережового трафіку); 1 – кількість прихованих шарів; X – кількість прихованих нейронів; 5 – кількість результуючих нейронів (1 – наявність втки, 0 – її відсутність). В системі MatLAB за допомогою додатку Toolbox створено нейронну мережу конфігурації 41-1-20-5, у якості функції активації нейронів на прихованому шарі якої взято гіперболічний тангенс, на результуючому шарі - лінійну функцію. Визначено, що значення похибки нейронної мережі склало приблизно 0,03 за алгоритмом навчання Levenberg-Marquardt на вибірці із 250 прикладів (по 50 прикладів на кожний мережовий клас категорії PROBE). На створеній нейронній мережі проведено дослідження похибки при різній кількості прихованих нейронів (20, 40, 60 та 80) за різними алгоритмами навчання (Levenberg-Marquardt, Bayesian regularization та Scaled Conjugate Gradient) на вибірках різної довжини (250, 750 та 1500 прикладів). Визначені оптимальні параметри створеної нейронної мережі, на якій виконано оцінювання якості виявлення мережових атак категорії PROBE: помилка першого роду склала 6,67 %, а помилка другого роду – 5,33 %. На створеній нейронній мережі найкраще визначаються атаки мережових класів Ipsweep та Portsweep.

Список літератури:

1. Квочка М. Ю. Виявлення мережових атак категорії PROBE з використанням нейромережової технології : дипломна робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра : спец. 125 – кібербезпека / наук. керівник В. М. Пахомова; *Укр. держ. ун-т науки і технологій*. Дніпро, 2023.
2. Пахомова В. М., Коннов М. С. Дослідження двох підходів до виявлення мережних атак із використанням нейромережової технології. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 3(87). С. 81-93. URL: <https://doi.org/10.15802/stp2020/208233>.
3. Пахомова В. М., Павленко І. І. Дослідження параметрів якості визначення мережових 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.
4. Пахомова В. М., Маслак А. В. Визначення атак категорії Probe з використанням бази даних KDDCup99 та нейронечіткої технології. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 2022. Том 33(72). № 5. 135-140.
5. Пахомова В. М., Мотиленко В. А. Дослідження можливості використання RBF для визначення Smurf атак на основі бази даних KDDCup. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. 2022. Т. 33 (72), № 6. С. 115–121. DOI: 10.32782/2663-5941/2022.6/20.
6. Alguliyev R. M., Aliguliyev R. M., Imamverdiyev Y. N., Sukhostat L. V. An improved ensemble approach for DoS attacks detection. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 2. С. 73-82. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-2-8.

7. 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>.
8. Esteban J. A New GHSOM Model applied to network security. *Artificial Neural Networks-ICANN 2008*. 2008. P. 680-689.
9. Grill M., Pevny T., Rehak M. Reducing false positives of network anomaly detection by local adaptive multivariate smoothing. *Journal of Computer and System Sciences*. 2017. 83 (1). pp. 43-57. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jcss.2016.03.007>.
10. 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.
11. NSL-KDD dataset. UNB: веб-сайт. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/nsl.html> (дата звернення: 05.05.2023).
12. Zhukovyts'kyi 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>.

Pakhomova V.M., Kvochka M.Yu. DEFINITION OF NETWORK ATTACKS OF PROBE CATEGORY BY MEANS OF MULTILAYER NEURAL NETWORK

To detect network attacks in real time, intrusion detection systems (Intrusion Detection System, IDS) are used, in which the problem of a large volume of network traffic appears and for solving which it is advisable to use neural network technology, which confirms the relevance of the topic. The following network attacks of PROBE category are investigated: Ipsweep; Nmap; Portsweep; Satan using the open NSL-KDD database by means of the 41-1-X-5 neural network configuration, created in the MatLAB environment using the Toolbox application, as well as determining its optimal parameters and evaluating the quality parameters for detecting network attacks of the PROBE category on the created neural network. The study of the RMS error of the created neural network with different number of hidden neurons (20, 40, 60 and 80) according to different learning algorithms (Levenberg-Marquardt, Bayesian regularization and Scaled Conjugate Gradient) on samples of different lengths (250, 750 and 1500 examples) is carried out. It is determined that the smallest value of the error of the created neural network was achieved with 60 hidden neurons according to the Levenberg-Marquardt learning algorithm on a sample of 1500 examples. The quality parameters of detection of network attacks of PROBE category on the created neural network are evaluated. It was determined that the values of the error of the first and second kind were 6.67 % and 5.33 %, respectively.

Key words: attack, network class, PROBE, hidden neuron, sample length, learning algorithm, error, quality assessment.

Поліщук С.М.

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

ЛАНДШАФТ ЗАГРОЗ СПУФІНГУ: ТЕНДЕНЦІЇ, ВРАЗЛИВОСТІ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ця стаття має на меті привернути увагу студентів, користувачів комп'ютерів і дослідників-початківців до такого типу небезпеки, як спуфінг. Спуфінг передбачає видавання себе за когось іншого або за комп'ютер шляхом надання неправдивої інформації, такої як імена електронної пошти, URL-адреси чи IP-адреси. Комп'ютерний світ представляє різні форми спуфінгу, усі вони маніпулюють інформацією за допомогою оманливих засобів. У цій статті розглядається наступні типи спуфінгу: IP, ARP, E-Mail, Web і DNS. Важливо зазначити, що будь-яка форма спуфінгу не використовується законно чи конструктивно. Наслідки таких атак можуть бути жахливими, призводячи до мільйонних фінансових втрат, а також до потенційної шкоди окремим особам і організаціям. IP-спуфінг передбачає маніпулювання IP-адресами, щоб змусити системи довіряти джерелу даних. З іншого боку, ARP-спуфінг використовує протокол розпізнавання адрес, щоб зв'язати MAC-адресу зловмисника з законною IP-адресою. Підробка електронної пошти обманює одержувачів, змінюючи адресу відправника так, щоб вона виглядала неначе її відправлено кимось іншим. Веб-спуфінг створює підроблені веб-сайти, які імітують законні веб-сайти, щоб викрасти конфіденційну інформацію. Нарешті, підробка DNS перенаправляє користувачів на шкідливі веб-сайти, змінюючи записи DNS. Щоб захиститися від атак спуфінгу, слід застосувати кілька заходів виявлення та запобігання. Впровадження надійних механізмів автентифікації може допомогти перевірити ідентичність користувачів і систем. Розширені методи шифрування, такі як цифрові підписи та сертифікати SSL, можуть захистити цілісність даних під час передачі. Адміністратори мережі повинні відстежувати мережевий трафік і шукати нерегулярні шаблони, які можуть вказувати на спроби підробки. Крім того, розгортання систем виявлення вторгнень (IDS) і систем запобігання вторгненням (IPS) може допомогти виявляти та блокувати атаки підробки в реальному часі. Для додавання додаткового рівня безпеки та забезпечення цілісності даних DNS можна використовувати DNSSEC (Domain Name System Security Extensions). Навчання користувачів щодо спуфінгу та сприяння пильності під час роботи з електронними листами та веб-сайтами також може значно знизити ризик стати жертвою таких атак. А регулярні тренінги з питань безпеки можуть допомогти користувачам виявляти підозрілі дії та негайно повідомляти про них. Слід зазначити, що розуміння різних типів атак спуфінгу має важливе значення для захисту цифрових активів і особистої інформації. Ознайомившись із методами виявлення та запобігання до таких типів атак, можливо мінімізувати руйнівні наслідки спуфінгу, як для окремих осіб, так і для організації.

Ключові слова: спуфінг, кіберзахист, атаки, IP спуфінг, ARP спуфінг, E-Mail спуфінг, Web спуфінг, DNS спуфінг.

Постановка проблеми. Глобальні обчислення за допомогою розумних пристроїв стали звичним явищем, покращуючи якість життя. Але з'явилися і ризики для безпеки. Глобальне середовище залежить від підключених мереж, що робить мережеву безпеку життєво важливою. Захист цих мереж має вирішальне значення. Одним із видів загроз в глобальній мережі є спуфінг. Атаки спуфінгу є одними з найпоширеніших атак у мережі і використовують метод за допомогою якого кіберзлочинці видають себе за: відоме або надійне джерело інформації, за людину або систему. Спуфінг може приймати різноманітні форми:

– IP: підробка IP-адреси джерела, щоб замаскувати відправника;

– ARP: пов'язує MAC-адресу зловмисника з цільовою IP-адресою;

– електронна пошта: Підробляє заголовки, щоб імітувати відправника;

– веб: копіює сайти для викрадення облікових даних;

– DNS: перенаправляє трафік через пошкоджені дані.

Спуфінг має лише зловмисні цілі, такі як крадіжка або завдання шкоди. Атаки можуть серйозно пошкодити системи і коштувати мільйони. Система безпеки повинна відстежувати та запобігати спуфінгу, враховуючи серйозну загрозу, яку він становить, оскільки комп'ютерні технології стають все більш поширеними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зловмисники викростовують різноманітні типи спуфінгових атак, але найбільшого поширення серед них набули такі типи спуфінгу: IP, ARP, E-Mail, Web і DNS. Підміна IP-адреси полягає у видаванні себе за довірену систему для отримання несанкціонованого доступу. Зловмисники надсилають пакети на ціль з підробленими адресами джерела, створюючи враження, що вони надходять з довіреного порту або пристрою [1]. Такі дії можливі оскільки системи функціонують у групах інших «довірених» систем та реалізується шляхом автентифікації за IP-адресою із-за погано налаштованих маршрутизаторів у випадку надходження пакетів з зовнішніх джерел [2]. Зокрема у дослідженнях зазначається такий тип спуфінгу, як ARP (Address Resolution Protocol) спуфінг. Протокол ARP зіставляє IP-адреси з MAC-адресами і зберігає ці пари в кеші [3, с. 48]. Термін дії записів закінчується через 20 хвилин. Коли хосту потрібен MAC-адреса для IP-адреси, він надсилає ARP-запит. Хост з цим IP/MAC відповідає своєю інформацією, щоб ARP міг оновити кеш відправника [4, с. 22; 5, с. 3866]. Однак, ARP не має автентифікації, що уможливило атаки з підміною ARP [6, с. 1]:

1. блокування – зловмисник отрує кеш, щоб перенаправляти пакети не за призначенням;
2. видавання себе за жертву – зловмисник асоціює свій MAC-адрес з IP-адресою жертви для відкидання пакетів;
3. man-in-the-middle – зловмисник асоціює себе між двома хостами для перехоплення зв'язку.

Але недоліки автентифікації роблять протокол ARP вразливим до атак підміни.

Іншим видом загрози є підробка електронної пошти відомий, як спуфінг електронної пошти – E-mail спуфінг [7, с. 27]. Спуфінг електронної пошти може сприяти зловмисним діям, включаючи розповсюдження вірусів, фішинг для отримання конфіденційної інформації, крадіжку корпоративних даних та інші форми кібершпигунства. Небезпеку становить і підробка URL-адрес, що передбачає створення підроблених веб-сайтів, які видають себе за легітимні, з метою крадіжки інформації про користувачів або розповсюдження шкідливого програмного забезпечення [8].

Натомість DNS (Domain Name System) спуфінг небезпечний тим, що зловмисники використовують вразливості в програмному забезпеченні DNS-серверів або застосовують соціальну інженерію для вставки фальшивих записів. Це дозволяє їм перенаправляти користувачів на підконтр-

ольні зловмисникам сайти, що видають себе за справжні домени [9, с. 84].

Незважаючи на значну кількість наукових публікацій, присвячених проблемам захищеності від спуфінг атак, існує потреба у подальших дослідженнях цієї тематики.

Метою статті є всебічний аналіз і цілеспрямоване дослідження проблем кібербезпеки, пов'язаних з такими типами атак, як спуфінг. Розглядаються наступні типи спуфінгу: IP, ARP, E-Mail, Web і DNS. Важливо зазначити, що будь-яка форма спуфінгу не використовується законно чи конструктивно. Наслідки таких атак можуть бути жахливими, призводячи до мільйонних фінансових втрат, а також до потенційної шкоди окремим особам і організаціям.

Виклад основного матеріалу дослідження. Спуфінг – це небезпечна практика фальсифікації даних в комп'ютерних мережах, що включає різноманітні методи фальсифікації інформації. На практиці найбільш поширені такі основні типи кібератак з використанням спуфінгу:

- підробка IP-адреси для приховування дійсного джерела трафіку;
- ARP спуфінг для перехоплення мережеских пакетів шляхом асоціації чужого MAC адресу зі своєю IP;
- підробка електронної пошти – створення листів від імені інших користувачів;
- веб-спуфінг – копіювання сайтів для крадіжки даних;
- підміна DNS для перенаправлення трафіку на шкідливі ресурси.

Спуфінг не має жодного законного застосування, використовується виключно зі злочинною метою та може завдати серйозних фінансових збитків і репутаційних втрат. Захист від спуфінгу потребує комплексного підходу і постійної уваги фахівців кібербезпеки.

Підміна IP-адреси є одним з найбільш поширених методів кібератаки, який використовують зловмисники для отримання неавторизованого доступу до комп'ютерних систем та мереж. Суть цієї атаки полягає в надсиланні на цільовий пристрій шкідливих мережеских пакетів з підробленою IP-адресою джерела, що створює хибне враження, ніби пакети надходять з надійного, довіреного вузла мережі [1]. Для успішного здійснення підміни IP зловмиснику необхідно виконати низку складних технічних кроків:

- ідентифікувати цільову систему та отримати її мережескі параметри;
- знайти IP-адресу якогось надійного вузла в цій мережі, наприклад маршрутизатора;

- якимось чином відключити реальний зв'язок з довіреним вузлом, щоб перехопити трафік;
- перехопити зразок комунікації між ціллю та надійним хостом;
- підібрати порядкові номери пакетів, що використовує довірений вузол;
- змінити заголовки пакетів так, щоб вони здавалися такими, ніби надійшли з довіреного хоста;
- спробувати несанкціоноване підключення до сервісу, який вимагає автентифікації.

Основна мета підміни IP – видати себе за одну систему (B), використовуючи IP-адресу іншої довіреної системи в мережі (A). Це можливо тому, що вузли часто довіряють іншим вузлам всередині локальної мережі або сегмента. Недолік полягає в тому, що атака є «сліпою» без зворотного зв'язку. Для успіху потрібні досвід та знання мереж.

Для запобігання підміні IP слід використовувати автентифікацію IP, фільтрацію трафіку, моніторинг, вимикати непотрібну маршрутизацію пакетів. Це складна, але небезпечна атака, яка потребує постійної уваги фахівців кібербезпеки.

Протокол ARP відповідає за встановлення відповідності між IP-адресами та фізичними MAC-адресами пристроїв в мережі [2]. Він використовує ARP-кеш – таблицю, що зберігає співставлення MAC і IP адрес. Коли маршрутизатор отримує пакет для хоста в мережі, він звертається до ARP, щоб знайти MAC-адресу за відомою IP. Якщо запис є в ARP-кеші – повертається MAC і пакет надсилається за цією адресою. Інакше ARP розсилає запит на всі хости мережі, щоб знайти MAC для IP. Комп'ютер, що розпізнає свою IP, відповідає своєю MAC. ARP оновлює кеш і надсилає пакет за отриманою MAC-адресою. Підміна ARP полягає у надсиланні фальшивих ARP-запитів і відповідей для отримання неправдивих співставлень MAC та IP адрес. Це дозволяє зловмиснику перенаправляти трафік з одного пристрою на інший. Існують утиліти для автоматизації ARP спуфінгу, що спрощує перехоплення пакетів та MITM-атаки.

Для запобігання підміні ARP є два основні методи. По-перше, прив'язка MAC-адрес на комутаторі, що унеможливує зміну вже призначеного MAC. По-друге, використання статичних ARP-таблиць, хоча це можливо лише в невеликих мережах. Додатково для виявлення змін в ARP-кеші можна застосовувати моніторинг, наприклад, утиліту ARPWatch в UNIX-системах. Це допомагає оперативно реагувати на спроби атак підміни ARP.

ARP спуфінг є поширеною загрозою, що дозволяє перехоплювати трафік в локальних мережах.

Слід впроваджувати заходи для запобігання та виявлення таких атак, зокрема, обмеження динамічної зміни ARP-таблиць, моніторинг, автентифікація. Безпека ARP має критичне значення для захисту внутрішніх мереж від несанкціонованого доступу.

Підробка електронної пошти є поширеною кіберзагрозою, що полягає у надсиланні повідомлень, котрі видаються такими, ніби надійшли від легітимного джерела, проте насправді є фальшивками від зловмисників. Метою такої підробки зазвичай є здійснення шахрайських, злочинних або шкідливих дій, зокрема: поширення вірусів та шкідливого програмного забезпечення, фішинг конфіденційних даних, промислове шпигунство, крадіжка грошей тощо. Як і в звичайних поштових листах, в електронних повідомленнях містяться зворотні адреси відправників, котрі досить легко підробити за допомогою спеціальних засобів [7, с. 27]. Найпоширеніші причини для здійснення спуфінгу електронної пошти:

- обхід антиспам законодавства та уникнення юридичної відповідальності за розсилку незаконного спаму;
- приховування авторства листів з погрозами, переслідуванням чи шантажем;
- спонукання користувачів відкрити шкідливі вкладення, видаючи лист за повідомлення від знайомого джерела;
- соціальна інженерія – видавання себе за довірену особу з метою виманити конфіденційні дані;
- завдання репутаційної шкоди іншим особам шляхом створення фальшивих листів від їхнього імені.

Ефективний захист від підробки електронної пошти вимагає комплексу технічних і організаційних заходів, зокрема: фільтрації спаму, перевірки заголовків листів, впровадження DMARC (Domain-based Message Authentication, Reporting and Conformance), обережності при відкритті вкладень у листах, навчання користувачів тощо.

Метою такого типу кібератаки, як веб-спуфінг – є введення в оману користувачів шляхом надання їм неправдивої інформації. При цій атаці зловмисник може переглядати та маніпулювати веб-сторінками, що надсилаються на пристрій жертви, отримуючи доступ до введених нею даних у формах [8]. Це становить значний ризик компрометації конфіденційної інформації, такої як адреси, номери карток, банківські реквізити та паролі. Веб-спуфінг реалізується в браузерах IE, Netscape та інш. і може обійти захищене SSL-з'єднання. Незважаючи на індикування безпечного зв'язку, зловмисник може стежити за сторінками і маніпулювати ними, а також

перехоплювати відправлені дані. Атака складається з двох частин. По-перше, створення підробленого браузерного вікна на пристрої жертви із заміною окремих компонентів. По-друге, перенаправлення всіх сторінок через сервер зловмисника, де вони непомітно модифікуються. Таким чином користувачі можуть потрапити на шкідливі сторінки або листи. Сучасні браузери не повністю захищені від веб-спуфінгу, що створює серйозні перешкоди для безпечної електронної комерції.

Для захисту від веб-спуфінгу потрібно регулярно оновлювати програмне забезпечення, використовувати надійні браузери, уникати підозрілих посилань, застосовувати VPN (virtual private network) та інші засоби кібербезпеки. Подолання вразливостей веб-спуфінгу критично важливе для забезпечення цілісності та безпеки онлайн-транзакцій.

Ще одна найбільш часто поширена кібератака – підміна DNS, що полягає у несанкціонованому внесенні хостом неправдивої інформації про DNS-розв'язання, внаслідок чого користувачі перенаправляються на шкідливі сайти [9, с. 84]. Зловмисники використовують соціальну інженерію або користуються вразливостями програмного забезпечення DNS-серверів, щоб змінювати DNS-записи та вводити в оману користувачів. Перенаправивши користувача на підконтрольний сайт, зловмисник може виконати атаку «людина посередині» та викрасти конфіденційні дані. За звичайних умов користувач очікує отримати зі свого DNS-серверу правильну IP-адресу ресурсу. Проте під час атаки підміни DNS зловмисник змінює запис для потрібного хоста, підмінюючи справжню IP-адресу на фальшиву. Коли клієнт звертається до скомпрометованого DNS, він отримує сфальсифіковану відповідь та переходить на небезпечний сайт замість легітимного ресурсу.

Для захисту критично важливо забезпечити безпеку DNS-інфраструктури, регулярно онов-

лювати програмне забезпечення, використовувати DNSSEC (Domain Name System Security Extensions), моніторити трафік, застосовувати брандмауери та інші засоби кібербезпеки.

Висновки. Запобігання атакам спуфінгу вкрай важливе для підтримки безпеки мережі. Існують ефективні методи фільтрації пакетів:

- метод фільтрації на вході (IFM – Ingress Filtering Method) перевіряє автентичність вхідних пакетів на основі IP-адреси джерела. Проте цей метод обмежений для мереж з одним підключенням;

- метод фільтрації на виході (EFM – Egress Filtering Method) контролює вихідний трафік, фільтруючи пакети за політиками безпеки. EFM допомагає запобігти несанкціонованому трафіку;

- метод запобігання підмінам (SPM – Spoofing Prevention Method) використовує унікальний ключ між джерелом і одержувачем для автентифікації. SPM дозволяє поетапне розгортання.

Для веб-додатків можна застосувати:

- криптографічні підписи для автентифікації повідомлень;

- налаштування демонів доставки пошти для блокування спуфінгу;

- логування для відстеження джерела спуфінгу;

- централізований поштовий хаб як єдину точку входу.

- нформування користувачів для запобігання соціальній інженерії.

Ці методи в комплексі значно знижують ризики спуфінг-атак. Крім того, фахівцям кібербезпеки важливо розуміти серйозність загрози та оперативно лагодити вразливості. Потрібні постійний моніторинг і навчання, адже зловмисники наполегливо шукають слабкі місця. Захист від нових видів атак вимагає гнучкості та адаптації. Комплексний підхід до безпеки – запорука успіху в боротьбі зі спуфінгом та підтримання довіри користувачів.

Список літератури:

1. Daemon, Route, Infinity, «IP Spoofing Demystified», Phrack Magazine, vol. 7 issue 48, 1996.
2. «IP Address Spoofing and Hijacked Session Attacks»; 1/23/95 <http://ciac.llnl.gov/ciac/bulletins/f-08.shtml>.
3. R. Philip, Securing wireless networks from ARP cache poisoning [M.S. thesis], San Jose State University, 2007, p. 48.
4. C. L. Abad and R. I. Bonilla, «An analysis on the schemes for detecting and preventing ARP cache poisoning attacks,» in Proceeding of the 27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW '07), Toronto, Canada, June 2007, pp. 22–29.
5. S. Y. Nam, S. Djuraev, and M. Park, «Collaborative approach to mitigating ARP poisoning-based Man-in-the-Middle attacks,» Computer Networks, vol. 57, 2013, pp. 3866–3884.
6. L. Wu, T. Yu, D. Wu, and J. Cheng, «The Research and Implementation of ARP Monitoring and Protection,» in Proceedings of the International Conference on Internet Technology and Applications (iTAP '11), Wuhan, China, August 2011, pp. 1–4.
7. Rajinder Kumar, Amandeep Jindal and Kunal Pandove. Article: Email Spoofing. International Journal of Computer Applications 5(1), August 2010. Published By Foundation of Computer Science, pp. 27–30.

8. Felten, Balfanz, Dean, Wallach D.S., «Web Spoofing, An Internet Con Game»; <http://bau2.uibk.ac.at/matic/spoofing.htm>
9. Maksutov A.A., Cherepanov I.A., Alekseev M.S. Detection and prevention of DNS spoofing attacks. In Siberian symposium on data science and engineering., IEEE. 2017, pp. 84–91.

Polischuk S.M. THE SPOOFING THREAT LANDSCAPE: TRENDS, VULNERABILITIES AND FUTURE RESEARCH DIRECTION

This article aims to make students, computer users, and novice researchers aware of the dangers of spoofing. Spoofing involves pretending to be someone else or a computer by providing false information such as email names, URLs, or IP addresses. The computer world presents various forms of spoofing, all of which manipulate information through deceptive means. This article covers the following types of spoofing: IP, ARP, E-Mail, Web, and DNS. It is important to note that any form of spoofing is not used legally or constructively. The consequences of such attacks can be dire, leading to millions of dollars in financial losses, as well as some harm to individuals and organizations. IP spoofing involves manipulating IP addresses to trick systems into trusting data sources. ARP spoofing, on the other hand, uses the Address Resolution Protocol to associate an attacker's MAC address with a legitimate IP address. E-mail phishing tricks recipients by changing the sender's address to make it look like it was sent by someone else. Web spoofing creates fake websites that mimic legitimate websites in order to hide sensitive information. Finally, DNS spoofing redirects users to malicious websites by altering DNS records. Several detection and prevention measures should be implemented to protect against spoofing attacks. Implementing strong authentication mechanisms can help verify the identity of users and systems. Advanced encryption methods, such as digital signatures and SSL certificates, can protect the integrity of data in transit. Network administrators should monitor network traffic and look for irregular patterns that may indicate spoofing attempts. In addition, deploying intrusion detection systems (IDS) and intrusion prevention systems (IPS) can help detect and block spoofing attacks in real time. DNSSEC (Domain Name System Security Extensions) can be used to add an additional layer of security and ensure the integrity of DNS data. Educating users about spoofing and promoting vigilance when dealing with emails and websites can also significantly reduce the risk of falling victim to such attacks. And regular security training can help users spot suspicious activity and report it immediately. It should be noted that understanding the different types of spoofing attacks is essential to protecting digital assets and personal information. By learning how to detect and prevent these types of attacks, it is possible to minimize the devastating effects of spoofing, both for individuals and organizations.

Key words: spoofing, cyber protection, attacks, IP spoofing, ARP spoofing, E-Mail spoofing, Web spoofing, DNS spoofing.

Сікора О.В.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Часто при розв'язуванні прикладних задач потрібно не просто знайти розв'язок задачі, а знайти найкраще рішення, або як кажуть оптимальний розв'язок. Такі задачі виникають при складанні раціону харчування, при розкрою матеріалу, при розподілі ресурсів між фірмами, при оптимізації транспортних перевезень, при оптимізації асортименту продукції та інші. Задачі комбінаторної оптимізації можна зустріти і в суспільному житті. Наприклад, знаходження оптимальних туристичних походів, оптимізація прокладання електромережі, мінімізація послуг з водопостачанням та водовідведенням, мінімізація довжини маршрутних доріг і т.д.

Сьогодні велика кількість задач оптимізуючого характеру вимагає використання різних методичних підходів, математичних методів та інформаційних технологій. Застосування для рішення того чи іншого математичного метода залежить від математичної моделі розглядуваного процесу. Розрізняють детерміновані, ймовірнісні та ігрові задачі і їх моделі. Детерміновані оптимізаційні задачі характеризуються тим, що вони не містять випадкових змінних і параметрів, ймовірності об'єкти містять значення ймовірності появи того чи іншого фактора впливу на рішення, ігрові задачі характерні тим, що кожен із учасників може переслідувати свої інтереси.

У статті розглянуто оптимізаційні задачі шкільного курсу та розкрито методичні підходи до їх вирішення з використанням інформаційних технологій. Так розглянуто задачі лінійного програмування де показано принципи побудови математичної моделі і з використанням додатку Розв'язувач в Microsoft Excel знайдено її розв'язок. Наведено приклади і знайдено рішення задач теорії ігор з використанням мінімакських та максимінних стратегій. Розкрито область застосування таких задач та основні підходи до їх вирішення. Оптимізаційні задачі динамічного програмування, що характеризуються розбиттям задачі на окремі підзадачі, розв'язано методом динамічного програмування, що дає можливість створити швидкий та ефективний підхід, який мінімізує час розв'язку таких задач.

У статті продемонстровано програмну реалізацію в системі Python задачі про Робота, мета якої полягає в знаходженні шляху мінімальної довжини від верхньої лівої клітинки до правої нижньої.

Розв'язування оптимізаційних задач в шкільному курсі інформатики дозволяє формувати в учнів зацікавленість в практичних задачах, у використанні інформаційних технологій та систем програмування, розширює інформатичний інструментарій школяра, сприяючи підсиленню зв'язку навчання з життям.

Ключові слова: оптимізаційні методи, математична модель, мінімаксні стратегії, програмний продукт, динамічне програмування, мова програмування Python.

Постановка проблеми. Людина при вирішенні багатьох проблем намагається отримати якомога найкращий (оптимальний) розв'язок. Чи це вибір маршруту, чи витрати на будівництво та ремонт, чи вкладання грошей в бізнес, чи розподіл ресурсів між цехами, фірмами та інше. При рішенні такого типу задач люди часто керуються своєю інтуїцією, досвідом роботи, нагромадженими знаннями, тощо. Але сьогодні при розв'язуванні масштабних задач планування, розподілу ресурсів, будівництві необхідне використання математичних методів та інформаційних технологій для оптимізації роботи. Вивчення оптимізаційних задач в шкільному курсі інформатики дозволяє формувати в учнів зацікавленість в практичних задачах, використанні інформаційних технологій

та систем програмування, розширює інформатичний інструментарій школяра, сприяючи підсиленню зв'язку навчання з життям. Такі задачі оптимізаційного характеру сприяють всебічному розвитку, розширенню кола знань, ефективному формуванню поняття математичної моделі, зацікавленості у вирішенні таких задач, демонструє можливості використання засобів інформаційно-комунікаційних технологій у розв'язанні прикладних задач, сприяє формуванню компетентнісного підходу в навчанні інформатики та забезпечує формування інформатичних компетентностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багато відомих вчених присвятили свої роботи розробці та практичному використанню оптимізаційних методів. Дослідженням задач лінійного

та нелінійного програмування присвятили свої роботи І. Баргіш [3], І. Дудзяний [5], Г. Цегелик [4]. Вагомий вклад у дослідження методів теорії оптимізації внесли О.Ю. Червак [6], Б.М. Пшеничний, В.С. Міхалевич, Н.К. Максишко, В.О. Препелиця. Основи теорії і методи оптимізації розкрито в роботах М. Жалдака, Ю. Триуса [2], В. Кутковецького [8] та інших. Робота в середовищі Python, принципи створенню програмних продуктів розкрито в роботах А.О. Костюченко, А.В. Яковенко, Марка Лутца, Майкла Доусона та інших.

Мета статті – дослідити процес прийняття ефективних рішень з використанням інформаційних технологій.

Виклад основного матеріалу дослідження. Люди часто в своїй практиці розв'язують задачі з вибору найкращого результату з усіх можливих альтернатив. Наприклад, кожен вибирає маршрут до роботи мінімальної довжини, при плануванні роботи підприємства керівник організовує так роботу, щоб отримати максимальний прибуток при мінімальних витратах. Такі задачі зустрічаються всюди, в побуті, в економіці, на виробництві, у військовій справі і т.д. Однак потрібно враховувати те, що, наприклад, побудувати сучасний швидкісний літак за мінімальні вкладення неможливо.

Оптимізація – це сукупність методів, дій, направлених на модернізацію і покращення процесу вибору найкращого результату з усіх можливих. Оптимізація використовується практично у всіх сферах людського життя. Задачі, які визначають найкращий результат, найменші витрати, найбільші прибутки та інші відносяться до оптимізаційних. Сьогодні для рішення таких задач використовують обґрунтовані математичні методи, які дозволяють вирішувати оптимізаційні проблеми. Для вирішення таких задач необхідно:

– записати функцію мети, яка виражає або прибуток, або витрати і т.д.;

– задати обмеження, що впливають на вирішення задачі. Це можуть бути обмеження на сировину, на людиноресурси, на машинний час, на обладнання та інші;

– знайти мінімальне чи максимальне значення цільової функції при заданих обмеженнях.

Для прикладу візьмемо роботу бізнесмена, який намагається максимізувати свій прибуток, однак він обмежений кількістю людей, наявними грошима, обладнанням та ін. Так само керівник будівельної фірми намагається побудувати об'єкт за мінімальний час, але у нього теж є свої обмеження, а саме обмеження на якість та охорону праці, кількість будівельної техніки, кількість

робочих рук, кількість коштів і т. д. Інколи для вирішення оптимізаційних задач можна застосувати класичні методи математичного аналізу, але великий клас оптимізаційних задач вимагають інших, відмінних від класичних оптимізаційних методів, які є науково обґрунтовані і доведені.

Цільова функція – це аналітична залежність між умовою оптимальності і параметрами. Для функції мети завжди і обов'язково вказується напрям оптимізації:

$$F(x) \longrightarrow \max \quad (F(x) \longrightarrow \min).$$

Функція мети приймає числове значення, що характеризує наскільки оптимальним є знайдене рішення. Знайдене числове значення функції мети враховує і ті обмеження, що накладені на цільову функцію.

Розв'язок оптимізаційної задачі починається із побудови математичної моделі, яка містить:

- список шуканих змінних;
- функцію мети;
- критерій оптимізації функції мети;
- систему обмежень.

Для рішення задач оптимізації сьогодні доцільно використовувати інформаційні технології, які зменшують час витрат на розв'язування поставлених проблем, мінімізують кількість операцій та не вимагають знання математичних методів, що використовуються для прийняття рішень. Для прикладу розглянемо кілька задач оптимізації шкільного курсу і їх рішення за допомогою інформаційних технологій.

Приклад 1. Кондитерський цех може випікати торти трьох видів: Наполеон, Шоколадний, Празький. Кількість кожного виду продуктів, що йде на приготування одного кілограма торта, запаси продуктів, ціна по якій реалізується один кілограм торта подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Дані для прикладу 1

Вид продукту	ТОРТИ			Запаси продуктів
	Наполеон	Шоколадний	Празький	
Мука	4	5	6	25
Молоко	2	3	4	15
Масло	6	5	5	22
Какао	3	5	7	12
Ціна 1кг виробу	65	70	75	

Слід визначити скільки кілограмів виробляти тортів і якого виду, щоб загальний прибуток був максимальним.

Для рішення такої задачі побудуємо математичну модель.

Нехай

X_1 – кількість кілограм торта Наполеон;

X_2 – кількість кілограм торта Шоколадний;

X_3 – кількість кілограм торта Празький.

Значення цільової функції, а саме прибуток буде рівний:

$$F=65*X_1+70*X_2+75*X_3 \rightarrow \max$$

При вирішення цієї задачі слід записати обмеження на продукти, оскільки їх запаси обмежені: для муки:

$$4*X_1+5*X_2+6*X_3 \leq 80$$

для молока:

$$2*X_1+3*X_2+4*X_3 \leq 90$$

для масла:

$$6*X_1+5*X_2+5*X_3 \leq 100$$

для какао:

$$3*X_1+5*X_2+7*X_3 \leq 90.$$

Отже, наша задача звелася до відшукування максимального значення функції

$$F=65*X_1+70*X_2+75*X_3 \rightarrow \max$$

при обмеженнях:

$$B = \log_s I - \log_s a$$

Оскільки і функція мети і обмеження є лінійними, то ми отримали задачу лінійного програмування. Для її вирішення скористаємося надбудовою в Microsoft Excel, а саме Дані→Розв'язувач. Введемо всі необхідні дані на Лист Excel (рис. 1).

Клітинки таблиці мають наступне призначення:

– A1:C4 – таблиця значень при невідомих в системі обмежень;

– D1:D4 – значення запасів продуктів;

– A13:C13 – значення цін при реалізації;

– A6:C6 – значення розв'язків X , початкові значення яких задані 1 (одиницею) та які будуть оптимізовані програмою;

– B8:B11 – вирази, які обчислюють добуток $A*X$;

– D13 – вираз, який обчислює значення цільової функції.

Встановивши курсор на D13, клітинка в якій обчислюється значення цільової функції, заповнюємо параметри вікна Розв'язувача. Для цього вводимо адрес комірки де обчислюється функція мети, активізуємо максимум, вводимо обмеження, вибираємо симплекс метод розв'язування задачі лінійного програмування та вказуємо невід'ємність шуканих невідомих.

Отримуємо результат (рис. 3).

Отже, згідно нашої постановки задачі можемо максимально отримати прибуток в 1210 одиниць, якщо випікатимемо 10 кг торта Наполеон і 8 кг Шоколадного торта.

Часто приходиться вирішувати проблеми в конфліктних ситуаціях. Для вирішення таких задач існує теорія ігор. Теорія ігор – це математичний апарат, що містить методи вирішення конфліктних ситуацій. Основне завдання теорії ігор визначити оптимальні стратегії поведінки кожного з гравців.

Розглянемо парну скінчену гру. Нехай кожен із гравців володіє своїми стратегіями:

	A	B	C	D
1	4	5	6	80
2	2	3	4	90
3	6	5	5	100
4	3	5	7	90
5				
6	10	7,999999999999999	0	
7				
8		=A1*A6+B1*B6+C1*C6	<=	80
9		=A2*A6+B2*B6+C2*C6	<=	90
10		=A3*A6+B3*B6+C3*C6	<=	100
11		=A4*A6+B4*B6+C4*C6	<=	90
12				
13	65	70	75	=A13*A6+B13*B6+C13*C6

Рис. 1. Дані на листі Excel

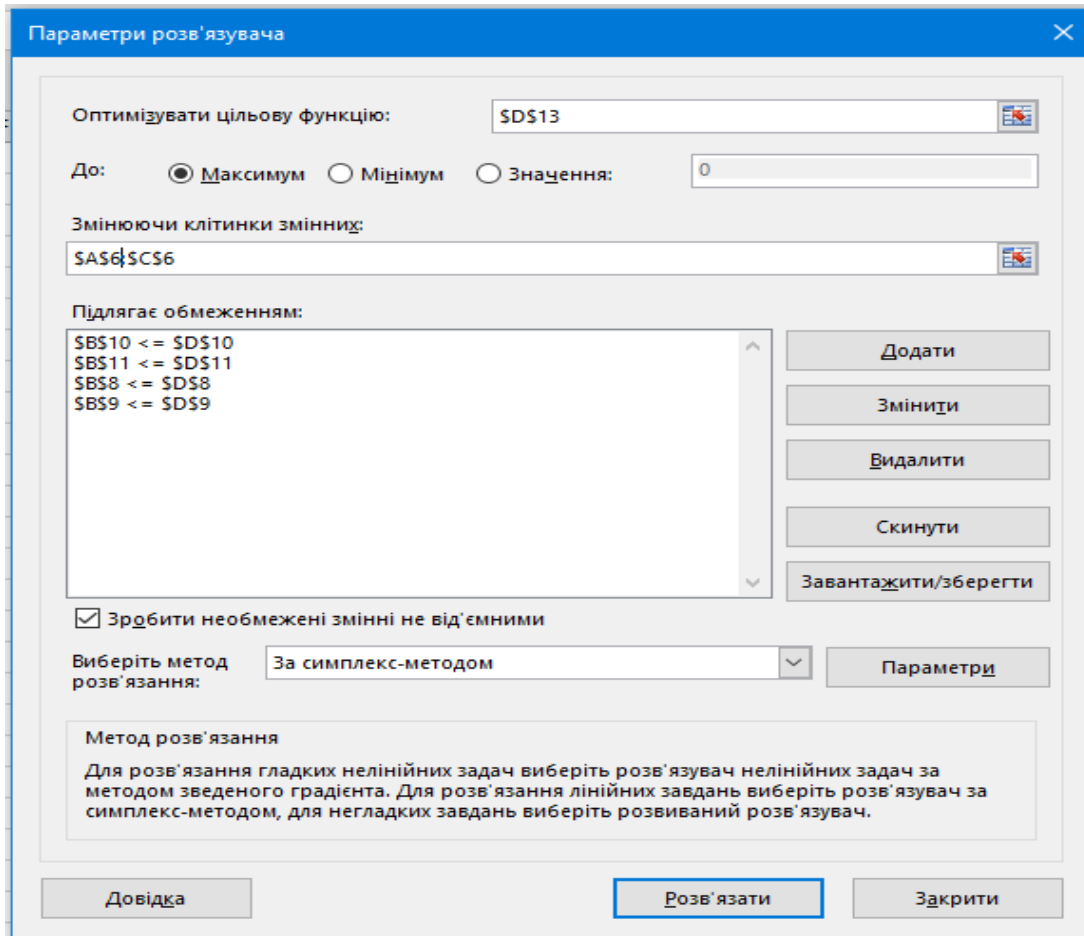


Рис. 2. Параметри розв'язувача

A_1, A_2, \dots, A_m – стратегії гравця А;
 B_1, B_2, \dots, B_n – стратегії гравця В.
 Матриця $P = (a_{ij})$ ($i = 1, m; j = 1, n$), де кожен елемент позначає виграш одного із гравців, коли І гравець вибрав стратегію A_i , а другий – B_j , називається матрицею гри (рис. 4).

Найбільш дієвим для вирішення задач теорії ігор є принцип мінімаксу-максиміну.

Якщо гравець А обирає свою стратегію A_i , то в найгіршому випадку він отримає найменший виграш рівний:

$$\alpha_i = \min_j a_{ij}, \quad i = \overline{1; m}.$$

Обираючи свою стратегію, гравець А враховує розумну поведінку противника і знає що він виграє не менше ніж α_i . Передбачаючи таку ситуацію гравець А з усім можливих виграшів вибирає найкращий виграш, а саме:

$$\alpha = \max_i \alpha_i$$

$$\beta = \min_j \beta_j$$

	A	B	C	D	
1	4	5	6		80
2	2	3	4		90
3	6	5	5		100
4	3	5	7		90
5					
6	10	8	0		
7					
8		80	<=<		80
9		44	<=<		90
10		100	<=<		100
11		70	<=<		90
12					
13	65	70	75		1210

Рис. 3. Результат рішення прикладу 1

Платіжна матриця (матриця гри)

Стратегії гравця А \ Стратегії гравця В	B_1	B_2	...	B_n	$\alpha_i = \min_j a_{ij}$
A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	α_1
A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	α_2
...
A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	α_m
$\beta_i = \max_j a_{ij}$	β_1	β_2	...	β_n	$\beta = \min_j \beta_j$

Рис. 4. Матриця гри

Число a – це гарантований виграш одного із гравців, не залежно яку із стратегій обере інший гравець і називається нижньою ціною гри. Така стратегія, що обрав перший гравець і отримав виграш називається максимінною стратегією.

Гравець В розуміючи свій програш він намагатиметься мінімізувати виграш противника, тобто максимально його понизити обираючи свої стратегію.

З усіх програшів другий гравець обиратиме мінімальний.

або

$$B = a + b \cdot (I - I_{\max}) + c \cdot (I - I_{\max})^2$$

Стратегія гравця В, яка відповідатиме його мінімальному програшу називається мінімаксною стратегією. Число β називається верхньою ціною гри. Якщо нижня ціна гри співпадає із верхньою ціною і один і той же елемент a_{ij} є найменшим в своєму рядку і найбільшим в своєму стовпці, то кажуть, що гра має сідлову точку, а стратегії A_i^* та B_j^* , що відповідають цьому елементу, називаються оптимальними, а разом оптимальні стратегії і ціна гри – вважається рішенням матричної гри в чистих стратегіях.

Приклад 2. Дві конкуруючі фірми А і В намагаються завоювати збут своїх товарів у трьох районах. Нехай

A_1 -стратегія, що фірма А продає товар в першому районі і отримає:

5 тис. грн., якщо і друга фірма обрала цей район(B_1);

6 тис. грн., якщо друга фірма обрала другий район(B_2);

6 тис. грн., якщо друга фірма обрала третій район(B_3)

A_2 -стратегія, що фірма А продає товар в другому районі і отримає:

9 тис. грн., якщо і друга фірма обрала перший район(B_1);

8 тис. грн., якщо друга фірма обрала другий район(B_2);

7 тис. грн., якщо друга фірма обрала третій район(B_3)

A_3 -стратегія, що фірма А продає товар в третьому районі і отримає:

7 тис. грн., якщо і друга фірма обрала перший район(B_1);

8 тис. грн., якщо друга фірма обрала другий район(B_2);

6 тис. грн., якщо друга фірма обрала третій район(B_3)

У платіжній матриці Р записуємо прибутки фірми А(витрати фірми В) в залежності від району продажі продукції та присутності чи відсутності конкурента.

Динамічне програмування є розділом математики, який розглядає теорію і алгоритми рішення багатокрокових задач оптимального керування процесами. Такі задачі можна розв'язувати методом повного перебору усіх можливих варіантів

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
9									
10	Матриця гри «Конкуренція на ринках збуту»								
13	Стратегії гравця В Стратегії гравця А	B ₁	B ₂	B ₃	$\alpha_i = \min_j a_{ij}$				
14	A ₁	5	6	6	5				
15	A ₂	9	8	7	7				
16	A ₃	7	8	6	6				
18	$\beta_j = \max_i a_{ij}$	9	8	7	7				
21	Нижня ціна гри $\alpha =$	7							
22	Верхня ціна гри $\beta =$	7							
23	Оскільки $\alpha = \beta =$	7							
24	Відповідні сідловій точці стратегії	A2	B3						
25	Ціна гри $v =$	7							

Рис. 5. Матриця гри «Конкуренція на ринках збуту»

і вибору оптимального із них, однак такі алгоритми довго працюють. Використавши метод динамічного програмування з рекурсією дасть можливість створити швидкий та ефективний метод, що мінімізує час розв'язку таких задач. Основна ідея полягає в поділу великої задачі на більш прості, з меншою кількістю вхідних даних, але всі ті задачі логічно пов'язані між собою. В основу динамічного програмування покладено принцип Белмана, який говорить, що яким би не був початковий стан системи та яке б рішення не було прийняте, наступні рішення повинні бути оптимальні по відношенню до попередніх станів.

Приклад 3. Нехай маємо таблицю 1 розмірності 3*4. В кожній клітинці такої таблиці записано витрати енергії Робота, якщо він потрапить в цю клітинку таблиці. Починає він свій шлях з верхнього лівого кута і повинен прийти в нижній правий кінець, при чому рухатися може тільки вперед і вправо. Потрібно обрати шлях, на якому робот витратить оптимальний (мінімальну) кількість енергії, якщо він переміститься з верхнього лівого кутка до правого нижнього.

Таблиця 2

Витрати енергії робота

СТАРТ			
3	8	2	6
7	5	4	1
4	0	12	9
ФІНІШ			

Для рішення такої задачі, можна розглянути усі можливі шляхи, визначити їх довжину і обрати із них шлях найменшої довжини. Але якщо таблиця міститиме велику кількість клітинок, тоді усіх можливих маршрутів буде велика кількість і це може зайняти багато часу. Тоді доцільно використовувати метод динамічного програмування і програмну систему для реалізації. Такого типу задачі часто можна зустріти серед олімпіадних завдань.

Визначимо витрати енергії робота, коли він буде рухатися по горизонталі і вертикалі. Всі вну-

трішні клітинки заповнюємо виходячи із мінімального значення сусідніх клітинок. Наприклад, там де знаходиться 5, внизу клітинки записано 15, оскільки $\min(10, 11)=10, 10+5=15$. Завжди при заповненні клітинки вибираємо сусідню ту клітинку де знаходиться мінімальне значення і з неї рухаємося.

Таблиця 3

Оптимальний шлях робота

СТАРТ			
3	8	2	6
7	5	4	1
4	0	12	9
ФІНІШ			

Оптимальним буде той шлях, який не переривається, тобто вправо, вправо, вниз, вправо, вниз і його вартість рівна 27. Програмна реалізація зроблена в системі Python.

Висновок. В багатьох галузях науки, техніки, енергетики, транспортній галузі та інших процеси оптимізації є основою їх практичної діяльності. Вони ґрунтуються на теорії оптимізації, яка включає математичні методи фундаментального та прикладного характеру і застосування інформаційних технологій. Основним завданням оптимізації є знаходження значень керуючих факторів, при яких показники ефективності оптимізуючого процесу досягнуть найкращого значення (мінімального чи максимального). Об'ємні оптимізуючі процеси вимагають застосування наукового підходу, тобто розроблення наукових алгоритмів оптимізації обладнання, виробництва, процесів на ґрунті проведення досліджуваних робіт. Знання методичних підходів та інформаційних технологій дозволяють за мінімальний час і без великих зусиль приймати оптимальні рішення при розв'язуванні прикладних задач.

Перспективи подальших досліджень. Розглянути вирішення задач статичної оптимізації з використанням інформаційних технологій.

Список літератури:

1. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник. Київ, 2006. 816с.
2. Жалдак М.І., Триус Ю.В. Основи теорії і методів оптимізації : навчальний посібник. Черкаси, 2005. 608 с.
3. Бартіш М.Я. Методи оптимізації. Теорія і алгоритми : навчальний посібник. Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2006. 223 с.

4. Цегелик Г. Г. Лінійне програмування. Львів: Світ, 1995. 216 с.
5. Бартіш М. Я., Дудзяний І. М. Дослідження операцій. Частина 2. Алгоритми оптимізації на графах. Львів: видавн. центр ЛНУ, 2007.
6. Червак О.Ю. Надкритерії в однокритеріальній оптимізації / О. Ю. Червак. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія : Математика і інформатика*. 2015. Вип. 2. С. 164–168.
7. Самсонов В.В. Алгоритми розв'язання задач оптимізації: навчальний посібник. Київ, 2014. 300 с.
8. Кутковецький В. Я. Дослідження операцій : навч. посіб. / В. Я. Кутковецький. 2-ге видання, виправлене. К.: ВД «Професіонал», 2005. 264 с.

Sikora O.V. INFORMATION TECHNOLOGY SUPPORT DECISION-MAKING

Often, when solving applied problems, you need not just to find a solution to the problem, but to find the best solution, or as they say, the optimal solution. Such tasks arise when preparing a diet, when cutting material, when distributing resources between companies, when optimizing transportation, when optimizing the assortment of products, and others. Combinatorial optimization problems can also be found in social life. For example, finding optimal tourist trips, optimizing the laying of the electricity network, minimizing water supply and drainage services, minimizing the length of route roads, etc.

Today, a large number of optimization tasks require the use of various methodological approaches, mathematical methods and information technologies. The application of this or that mathematical method for the solution depends on the mathematical model of the considered process. There are deterministic, probabilistic and game problems and their models. Deterministic optimization tasks are characterized by the fact that they do not contain random variables and parameters, probabilistic objects contain values of the probability of the appearance of this or that factor influencing the decision, game tasks are characterized by the fact that each of the participants can pursue their interests.

The article examines the optimization tasks of the school course and discloses methodical approaches to their solution using information technologies. This is how linear programming problems are considered, where the principles of building a mathematical model are shown and its solution is found using the Solver application in Microsoft Excel. Examples are given and solutions to game theory problems using minimax and maximin strategies are found. The scope of application of such problems and the main approaches to their solution are disclosed.

Optimization problems of dynamic programming, characterized by the division of the problem into separate subproblems, are solved by the method of dynamic programming, which makes it possible to create a fast and effective approach that minimizes the time of solving such problems.

The article demonstrates the programmatic implementation of the Robot problem in the Python system, the goal of which is to find a path of minimum length from the upper left cell to the lower right cell.

Solving optimization problems in the school informatics course allows students to be interested in practical tasks, in the use of information technologies and programming systems, expands the student's informatics toolkit, helping to strengthen the connection between learning and life.

Key words: *optimization methods, mathematical model, minimax strategies, software product, dynamic programming, Python programming language.*

Стаценко Д.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Стаценко В.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Злотенко Б.М.

Київський національний університет технологій та дизайну

Романюк Є.О.

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

У статті розглянути методи використання інформаційно-комунікативних технологій за допомогою яких можна підвищити захист інформації користувачів. Описано підходи, за допомогою яких дані можна відновити після їх зміни шкідливим програмним забезпеченням. В представленому матеріалі зазначені переваги використання приватних хмарних сховищ. В статті описані підходи до їх інтеграції та налаштування. Розглянуто різні методи технологій RAID для покращення ефективності приватних хмарних сховищ.

Сьогодні вартість інформації, що використовується в роботі та повсякденному житті, займає велике значення для її власників. Вона може багаторазово перевищувати вартість обладнання, що використовується для її зберігання. Відповідно використання сучасних інформаційних технологій для захисту інформації відіграє значну роль в приватному та професійному житті.

Складність та розгалуженість інформаційних інфраструктур призводить до збільшення потенційних загроз з боку зловмисників, які ставлять за мету отримання інформації, що зберігається на носіях комп'ютерних систем.

Хмарні технології все частіше обираються великою кількістю компаній для збереження даних, відповідно до чого зростає кількість постачальників даних послуг. Однак збереження інформації в таких системах залишається першочерговою. Проблеми, пов'язані з основними аспектами безпеки, а саме конфіденційністю, цілісністю та доступністю, розглядаються разом із пов'язаними з ними вразливими місцями.

Атаки на дані, що зберігаються на файлових серверах і робочих станціях, стають все більш поширеними. Стандартні методи безпеки не завжди задовольняють поставленим вимогам, а також можуть стати об'єктом кібератаки, якщо вони не налаштовані належним чином. В результаті чого, буде втрачена інформація від часу останнього резервного копіювання даних до моменту атаки. Стаття має на меті дослідити та запропонувати підходи, які можуть бути використані для зберігання, захисту та відновлення масивів даних. Наведені позитивні та негативні сторони запропонованих рішень.

Ключові слова: інформаційно-комунікативні технології, хмарні сховища, RAID, захист інформації, шифрування, шкідливе програмне забезпечення.

Постановка проблеми. У даному матеріалі розглянуті питання підвищення безпеки зберігання даних в інформаційно-комунікативних системах, що використовуються в різних комерційних компаніях. В результаті чого необхідність впровадження різноманітних інформаційних технологій для полегшення роботи. Файлові сервери на сьогодні є більш поширеними і використовуються в багатьох установах.

Одним із основних застосувань файлових серверів є зберігання цифрових даних компа-

ні. Іншим застосуванням файлових серверів є необхідність легкого способу обміну інформацією між співробітниками компанії. Зазвичай дані, що зберігаються в комп'ютерних системах компанії, перевищують доступний обсяг апаратних носіїв.

Дискове сховище є важливим компонентом комп'ютерних систем для зберігання даних. Добре відомі, як провідні витрати в інформаційних проєктах, прогнозується їх щорічне зростання в більшості організаціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Із зростанням інфраструктури пов'язаної з інформаційно-комунікаційними технологіями зростає і обсяг необхідних для зберігання даних, що в свою чергу призводить до збільшення кількості розробленого шкідливого програмного забезпечення. В останні роки атаки на дані, що зберігаються на серверах і робочих комп'ютерах, постійно зростають [1–3].

Програмне забезпечення-вимагач – це тип зловмисного програмного забезпечення, яке намагається заблокувати доступ користувача до робочої станції або даних, які зберігаються на ній. Метою програм-вимагачів є блокування жертві доступу до її власних ресурсів шляхом блокування ОС або шифрування певних файлів, які здаються цінними для жертви, наприклад фотографій, електронних таблиць або презентацій [4]. Щоб відновити цей доступ, вимагачі потребують викуп. Сума запитуваного викупу та призначення платежу залежить від типу вірусу. Викуп в основному коливається від 300 доларів до 2000 доларів за розшифровку інформації та повернення доступу. Поширення криптовірусів досягається в основному за допомогою шкідливого програмного забезпечення типу «троянський кінь» і масових електронних повідомлень в яких також знаходяться віруси. Для виявлення типу програми вимагача існує декілька методів [5].

Компанії з антивірусного програмного забезпечення вкладають все більше ресурсів і зусиль у розробку програмного забезпечення, яке допомагає розшифровувати інформацію, але це потребує певного часу в залежності від типу вірусного ПЗ. Сьогодні існує десятки програм-вимагачів, для яких не розроблено інструментів відновлення.

Криптовіруси атакують певні типи файлів, що залежить від типу та версії шкідливого ПЗ. Більш інтелектуальні алгоритми, крім локальних файлів, шифрують файли, доступні на підключених мережевих дисках, а також сканують локальну мережу на наявність незахищених ресурсів – спільних

папок і дисків з дозволом на читання і запис, що робить файлові сервери вразливими.

Хмарне сховище – це одна з хмарних служб інформаційно-комунікативних технології, яка дозволяє користувачам віддалено зберігати та керувати своїми даними на хмарних серверах. Воно представляє собою модель мережевого онлайн-сховища, де дані зберігаються на кількох віртуальних серверах [6]. Характеристики хмарних обчислень можуть створити серйозний ризик для даних, оскільки одні й ті ж ресурси використовуються різними користувачами [7].

Метою статті є дослідження та порівняння існуючих інформаційно-комунікаційних технологій для збереження та відновлення даних користувачів, які використовуються в межах організацій.

Виклад основного матеріалу. Хмарне сховище – це модель мережевого онлайн-сховища, де дані зберігаються на кількох віртуальних серверах, які зазвичай розміщені третіми сторонами, а не на виділених серверах [6]. Це дозволяє користувачам зберігати свої дані на віддалених дисках і отримувати доступ до них у будь-який час із будь-якого місця [8].

Архітектура хмарного сховища (рис. 1) складається з [8] інтерфейсу, який експортує API для доступу до сховища. У традиційних системах зберігання цим API є протокол SCSI; але в хмарі ці протоколи постійно розвиваються. Логіка зберігання за інтерфейсом – це рівень проміжного ПЗ. Він реалізує різноманітні функції, такі як реплікація та зменшення даних, замість традиційних алгоритмів розміщення даних. Серверна частина реалізує фізичне зберігання даних за допомогою або внутрішнього протоколу, який реалізує певні функції, або традиційної серверної частина фізичних дисків.

Загалом розрізняється три основні типи хмар: публічні, приватні та гібридні.

Загальнодоступні (публічні) хмари – це тип послуг SaaS. Найпоширенішими з них є Google Drive, Microsoft One Drive, pCloud, DropBox,

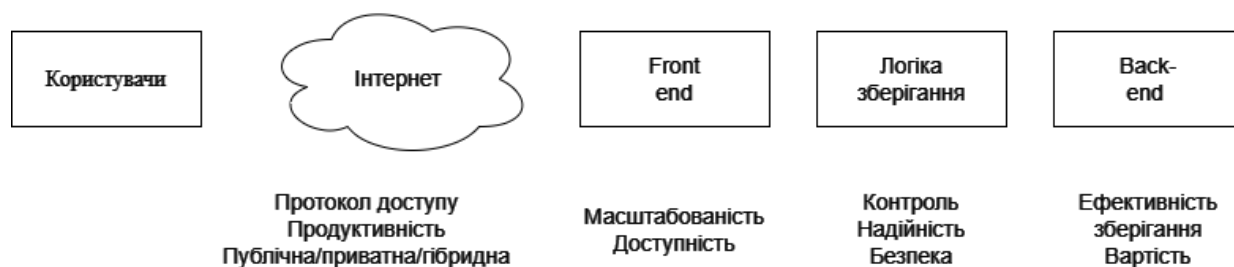


Рис. 1. Архітектура хмарного сховища

Amazon Cloud, Apple iCloud та інші. Ці типи хмар добре підходять для зберігання та обміну неконфіденційними даними, але вони не є рекомендованим варіантом для зберігання та обміну конфіденційною та конфіденційною інформацією через відсутність контролю над серверами, на яких зберігаються дані.

Гібридна хмара – це інфраструктура, яка поєднує в собі дві або більше різних хмарних інфраструктур (приватних, загальнодоступних, державних), які мають унікальні об'єкти, але з'єднані між собою стандартними або спеціалізованими технологіями від фірм виробників, які дозволяють передавати дані або програми між компонентами.

У приватній хмарі служби та інфраструктурні ресурси підключені до локальної мережі. Користувачі бачать надані ресурси як послуги SaaS, але при цьому потрібно сформувати організацію, яка буде підтримувати інфраструктуру даного сховища. Щоб захистити інформацію, системи захисту розміщуються в локальній комп'ютерній мережі організації. Відповідно до чого, доступ до файлів або комп'ютерної станції має знаходитись в цій мережі, або потрібно використовувати віртуальну приватну мережу (VPN).

Переваги приватних хмар наступні: масштабованість; захист; високий рівень безпеки, оскільки система випускається тільки для потреб організації і ніхто інший не має до неї доступу; простіше управління структурою; легкий контроль доступу користувачів до певних ресурсів.

Параметри резервного копіювання для файлових серверів зазвичай передбачають створення резервних копій, що в деяких випадках не є достатньо гнучким способом захисту. У разі зараження криптовірусом це призведе до втрати даних за період від останнього резервного копіювання до моменту зараження. У таких випадках приватні хмари, безсумнівно, надають великі переваги, такі як контроль версій і підтвердження видалення.

У випадках, коли використовується файловий сервер, надання доступу відбувається за іншою процедурою, оскільки для захисту інформації сервер зазвичай під'єднаний безпосередньо лише до локальної мережі, а доступ до збереженої інформації здійснюється з публічної мережі, для чого використовуються VPN. Також можна реалізувати приватні хмари лише в локальній мережі, якщо дані, що зберігаються, надто конфіденційні.

Недоліком локальних користувачів є те, що вони зберігають копії даних на машинах, на яких вони встановлені та налаштовані. Ці копії зберігаються в незашифрованому вигляді. Однак локальні користувачі також використовуються

в ситуаціях, коли однакові великі файли спільно використовуються різними користувачами.

Наприклад, відділ попереднього друку, який не працює з локальними копіями даних або не копіює необхідні файли для роботи на локальному комп'ютері, то при середньому розмірі файлу 100 МБ генерується 100 МБ трафіку для кожного індивідуально відкритого файлу. При збереженні файл необхідно передати на сервер, а потім розглянути можливість збереження, що у свою чергу інколи навантажує мережу та сповільнює роботу інших користувачів.

Під час використання локального клієнта користувач один раз згенерує 100 МБ трафіку на сервер, щоб зберегти локальну копію сервера, а потім вона буде прочитана локальною файловою системою. При збереженні трафік на сервер не зменшиться, але синхронізація версій файлів на локальному комп'ютері і сервері стане «невидимою» для користувачів і це не заважатиме роботі інших людей на сервері. Крім того, збереження файлу на локальний диск буде швидшим, ніж збереження через мережу, відповідно синхронізація займе таку саме кількість часу, скільки при роботі через змонтований диск.

Загалом проблеми пов'язані з безпекою в хмарних сховищах охоплює три аспекти: конфіденційність, цілісність і доступність (CIA). Ці аспекти є основними міркуваннями при розробці заходів безпеки для забезпечення максимального захисту [9]. Забезпечення доступу до захищених даних обмежено певним рівнем користувача, авторизованого на доступ до них.

Основна відмінність між файловими серверами та приватними хмарами полягає в тому, що файлові сервери не мають захисту масивів даних, тоді як приватні хмари мають контроль версій та подвійне видалення. На файлових серверах захист від таких атак програм-вимагачів пов'язаний із резервним копіюванням даних. У разі криптовірусної атаки це призведе до втрати даних з останньої резервної копії.

Контроль версій може забезпечити безпеку у кількох випадках зараження програмами-вимагачами. Деякі криптовіруси не видаляють файли, а шифрують лише частину метаданих файлу, не видаляючи оригінальну копію, а перезаписуючи його без зміни імені та/або розширення. У таких ситуаціях незашифровані файли можна відновити за допомогою контролю версій, вбудованого в описані приватні хмари.

Режим подвійного видалення може захистити інформацію від криптовірусів, які шифрують цілі файли та видаляють незашифровані дані. У підході подвійного видалення, після видалення файл

автоматично потрапляє до кошика, індивідуального для кожного користувача. Видалені файли потрапляють у папку «Видалені» користувача, який видалив файли, а не до папки «Видалені» користувача, якому належать файли.

Щоб відновити файли, комп'ютерну мережу спочатку потрібно очистити від програм-вимагачів, після чого видалені файли можуть бути відновлені відповідним користувачем з розділу «Видалені файли» у веб-інтерфейсі. Основна проблема в даному випадку полягає в тому, що потрібно мати великий дисковий простір. Наприклад для відновлення даних об'ємом 5 ТБ, при активації модуля для зберігання інформації на сервері в зашифрованому вигляді, що збільшує розмір до 35%, відповідно сервер зберігатиме 6,75 ТБ.

Коли система заражена вірусом даного типу, відбувається шифрування поточних файлів, що додатково збільшує їх розмір, а розмір зашифрованих файлів залежить від використовуваного алгоритму шифрування. У загальному випадку розмір не збільшується більше ніж на 50%, тобто зашифровані файли досягнуть розміру 10 ТБ. Після того, як файли зашифровано, вихідні незашифровані файли переміщуються до «Видалених файлів», відповідно загальний простір, який займають заражені та неінфіковані файли, становитиме 16,75 ТБ. Це означає, що потрібно мати приблизно 10 ТБ вільного хмарного простору, щоб забезпечити постійне відновлення інформації. Якщо вільне місце на диску сервера, для запуску операції, відсутнє, процедура виконується методом черги, і файли з «Видалених файлів» видаляються, згідно з правилом, першим буде видалено перший, введений у «Видалений файл».

Один з методів для зменшення об'єму необхідного для виконання операції автоматичного резервного відновлення видалених файлів у приватних хмарних сервісах розроблено доповнення «Захист від програм-вимагачів». Після її активації автоматично створюється список із розширеними, які потенційно можуть містити шкідливого програмне забезпечення та запобігає виконанню вкладених файлів та інших вірусів. У модулі міститься база даних більшості відомих шкідливих ПЗ, тому рекомендується постійно оновлювати даний додаток.

На першому етапі встановлення приватної хмари необхідно визначити та розрахувати потужність обладнання, яке встановлене в організації. На другому етапі відбувається перенесення наявних даних у вибрану приватну хмару. Створюються основні користувачі для системи, у якій зберігаються файли та з якої користувачі надають спільний доступ іншим, щоб під час роботи з людьми

в приватній хмарі право власності на файл завжди належало основним користувачам. Це дозволяє легко видалити користувача з системи при звільненні співробітника організації, без видалення файлів основного користувача. Існує декілька способів переміщення даних із файлового сервера або спільних каталогів у приватну хмару.

1. Підключення головного користувача до сервера через WebDAV і копіювання даних вручну.

2. Використання клієнта синхронізації. При налаштуванні клієнта синхронізації з новим користувачем встановлюється локальний каталог, у якому будуть зберігатися файли. Важливо вибрати параметр, який вказує, де зберігати локальні файли. Це призведе до того, що клієнт синхронізації автоматично завантажить їх у приватну хмару, і якщо цей параметр не вибрано, файли, розташовані у вказаному каталозі, будуть видалені.

При створенні нових користувачів необхідно врахувати їх ієрархію доступу. Для належної конфігурації та гнучкості ієрархії рекомендовано використання методів створення груп і організації в них користувачів. При цьому користувач може бути членом кількох груп.

Наступний етап налаштування приватних хмар організацій є налаштування механізмів доступу користувачів до файлу. Розглянуті приватні хмари мають декілька варіантів доступу до даних – через браузер, клієнт синхронізації та WebDAV. Деяким організаціям може знадобитися поєднання різних методів доступу до даних.

Таким чином опорними точками для впровадження приватної хмари в існуючу інформаційну інфраструктуру організації є:

1. вибір типу приватної хмари.
2. розрахунок необхідної потужності комп'ютерних систем.
3. встановлення та налаштування приватної хмари.
4. перенесення даних у приватну хмару.
5. додавання користувачів і створення ієрархії.
6. обмін інформацією з новоствореними користувачами.
7. налаштування доступу робочої станції до приватної хмари.

В порівнянні з файловими серверами приватні хмари крім зберігання інформації мають систему автентифікації користувачів, за допомогою якої можна визначити, чи може користувач лише читати файл, редагувати його та ділитися ним з іншими користувачами, що в разі файл-серверів може виконувати лише системний адміністратор. Дані можуть зберігатися в зашифрованому вигляді на сервері, а також доступ до них через зашифрований зв'язок. Також, за замовчуванням вони мають

контроль версій, який може не тільки захистити дані від деяких типів програм-вимагачів, але й від зловмисника, який видаляє самі дані у файлі і як вже зазначалося є функція подвійного видалення.

Доступність хмарного сховища означає час безперебійної роботи системи та здатність системи працювати безперервно. Для підвищення доступності системи використовуються різні методи. У хмарі дані зберігаються за допомогою RAID (надлишкового масиву незалежного диска). Він забезпечує спосіб зберігання тих самих даних у різних місцях на кількох дисках. Функції RAID у сховищі даних RAID – це технологія, яка об'єднує незалежні фізичні диски в один жорсткий диск з метою підвищення швидкості читання/запису або підвищення надійності збережених даних, або обох. Існує 2 реалізації RAID [10]: Апаратний RAID потребує контролера RAID, який керує введенням/виведенням, частіше за все, він використовується для хост-серверів. Даний тип має високу продуктивність, але вартість його висока. Програмний RAID: операційна система контролює вхід/вихід, він реалізований на комп'ютерах для підвищення продуктивності за урахуванням невисокої вартості необхідного обладнання.

RAID використовує багато різних архітектур, які називаються рівнями, кожен рівень має різні сценарії диска та техніки зберігання, залежно від балансу між відмовостійкістю та продуктивністю. У рівнях хмарної архітектури RAID описується, як дані розподіляються між дисками, існує 7 рівнів RAID з різними функціями, створених на двох базових рівнях RAID 0 і RAID 1 [10].

RAID 0 складається принаймні з 2 подібних дисків, що створює масив із n дисків ($n \geq 2$). Дані рівномірно розподіляються та записуються на всі пристрої в масиві. Кожен диск зберігає $1/n$ даних. Розмір масиву визначається, як розмір найменшого диска, помножений на кількість дисків. До переваг даного рівня відноситься швидкість передачі читання/запису, відповідно кожен диск має читати/записувати $1/n$ даних. Недоліки полягають в тому, що надійність в такій системі знижується, якщо один диск виходить з ладу, усі дані в масиві RAID 0 втрачаються.

RAID 1 відноситься до найпростіших рівнів RAID. Він забезпечує надійність даних. Як і попередній рівень, RAID 1 потребує принаймні 2 диска для роботи. Дані зберігаються двічі на 2 дисках (метод дзеркала), при цьому, якщо один диск виходить з ладу, другий залишається праце-

здатним. Відповідно до чого, диск, який вийшов з ладу, можна замінити, не турбуючись про втрату даних. RAID 1 не є високопродуктивним; однак це важливо для адміністрацій та осіб, які керують важливими даними. Ємність масиву RAID 1 дорівнює розміру одного диска. На рисунку 2 показані моделі RAID 0 та RAID 1.

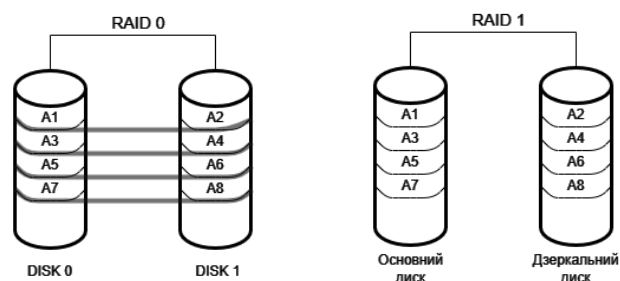


Рис. 2. Структурні моделі RAID 0 та RAID 1

Наступна модель, RAID 10, поєднує в собі підходи RAID 1 та RAID 0. Для створення масиву даного типу потрібно мінімум 4 диски. Дані записуються на 4 диски одночасно: за допомогою технології «смугастість» (RAID 0) на 2 дисках і за допомогою метода «дзеркала» (RAID 1) на двох інших. Метод RAID 10 має високу швидкість і при цьому рівень безпеки більший ніж в RAID 0, в зв'язку з тим, що працездатність залишається навіть коли один з дисків виходить з ладу. На рисунку 3 показано модель RAID 10.

До недоліків RAID 10 можна віднести високу вартість, ефективний простір становить 50% від загального розміру 4 дисків.

Головним недоліком приватних хмар у порівнянні з файловими серверами є те, що для зберігання одних і тих же даних і роботи тієї ж кількості користувачів з системою потрібно більше обчислювальних ресурсів. Інтеграція приватної хмари

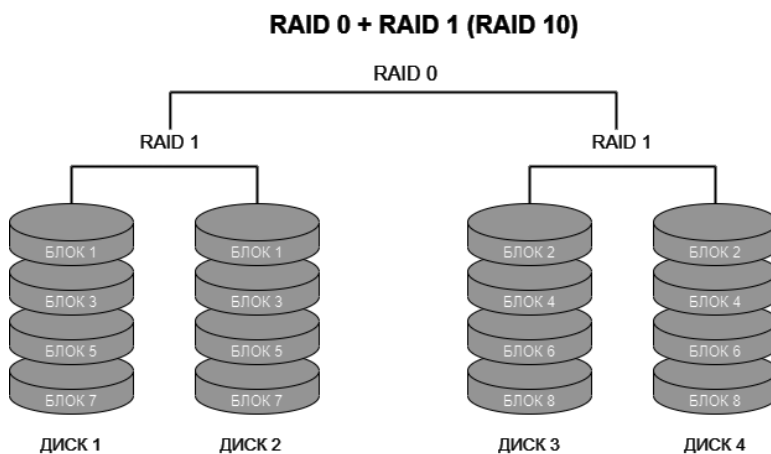


Рис. 3. Структурна модель RAID 10

може бути складним завданням, для вирішення якого потрібен більш кваліфікований персонал.

Висновки. Останнім часом кількість шкідливого програмного забезпечення зростає, особливо віруси типу «вимагач» призводять до блокування або втрати цінної інформації. Використання інформаційно-комунікативних технологій таких, як приватна хмара, розглянуті в цьому матеріалі, є одним з способів, за допомогою якого можна підвищити захист даних. Описано підходи, за допомогою яких

інформацію користувачів можна відновити після шифрування. Також описано основні переваги використання розглянутих рішень у порівнянні зі стандартними файловими серверами. Наведено підходи до інтеграції та налаштування приватної хмари в існуючу інформаційну інфраструктуру організації. Представлені та запропоновані різні методи технологій RAID для покращення ефективності доступності хмарних сховищ. Наведені позитивні та негативні сторони запропонованих рішень.

Список літератури:

1. Mohurle S., Patil M. A brief study of Wannacry Threat: Ransomware Attack 2017. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Volume 8, No. 5, May-June 2017, ISSN No. 0976-5697.
2. Richardson R., North M. Ransomware: Evolution, Mitigation and Prevention. *International Management Review*, Vol. 13 No. 1 2017.
3. Стаценко Д.В., Стаценко В.В., Осипенко В.В., Злотенко Б.М., Кулік Т.І. Сучасні тенденції кіберзагроз у комп'ютерних системах та мережах. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2021. с. 156-161.
4. Tailor J.P., Patel A.D. A Comprehensive Survey: Ransomware Attacks Prevention, Monitoring and Damage Control. *Int. J. Res. Sci. Innov.*, vol IV, no. November, pp. 2321-2705.
5. Kok SH, Azween Abdullah A., Jhanjhi NZ, Supramaniam M. Ransomware, Threat and Detection Techniques: A Review. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.19 No. 2, February 2019, pp. 136-146.
6. Balbudhe Pravin O., Balbudhe Pradip O. Cloud storage reference model for cloud computing. *International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR)*, 2(3):83, March 2013.
7. Chandan P., Surajit D. Cloud computing security analysis: Challenges and possible solutions. *In International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, page 3, 2016.
8. Spoorthy V., Mamatha M., Santhosh Kumar B. A survey on data storage and security in cloud computing. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing*, 3(6):307-311, June 2014.
9. Yahya F., Chang V., Walters R.J., Wills G.B. Security challenges in cloud storage. *In IEEE 6th International Conference on Cloud Computing Technology and Science*, pages 1052-1054, 2014.
10. Le Quang Minh, Huy Anh Phan, Anh Chuyen Nguyen, Khanh Duong Le. Research on enhancing security in cloud data storage. *In ICTA: International Conference on Advances in Information and Communication Technology*, pages 511-512, 2016.

Statsenko D.V., Statsenko V.V., Zlotenko B.M., Romaniuk I.O. USING INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES FOR INFORMATION PROTECTION

The article considers the methods of using information and communication technologies, which can be used to improve the protection of user information. Describes approaches by which data can be recovered after it has been altered by malicious software. The presented material indicates the advantages of using private cloud storage. The article describes approaches to their integration and configuration. Different methods of RAID technologies to improve the performance of private cloud storage are considered.

Today, the value of information used in work and everyday life is of great importance to its owners. It can many times exceed the cost of the equipment used for its storage. Accordingly, the use of modern information technologies to protect information plays a significant role in private and professional life.

The complexity and branching of information infrastructures leads to an increase in potential threats from attackers who aim to obtain information stored on computer system media.

Cloud technologies are increasingly being chosen by a large number of companies for data storage, and accordingly, the number of data service providers is increasing. However, the preservation of information in such systems remains a priority. Issues related to the fundamental aspects of security, namely confidentiality, integrity, and availability, are addressed along with their associated vulnerabilities.

Attacks on data stored on file servers and workstations are becoming more common. Standard security methods do not always meet the requirements and can also become the target of a cyber attack if they are not configured properly. As a result, information will be lost from the time of the last data backup to the moment of the attack. The article aims to explore and propose approaches that can be used to store, protect and recover data sets. The positive and negative aspects of the proposed solutions are given.

Key words: information and communication technologies, cloud storage, RAID, information protection, encryption, malicious software.

УДК 519.6

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/19>**Трофименко О.Г.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

Прокоп Ю.В.

Національний університет «Одеська політехніка»

Ченурна О.Є.

Національний університет «Одеська юридична академія»

Баландіна Н.М.

Національний університет «Одеська юридична академія»

РОЛЬ МАТЕМАТИКИ У РІЗНИХ СФЕРАХ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті розглянуто прикладні аспекти можливого застосування ІТ-фахівцями математичних компетентностей у різних сферах розробки програмного забезпечення. Ступінь використання математики залишається темою активних дискусій між тими, хто виступає за твердий інженерний підхід з математичною строгістю, і тими, хто виступає за більш легкий підхід з мінімізацією математичної складової, особливо під час навчання ІТ-фахівців. У роботі проаналізовано деякі сфери застосування математики для ІТ-фахівців та студентів відповідної галузі: від веброзробки сайтів та вебзастосунків до програмних засобів криптології, баз даних та машинного навчання. З'ясовано, що ступінь застосування математики в ІТ не є рівномірним. Більшість ІТ-фахівців не використовують математичні навички повсякденно. Хоча розробка програм потребує певного розуміння математичного апарату, але це переважно стосується логіки та методу проб і помилок, ніж розуміння абстрактних математичних ідей. З іншого боку, аналіз прикладів застосування математичних алгоритмів та інструментів свідчить про доволі широкий спектр сфер застосування їх в ІТ. Використання математики є критично важливим для областей криптографії, складної візуалізації даних, машинного навчання тощо. Вивчення прикладної математики для ІТ-студентів має важливе значення, оскільки вона навчить використовувати сучасні методи пошуку прихованих зв'язків у великих наборах даних і потенційно може допомогти інженерам-програмістам у розробці високоякісних програмних продуктів, безпечних у використанні. З іншого боку, застосування математики в багатьох інших областях програмної інженерії є менш значним, як-от: тестування програмного забезпечення, веброзробка тощо. Нині не існує універсального підходу щодо того, як інженер-програміст має використовувати математику. Це залежить від конкретної області розробки програмного забезпечення і від того, які спеціалізовані математичні знання необхідні в цій сфері.

Ключові слова: математичні навички, математика в ІТ, розробка програмного забезпечення, дискретна математика, теорія графів, графові бази даних, машинне навчання, криптографія.

Постановка проблеми. Досвід останніх років свідчить про певні складнощі викладання та сприйняття дисциплін математичного спрямування спочатку в школі, а згодом і в коледжах та університетах, навіть для здобувачів ІТ-галузі, де знання математичного апарату є важливим для успішного засвоєння багатьох дисциплін старших курсів, а тому і подальшої успішності кар'єри в ІТ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження науковців у цій сфері дещо різняться: від підходу, що «математична освіта занепадає» і «далеко не для всіх ІТ-фахівців варто витратити час на вивчення математики» [1] до

«математика – цариця всіх наук» та «математика є основою ІТ» [2, 3]. У дослідженні [4] зроблено висновок, що більшість ІТ-фахівців не використовують математичні навички повсякденно, і хоча розробка програм потребує певного розуміння математичного апарату, але це здебільшого стосується логіки та методу проб і помилок, ніж розуміння абстрактних математичних ідей. У статті [3] стверджується, що з появою та розвитком машинного навчання, штучного інтелекту, віртуальної і доповненої реальності потреба у володінні математично-аналітичними компетентностями ІТ-фахівцями та здобувачами не те що не

згасає, а виходить на новий рівень затребуваності. Дослідники [5] зосередились на математичних основах квантового обчислення. Автори статті [6] дійшли висновку, що створення моделі машинного навчання залежить від таких математичних понять, як теорія ймовірностей та статистика, адже побудова адекватних моделей і отримання точних результатів має мати мінімальну похибку. Саме тому ймовірність використовується для моделей прогнозування та класифікації, а статистичні дані – для класифікації та вибірки в машинному навчанні. Ступінь використання математики залишається темою активних дискусій між тими, хто виступає за твердий інженерний підхід з математичною строгістю, і тими, хто виступає за більш легкий підхід з мінімізацією математичної складової під час навчання.

Мета статті: проаналізувати сфери застосування математики для IT-фахівців та студентів відповідної галузі в сучасному сценарії мультидисциплінарного підходу шляхом вивчення прикладів практичного застосування математики у розробленні програмного забезпечення різного роду: від веброзробки сайтів та вебзастосунків до програмних засобів криптології, баз даних та машинного навчання.

Виклад основного матеріалу. Веброзробка. Сьогодні веброзробка є одною з найзатребуваніших сфер в IT-галузі. Веброзробник без особливих знань математики може впоратися і з back-end, і з front-end звичайного сайту. Веброзробка – одна зі сфер розробки програмного забезпечення, де потреба в математичних інструментах є найменшою, проте вона залишається актуальною. Так,

наприклад, функція $\text{CSS matrix}(a, b, c, d, tx, ty)$ [7] визначає однорідну матрицю двовимірної трансформації зображень та блоків (рис. 1).

За потреби вбудованої в сайт ефективної пошукової системи для швидкого відбору даних за певними фільтрами та критеріями з великого набору даних, а обсяги даних для відбору нині зростає щодня [8], виникає доцільність застосування математичного підходу, наприклад, алгоритму, заснованого на частотному ранжуванні термінів, щоб ідентифікувати дублікати, і використовувати словник домену для перевірки відповідного документа для підвищення ефективності пошукової системи. Тому вважати веброзробку позбавленою використання математичних компетентностей є перебільшенням.

Машинне навчання. Всі моделі машинного навчання (Machine Learning, ML) будуються з використанням математичних рішень та ідей, адже ML займається створенням моделей для розуміння мислення. Методи машинного навчання та інтелектуального аналізу даних можуть покращити прогнозування як поширення інформації, так поширення хвороб. Для прогнозування будь-то погоди, будь-то можливих проблем із трафіком потрібне дослідження й аналіз величезних обсягів даних. При цьому потрібне врахування обчислювальних, алгоритмічних та моделюючих проблем, характерних для аналізу великих обсягів даних. Оскільки складні дані і системи можна подати у вигляді зв'язного графа, для виконання завдань класифікації, кластеризації та регресії нейронних мереж можуть бути використані алгоритми графових структур даних. На рис. 2 подано

HTML-код:

```
<div class="normal">Normal</div>
<div class="changed">Changed</div>
<div class="normal-changed">Normal-Changed</div>
```

CSS-код:

```
.normal {
  width: 100px; height: 100px;
  background-color: yellow;
}
.changed {
  width: 100px; height: 100px;
  transform: matrix(1, 0.7, -1, 0.7, 50, -50);
  background-color: blue;
}
.normal-changed {
  width: 100px; height: 100px;
  transform: matrix(1, 0.95, -1.2, 0.3, 60, -115);
  background-color: yellow;
}
```

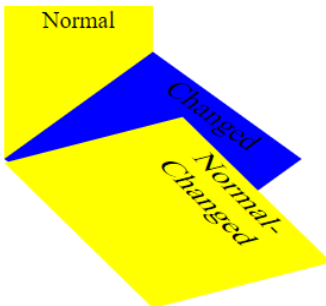


Рис. 1. Приклад використання функції $\text{matrix}()$

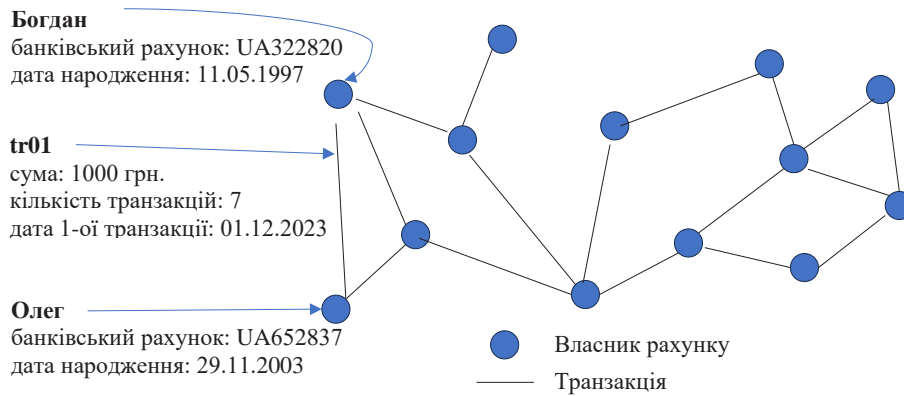


Рис. 2. Неорієнтований граф моделі грошових переказів між клієнтами

приклад моделі мережі клієнтів банку і переказів між ними у вигляді графа.

Завдання методів машинного навчання з графами полягають у вибудовуванні вузлів, їх класифікації і прогнозування можливих зв'язків між вузлами [9]. Аналітика графів зосереджена на дослідженні взаємозв'язків між вузлами у наборі даних. Взаємозв'язки є одними з найсильніших прогностичних елементів поведінки системи. Доповнення наявних процесів машинного навчання функціоналом графів, виявлення у наборах даних про взаємозв'язки дозволяє суттєво покращити процеси машинного навчання [10]. Розуміння графової структури даних дозволяє створювати графові нейронні мережі, як точні моделі машинного навчання, виявляти закономірності взаємозв'язків у даних, масштабувати ці нейронні мережі за допомогою генеративних моделей для графів та робити високоточні прогнози.

Застосування графів в ІТ не обмежується сферою машинного навчання. Одним із найпоширеніших сфер застосувань теорії графів у програмуванні є керування залежностями між модулями, бібліотеками чи то іншими компонентами коду, які необхідні для правильного функціонування програми та уникання проблем і помилок із сумісністю при збільшенні розміру й складності програмних систем [11]. Подання залежності між компонентами у вигляді спрямованого графа дозволяє визначити циклічні взаємозв'язки і вирішити проблеми з їх сумісністю. У тестуванні використання теорії графів надає можливість протестувати всі функції програми за мінімальний час [12]. Ще однією з численних сфер застосування графів в ІТ є проектування баз даних. Окрім суто програмування та програмного забезпечення, графи використовуються для планування робочих ІТ-процесів та проектування систем.

Бази даних. При проектуванні та програмуванні баз даних (БД) потрібні специфічні математичні навички з основ теорії множин, реляційної алгебри, реляційного числення та логіки [13]. Незайвими будуть знання лінійної алгебри для виконання обчислень. Щодо основ реляційної алгебри, то їх використовує мова процедурних запитів на основі різних операцій (об'єднання, перетин, різниця, Декартовий добуток тощо) над таблицями вхідних даних. Наприклад, у БД, що містить інформацію про клієнта, реляційний аспект дозволяє комп'ютерній системі знати, як пов'язати ім'я, адресу, номер телефону та іншу відповідну інформацію клієнта. Це все робиться за допомогою дискретної математичної концепції множин. Набори дозволяють групувати та впорядковувати дані. Оскільки кожна частина інформації і кожна ознака, що належить до цієї частини інформації, є дискретними, організація такої інформації в базі даних вимагає дискретних математичних методів.

Іншим цікавим прикладом математичного апарату є графові БД, які використовують графові структури для зберігання даних і вирішують проблеми реалізації зв'язків «багато-до-багатьох». Структура графа дозволяє обійти обмеження реляційних БД, пропонує концептуальне подання даних, тісно пов'язаних із реальним світом, оскільки приділяє багато уваги стосункам між даними. Так, при моделюванні телекомунікаційних систем та мережевих послуг вузлами графа можуть бути: фізичні пристрої (маршрутизатори, сервери, комутатори), програмні рішення, діяльність (дзвінки користувачів, передача медіа), інформація про клієнтів (їхні права, підписки) тощо [14]. Такі БД дозволяють просто моделювати складні зв'язки між даними. На рис. 3 подано графову модель соціальних стосунків певної групи людей.

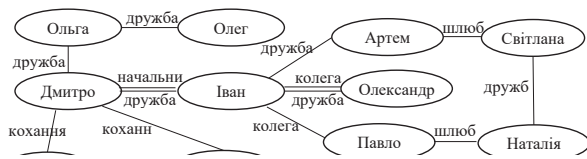


Рис. 3. Неорієнтований граф моделі соціальних стосунків

Графові БД є нереляційними (NoSQL). В силу своєї природи ці БД мають гнучку, адаптивну структуру і при цьому задають чітке подання взаємозв'язків між даними. Вони пропонують просту, масштабовану модель даних, що дозволяє відстежувати цифрові ресурси: документи, розрахунки, контракти тощо. Прив'язка всіх даних до однієї загальної точки забезпечує сталість і точність даних, що дуже важливо для великомасштабних компаній світового рівня. Інформація передається через мережу шляхом пошуку оптимальних маршрутів, і це робить графові бази даних оптимальним варіантом для впровадження маршрутизації. Такий підхід може стати в пригоді під час аналізу профілів і підписок користувачів соціальних мереж. Також ця технологія може використовуватися для аналізу економічної активності контрагентів для виявлення різних схем шахрайства. Наприклад, можна відстежити використання певних рахунків, карт чи реквізитів контрагентів у різних операціях [15]. На рис. 4 наведено графову модель використання фінансових операцій з одного банківського рахунку на інший, де банківські рахунки є вузлами графа, а банківські операції – зв'язками.

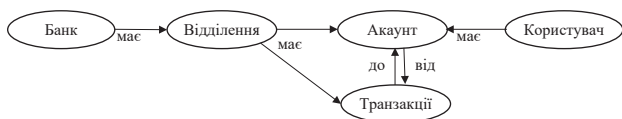


Рис. 4. Орієнтований граф моделі банківських операцій

Графові бази даних довели свою успішність в управлінні операційними та бізнес-системами, а також в управлінні Інтернетом речей, в аналізі шахрайств та в аналізі відповідності нормативним вимогам [16].

Криптографія як наука про структури безпеки електронних паролів базується переважно на дискретній математиці, хоча використовує багато понять із теорії чисел, алгебри та теорії ймовірностей. Частково це пов'язано з тим, що комп'ютери надсилають інформацію дискретно у формі бітів [17, 18].

Теорія чисел як одна з важливих частин дискретної математики дозволяє криптографам створювати безпечні паролі та методи шифрування паролів. Саме теорія чисел є основою сучасної криптографії з відкритим ключем [19]. Модульна арифметика ($x \bmod N$), найбільший спільний дільник, розширені алгоритми Евкліда широко використовуються в криптографії, особливо при обчисленні зворотного мультиплікативу по модулю (коли цілі числа a і b є взаємно простими) для виведення ключових пар шифрування RSA з відкритим ключем. Модульна арифметика використовується для створення математичної основи алгоритмів шифрування та дешифрування. Вона забезпечує спосіб виконання арифметичних операцій над великими числами, гарантуючи, що результат буде в межах певного діапазону.

Алгебра використовується в сучасній криптографії для створення криптографічних алгоритмів із симетричним ключем, які є одним із найшвидших і найпростіших способів шифрування повідомлень. Криптографія з симетричним ключем передбачає використання одного секретного ключа для шифрування та дешифрування повідомлень. Найпоширенішим криптографічним алгоритмом із симетричним ключем є Advanced Encryption Standard (AES), який базується на математичній структурі, яка називається кінцевим полем. Інші алгебраїчні структури, такі як групи та кільця, також використовуються для створення криптографічних алгоритмів із симетричним ключем [20].

Теорія ймовірностей використовується в криптографії для створення безпечних протоколів обміну ключами та автентифікації повідомлень. Наприклад, протокол обміну ключами Діффі-Хеллмана використовує задачу дискретного логарифмування в кінцевих полях. Безпека цього протоколу базується на складності обчислення дискретних логарифмів і на припущенні, що обчислювально неможливо вирішити певні математичні проблеми.

Криптографічні функції гешування по суті є математичним алгоритмом для незворотного перетворення тексту, що повсюдно використовуються для безпекової автентифікації користувачів і зберігання паролів. Існують різні алгоритми гешування: від MD5 і SHA-1, які раніше використовувалося для автентифікації та зберігання паролів, а зараз в силу своєї специфіки не є небезпечними, а через це вважаються застарілими, до сучасних PBKDF2, Argon2, bcrypt та scrypt. Саме PBKDF2 має підтвердження відповідності стандарту безпеки FIPS-140 і його рекомендує засто-

совувати NIST у своїх рекомендаціях зі зниження організаційних ризиків кібербезпеки [21].

Приклад програмного гешування пароля засобами алгоритму PBKDF2 мовою Python:

```
import hashlib
import os

salt = os.urandom(32)
password = 'mypassword'

key = hashlib.pbkdf2_hmac(
    'sha256', # The hash digest algorithm for HMAC
    password.encode('utf-8'), # Convert the password to bytes
    salt, # Provide the salt
    100000, # It is recommended to use at least 100,000 iterations of SHA-256
    dklen=128 # Get a 128 byte key
)

storage = salt + key # Store them

# Getting the values back out
salt_from_storage = storage[:32] # 32 is the length of the salt
key_from_storage = storage[32:]
```

Приклад Python-коду для верифікації пароля, наданого користувачем:

```
import hashlib

salt = b" # Get the salt you stored for *this* user
key = b" # Get this users key calculated
password_to_check = 'password246' # The password provided by the user

# Use the exact same setup you used to generate the key,
# but this time put in the password to check
new_key = hashlib.pbkdf2_hmac(
    'sha256',
    password_to_check.encode('utf-8'), # Convert the password to bytes
    salt,
    100000
)

if new_key == key:
    print('Password is correct')
else:
    print('Password is incorrect')
```

Математичні алгоритми гешування PBKDF2, Argon2, bcrypt і scrypt додатково застосовують засолювання (Salting). Сіллю (Salt) виступає випадково згенероване значення, яке зазвичай зберігається у базі даних із гешем пароля і призначене для унеможливлення використання геш-таблиць для зламу паролів. Додаткову безпеку гешування надає додавання перцю (Pepper) – статичного значення, яке має бути секретним і зберігатися окремо від бази даних для уникнення втрати даних у разі компрометації бази даних. Перець потрібно генерувати заново для кожної програми, інакше злам однієї програми призведе до зниження безпеки іншої. До речі, генерування випадкових чисел відбувається також за допомогою математичних алгоритмів.

Висновки. Аналіз прикладів математичних алгоритмів та інструментів свідчить про доволі широкий спектр застосування їх у сфері розробки програмного забезпечення. Не даремно Едсгер Дейкстра стверджував, що інженерія програмного забезпечення є розділом математики [22]. Нині спектр розв’язуваних задач в ІТ-галузі все частіше потребує математичних знань для програмної реалізації задач побудови математичних моделей та їх розв’язків, дослідження статистичних залежностей, аналізу великих даних, розпізнавання образів, побудови нейронних мереж тощо.

Через певні складнощі вивчення математичних дисциплін на молодших курсах навчання бакалаврату ІТ-спеціальностей і нерозуміння здобувачами того, де саме і як їм будуть корисні відповідні математичні знання, у багатьох студентів виникають певні проблеми з цими освітніми компонентами. Для усунення подібного роду проблем викладачам відповідних математичних дисциплін варто самим знати сфери можливого використання тих чи інших математичних інструментів та алгоритмів, щоб зацікавити здобувачів у вивченні своїх дисциплін, пояснивши їм потребу вивчення того чи іншого математичного засобу на конкретних прикладах їх подальшого можливого використання його у майбутній професії. Сучасним викладачам математики у вишах варто вибудувати курси відповідно до потреб здобувачів і з наведенням відповідних прикладів та пояснень. Адже студенти, які прийшли навчитися програмувати, на молодших курсах не розуміють, де у професії їм може знадобитися вивчення основ теорії множин, реляційної алгебри, реляційного числення, логіки тощо. Тому ставляться до вивчення цих дисциплін поверхнево. Свідоме проходження відповідних курсів із розумінням сфер можливого застосування відповідного математичного апарату формуватиме як розуміння важливості ролі математики, так якісного ІТ-фахівця, який зможе безпроблемно на практиці скористатись відповідними набутими під час навчання знаннями. Проте це потребує певної самостійної перепідготовки викладачів відповідних математичних дисциплін. Адже поширено у вишах України їх викладання покладено на класичних математиків, які мають академічну математичну освіту і не розуміються на програмуванні, а отже їм складно проводити паралелі між тим чого, вони навчають, і тим, як це застосовувати у програмуванні. Тут корисними можуть бути курси підвищення кваліфікації таких викладачів на ІТ-підприємствах, які допоможуть усунути відповідні прогалини.

Загалом вивчення прикладної математики для ІТ-студентів має важливе значення, оскільки вона навчає використовувати сучасні методи пошуку прихованих зв'язків у великих наборах даних і потенційно може допомогти інженерам-програмістам у розробці високоякісних програмних продуктів, безпечних у використанні. При цьому ступінь застосування математики в ІТ не є рівномірною. З одного боку, використання математики є критично важливим для областей криптографії,

складної візуалізації даних, машинного навчання тощо. А з іншого, її застосування в багатьох інших областях програмної інженерії є менш значним, як-от: тестування програмного забезпечення, веброзробка тощо. Не існує універсального підходу щодо того, як інженер-програміст повинен використовувати математику. Це залежить від конкретної області, в якій інженер-програміст працює, і від того, які спеціалізовані математичні знання необхідні в цій сфері.

Список літератури:

1. Gopal T.V. Teaching mathematics with the software engineering body of knowledge [SWEBOOK]. *Scientific conference with international participation (STEMEDU-2022)*. Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2022. P. 8–12.
2. Dhiraj Y. Application of Mathematics in Computer Science. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*. 2021. Vol. 10(1). P. 339–344. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-2051>
3. Bhadane S., Kothawade M., Shinde M., Sulakhe V. Applications of Mathematical in Computer Science. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2023. Vol. 11. P. 705–709. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.48667>
4. Do You Need Math for IT (Information Technology)? URL: https://campusleaders.org/math-requirements-for-information-technology/#google_vignette
5. Fleury G., Lacomme Ph. Mathematical Foundations of Quantum Computing for Computer Science Researchers. *arXiv preprint arXiv:2303.01938*. 2023. P. 1–20. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2303.01938>
6. Patil M., Jadhav S., Talekar S., Bag V. (2023). The role of mathematics in machine learning. *Journal of Data Acquisition and Processing*. 2023. Vol. 3(1). P. 1062–1073. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7702430>
7. matrix(). URL: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS/transform-function/matrix>.
8. Mistry K., Desai Ch, S. Lal S., Patel K. A Mathematical Method with Word Frequency Sorting for Mining Web Content Outliers. *Journal of Theory and Practice of Engineering Science*. 2021. Vol. 1. Issue 1. [https://doi.org/10.53469/jtpes.2021.01\(01\).01](https://doi.org/10.53469/jtpes.2021.01(01).01)
9. Hamilton W., Ying R., Leskovec J. Representation Learning on Graphs: Methods and Applications. *Social and Information Networks: Bulletin of the IEEE Computer Society Technical Committee on Data Engineering*. 2017. Vol. 40. P. 52–74. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1709.05584>.
10. Needham M., Hodler A. Graph Algorithms: Practical Examples in Apache Spark and Neo4j. 1st Edition. O'Reilly, 2019. 265 p. ISBN-10 1492047686.
11. Isuru U., Indika P. Using dependency graph and graph theory concepts to identify anti-patterns in a microservices system: A tool-based approach. (2021). *IEEE Moratuwa Engineering Research Conference (MERCOn)*. 2021. P. 699-704. <https://doi.org/10.1109/MERCOn52712.2021.9525743>.
12. Nados W., Alsaedi R., Kadhim Q. The application of the graph theory for developing and testing the software. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2019. Vol. 10. Issue 01. P. 2026–2031.
13. Організація баз даних : навч. посібник / О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, Н. І. Логінова, І. М. Копитчук. Одеса : Фенікс, 2019. 246 с.
14. Nagothu D., Dolgikh A. iCrawl: A Visual High Interaction Web Crawler. *International Conference on Mathematical Methods, Models, and Architectures for Computer Network Security*. 2017. P. 91–103. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65127-9_8.
15. Mosciski L. Do graph databases scale. URL: <https://morioh.com/a/bcdfb1496c12/do-graph-databases-scale>.
16. A Guide to Graph Databases. URL: <https://www.influxdata.com/graph-database>
17. Mathematics in Cryptography: Part 1. URL <https://medium.com/dsc-sastra-deemed-to-be-university/mathematics-in-cryptography-part-1-3749e5b354c>
18. Ma J. Basic application of mathematics in cryptography. *IEEE International Conference on Modern Education and Information Management (ICMEIM)*. 2020. P. 871–875. <https://doi.org/10.1109/ICMEIM51375.2020.00192>.
19. Wenchao Sh. Development of Number Theory and the Application in Cryptography. *Theoretical and Natural Science*. 2023. Vol. 2. P. 188–193. <https://doi.org/10.54254/2753-8818/2/20220139>.
20. Sethumadhavan K. PImplementing cryptography with Python. URL: <https://blog.logrocket.com/implementing-cryptography-python/>
21. NIST Special Publication 800-63B. Digital Identity Guidelines. URL: <https://pages.nist.gov/800-63-3/sp800-63b.html#memsecretver>
22. Tadepalli G. Teaching Mathematics with the Software Engineering Body of Knowledge. *Innovative STEM Education*. 2022. Vol. 4. P. 8–12. <https://doi.org/10.55630/STEM.2022.0401>.

Trofymenko O.H., Prokop Yu.V., Chepurna O.Ye., Balandina N.M. THE ROLE OF MATHEMATICS IN DIFFERENT AREAS OF SOFTWARE DEVELOPMENT

The article explores the applied aspects of the possible application of mathematical competencies by IT specialists in various areas of software development. The extent to which mathematics is used remains a topic of active debate between those who favour a hard engineering approach with mathematical rigour and those who favour a lighter approach with minimal maths in IT training. The paper analyses some areas of application of mathematics for IT professionals and students of the relevant field: from web development to software tools of cryptology, databases, and machine learning. It was found that the degree of application of mathematics in IT is not uniform. Most IT professionals do not use math skills daily. Although software development requires some understanding of the mathematical apparatus, it is more about logic and trial and error than understanding abstract mathematical ideas. On the other hand, the analysis of examples of the application of mathematical algorithms and tools indicates a wide range of areas of their application in IT. The use of mathematics is critical to the fields of cryptography, complex data visualization, machine learning, and more. The study of applied mathematics is important for IT students because it teaches them how to use modern techniques to find hidden relationships in large data sets. It can potentially help software engineers develop high-quality software products that are safe to use. In addition, the application of mathematics in many other areas of software engineering is less significant, such as software testing, web development, etc. Currently, there is no universal approach to how a software engineer should use mathematics. It depends on the specific area of software development and what specialized mathematical knowledge is needed in that area.

Key words: *mathematical skills, mathematics in IT, development software, discrete mathematics, graph theory, graph databases, machine learning, cryptography.*

Яровий О.В.

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

Завгородній В.В.

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

РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МОБІЛЬНИМИ АГЕНТАМИ

Були визначені вимоги до системи управління мобільними агентами та параметрів оцінки її функціонування, що є важливим етапом її проектування. Такі вимоги залежать від багатьох факторів, таких як мета побудови системи, типи задач, що вирішуються, технічні характеристики ресурсів, якість обслуговування (QoS) тощо.

Однак, щоб дати глибший розуміння функціонування системи управління мобільними агентами, в роботі було проведено детальний аналіз ключових кроків та характеристик, які впливають на ефективність і результативність системи. При цьому були враховані особливості мобільних агентів, їх поведінка та інтерактивність у середовищі.

Також, було зосереджено увагу на розробці структурної схеми системи управління мобільними агентами, відповідно до функціональних характеристик. Ця схема включала в себе всі ключові компоненти системи, такі як модуль керування рухом агентів, механізм комунікації, засоби зберігання та обробки даних, а також систему забезпечення безпеки.

З метою вдосконалення функціонування системи, було враховано пропозиції щодо можливості оптимізації та підвищення продуктивності мобільних агентів, що дозволяє ефективніше розподіляти ресурси та виконувати завдання.

На основі проведених досліджень та аналізу було визначено певні напрямки для подальшого розвитку системи управління мобільними агентами. До цих напрямків можна віднести розширення масштабу системи, підвищення стійкості до помилок, оптимізацію механізмів комунікації, а також покращення інтерфейсу користувача для зручнішого управління та моніторингу.

У цілому, робота спрямована на покращення ефективності та надійності системи управління мобільними агентами, що дозволить досягти кращих результатів при вирішенні різноманітних задач у розподілених середовищах. Дані висновки та рекомендації можуть стати основою для подальших досліджень та розробок в цій області.

Ключові слова: системи управління, механізми управління ресурсами, планувальник завдань, структурна схема, мобільний агент.

Постановка проблеми. На сьогодні існує ряд модифікацій планувальників завдань Grid, які значно відрізняються один від одного як архітектурними рішеннями, так і функціональними можливостями. У роботах [1, 2] детально розглянуті принципи побудови та підходи до реалізації планувальників для Grid, описані алгоритми їх роботи. Тим не менш, незважаючи на велику кількість досліджень, присвячених механізмам управління ресурсами Grid-системи, ці механізми до сих пір потребують вдосконалення [2, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує підхід до управління ресурсами розподілених систем, який враховує параметри комуні-

каційного середовища, обсяг та розташування передаваних даних при плануванні. Цей підхід став актуальним з розвитком розподілених систем як сховищ даних. Механізми управління ресурсами, що базуються на цьому підході, отримують все більше поширення.

Наступні досліджень представляють різні алгоритми, засновані на даному підході. В роботі [4] розглядається планування задач у хмарних системах з урахуванням пропускну здатності каналів. В [5] представлені евристичні алгоритми планування задач у розподілених мережах Grid з урахуванням обміну даними по мережі. Автори роботи [6] запропонували алгоритм планування, який враховує розташування вхідних

даних для задач у розподіленій системі. В [7] був представлений підхід, що враховує динамічну зміну стану мережі та ресурсів при плануванні задач. Автори [8] досліджують планування задач з урахуванням пропускної здатності мережевих каналів для додатків із інтенсивним обміном даними. В роботі [9] був запропонований оптимізаційний метод планування роботи та балансування навантаження в Grid-системах з використанням генетичних алгоритмів. Отже, роботи [4–9] представляють алгоритми, які базуються на даному підході в управлінні ресурсами розподілених систем.

Як показав аналіз літератури, захищена обробка даних в розподілених системах здійснюється за допомогою класичного механізму контролю рівня безпеки ресурсів. Однак впровадження адаптивного механізму контролю рівня безпеки ресурсів у розподілену систему неминуче вплине на її функціонування.

Метою даної статті є розробка структурної схеми системи управління мобільними агентами.

Виклад основного матеріалу. Вимоги до системи управління мобільними агентами залежать від багатьох факторів, таких як мета побудови системи, типи задач, що вирішуються, технічні характеристики ресурсів, якість обслуговування (QoS) тощо. Визначення вимог до системи управління мобільними агентами та параметрів оцінки її функціонування є важливим етапом її проектування.

Система управління має реалізувати певний набір функціональних можливостей, які наразі вважаються типовими для Grid-систем. Серед них міграція та перепланування задач, контрольні точки, попереднє замовлення часових інтервалів для виконання задачі та інші функції.

Розроблювана система управління повинна враховувати такі параметри функціонування, як продуктивність та рівень захищеності оброблюваних даних, які, узагалі, можуть бути взаємно протилежними. В результаті, розроблений механізм планування дозволить створити високопродуктивну систему управління мобільними агентами, в якій забезпечується необхідний рівень захисту оброблюваних даних.

Система управління мобільними агентами – це програмне забезпечення, яке обслуговує чергу завдань та здійснює вибір ресурсів для виконання завдань відповідно до вимог користувача. Вона також контролює процес виконання завдань. Функціонування такої системи включає кілька ключових кроків та характеристик (рис. 1):



Рис. 1. Ключові кроки та характеристики функціонування системи управління мобільними агентами

1. **Черга завдань:** система управління мобільними агентами підтримує список завдань, які мають бути виконані мобільними агентами. Цей список упорядкований за пріоритетом або за часом надходження завдання.

2. **Вибір ресурсів:** за наявності доступних мобільних агентів система вибирає найбільш відповідного мобільного агента для виконання кожного завдання. Вибір здійснюється на основі певних функціональних параметрів, таких як продуктивність, захищеність та швидкість передачі даних. Ці параметри можуть бути отримані з даних, зібраних у кожного мобільного агента.

3. **Оцінка параметрів задачі:** крім даних про мобільні агенти, система також враховує параметри задачі, такі як обчислювальна складність та обсяг вхідних даних. Це дозволяє визначити, який агент зможе виконати завдання найефективніше.

4. **Рівень безпеки:** користувач визначає рівень безпеки від 0 до 1, який має бути забезпечений під час виконання завдання. Система управління враховує цю вимогу та вибирає мобільного агента, що відповідає заданому рівню безпеки.

5. **Максимальний час виконання завдання:** користувач також вказує максимальний час, протягом якого завдання має бути виконане. Система управління контролює виконання завдань та забезпечує їх завершення в рамках встановленого часу.

6. **Моніторинг стану вузлових мобільних агентів:** система управління мобільними агентами моніторить стан вузлових мобільних агентів, на основі яких функціонують мобільні агенти. Це дозволяє оцінити продуктивність, швидкість передачі даних та рівень безпеки кожного мобільного агента.

7. Взаємодія з мобільними агентами: у процесі виконання завдань мобільні агенти взаємодіють із системою управління, надаючи їй інформацію про свій поточний стан, отримуючи завдання для виконання та передаючи результати назад у систему.

При надходженні нового завдання оцінюється поточний стан системи управління мобільними агентами шляхом направлення запитів на отримання інформації від кожного мобільного агента (якщо оцінка поточного стану системи управління мобільними агентами проводилась порівняно недавно, цей пункт може не виконуватися). На основі отриманих даних, параметрів завдання, які оцінюються системою управління мобільними агентами в автоматичному режимі, та вимог користувача до захищеності ресурсів системи, проводяться розрахунки параметрів функціональності системи.

У результаті розрахунків визначається кількість вузлових мобільних агентів, необхідних для виконання завдання з вказаними параметрами.

Далі відбувається вибір доступних мобільних агентів з метою формування набору ресурсів для виконання завдання; у найпростішому випадку це може здійснюватися застосуванням маски щодо захищеності ресурсів. У разі наявності всіх ресурсів, необхідних для виконання завдання, воно розміщується на виконання. У протилежному випадку розраховується пріоритет завдання, і воно поміщається в чергу згідно зі своїм пріоритетом. Якщо відбулось звільнення ресурсів після вико-

нання завдання, то з черги вибирається наступне завдання на виконання. Також можлива перепланування завдань, якщо пріоритети всіх завдань, які виконуються на поточний момент часу, менше пріоритету завдання, яке знаходиться на початку черги. Крім того, перепланування може відбуватися в разі відмови мобільних агентів.

Важливо зазначити, що при кожному циклі перепланування та для кожного завдання в черзі необхідно знову розраховувати оцінки функціональності системи управління мобільними агентами. Це пов'язано з тим, що параметри системи постійно змінюються.

Відповідно до функціональних характеристик на рисунку 2 представлена структурна схема системи управління мобільними агентами.

Блок управління чергою завдань отримує вхідні завдання і, відповідно до налаштувань системи управління мобільними агентами, обчислює їх пріоритет і розміщує у черзі. Також його функції включають перепланування завдань. У разі перепланування в чергу додаються також завдання, виконання яких було призупинено. Для таких завдань пріоритет підвищується. Також у блоці управління чергою завдань містяться параметри, які визначають формування черги та розрахунок пріоритету завдань.

Черга завдань призначена для розташування завдань з їх параметрами згідно пріоритету, який обчислюється блоком управління чергою завдань. Важливо відзначити, що черга містить не лише

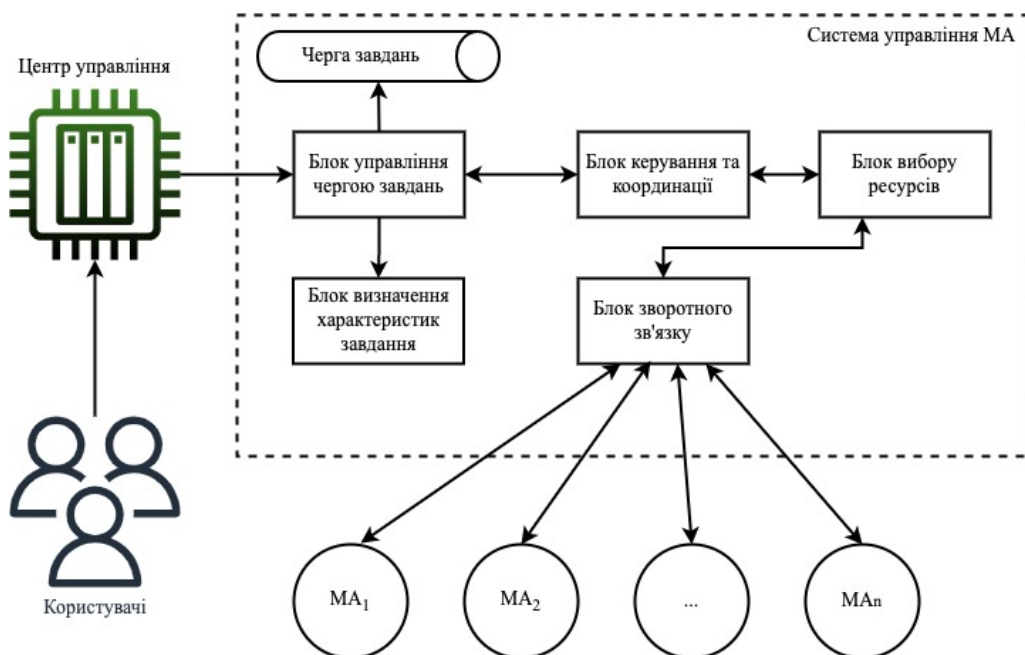


Рис. 2. Структурна схема системи управління мобільними агентами

саме завдання, а й усю інформацію щодо вимог користувача до ресурсів системи управління мобільними агентами для його виконання.

Блок зворотного зв'язку відповідає за взаємодію з мобільними агентами та визначення параметрів функціональності системи управління мобільними агентами. За отриманими параметрами визначається кількість мобільних агентів, що необхідні для виконання завдання.

Блок вибору ресурсів відповідає за визначення конкретних вузлів системи керування мобільними агентами, які будуть використані для розміщення завдання на виконання. Кількість вузлів визначає *блок зворотного зв'язку*. Вузли підбираються маскуванням, параметри маски задаються наступним чином: захищеність вказується як рівень довіри до вузла в діапазоні від 0 до 1, а продуктивності підбираються найбільш високошвидкісні мобільні агенти.

Блок управління та координації вибирає завдання з початку черги та, співпрацюючи з *блоком вибору ресурсів*, отримує перелік ресурсів, відібраних для виконання завдання. Потім розміщує завдання на виконання. Якщо при перегляді черги з'являється завдання з вищим пріоритетом, ніж у всіх виконуваних на даний момент завдань, блок управління та координації призупиняє виконання завдань, зберігаючи їх стан та дані, і проводить перепланування, розміщуючи нові завдання на доступні ресурси.

Блок визначення характеристик завдання призначений для визначення обсягу обчислень задачі.

В цілому система управління мобільними агентами забезпечує ефективний розподіл завдань між мобільними агентами, враховуючи їх можливості та вимоги користувача, що дозволяє оптимізувати процес виконання завдань і досягти поставлених цілей.

У майбутньому на основі отриманої загальної концепції системи управління можливе розширення її функціональних можливостей. Крім того, розроблений підхід може бути відповідним чином модифікований для застосування в інших подібних системах управління мобільними агентами.

Висновки. Дана робота присвячена розробці структурної схеми системи управління мобільними агентами. У цьому дослідженні систему

управління визначаємо як сукупність мобільних агентів, що включає центральні та вузлові мобільні агенти, які взаємодіють між собою. Вони взаємодіють шляхом передачі сигналів, команд та інформації одне одному та об'єднуються для виконання складних завдань.

Система управління мобільними агентами має великий потенціал у різних сферах застосування, таких як розподілена обробка даних, моніторинг, оптимізація мережі, аналіз великих обсягів даних, робототехніка та інше. Вона дозволяє покращити ефективність та швидкість виконання завдань, що є критичним у сучасному швидкозмінному середовищі.

У даній роботі ми розглядаємо різні аспекти системи управління мобільними агентами, такі як їх архітектура, механізми комунікації, стратегії координації та взаємодії, а також методи оптимізації роботи системи в цілому.

Одним із ключових елементів системи є центральні мобільні агенти, які координують дії та розподіляють завдання між вузловими агентами. Вони забезпечують глобальну перспективу та вирішують складні завдання, які вимагають збору та аналізу інформації з різних джерел. Вузлові мобільні агенти, у свою чергу, здійснюють виконання конкретних задач та взаємодіють із навколишнім середовищем для збору даних та виконання місцевих дій.

Наша робота також фокусується на важливості безпеки та надійності системи управління мобільними агентами. Забезпечення захисту від несанкціонованого доступу, вразливостей та збоїв стає особливо актуальним у вимірах динамічного та змінюваного оточення, в якому діють агенти.

У цій роботі ми також розглядаємо можливі перспективи та напрямки подальших досліджень у галузі систем управління мобільними агентами, так як ця технологія має великий потенціал для подальшого розвитку та інноваційного застосування.

Отже, робота пропонує комплексний підхід до розробки структурної схеми системи управління мобільними агентами, що дозволяє досягти високої ефективності та надійності в їх взаємодії та спільному виконанні завдань.

Список літератури:

1. Liu Feng, Guo Wei-Wei. Research and Design of Task Scheduling Method Based on Grid Computing. *International Conference on Smart City and Systems Engineering (ICSCSE)*. 2017. Changsha, China. P. 188–192. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSCSE.2017.54>
2. T. Ma, S. Shi, H. Cao, W. Tian, J. Wang. Review on Grid Resource Discovery: Models and Strategies. *IETE Technical Review*. 2012. Vol. 29. P. 213–222. DOI: <https://doi.org/10.4103/0256-4602.98863>

3. Mohammed Bakri Bashir, Muhammad Shafie Abd Latiff. Content-based Information Retrieval Techniques Based on Grid Computing: A Review. *IETE Technical Review*. 2013. Vol. 30. P. 223–232. DOI: <https://doi.org/10.4103/0256-4602.113511>

4. M.T. Younis, S. Yang, B.N. Passow. A Loosely Coupled Hybrid Meta-Heuristic Algorithm for the Static Independent Task Scheduling Problem in Grid Computing. *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*. 2018. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1109/CEC.2018.8477765>

5. S. Sheikh, M. Shahid, A. Nagaraju. A novel dynamic task scheduling strategy for computational grid. *International Conference on Intelligent Communication and Computational Techniques (ICCT)*. 2017. P. 102–107. DOI: <https://doi.org/10.1109/INTELCCT.2017.8324028>

6. Javad Akbari Torkestani. A new Distributed Job Scheduling Algorithm for Grid Systems. *An International Journal Cybernetics and Systems*. 2012. Vol. 44, Issue 5. P. 77–93. DOI: <https://doi.org/10.1080/01969722.2012.744556>

7. Manoj Kumar Mishra, Yashwant Singh Patel, Yajnaseni Rout, G.B. Mund. A Survey on Scheduling Heuristics in Grid Computing Environment. *Modern Education and Computer Science*. 2014. Vol. 10. P. 57–83. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijmecs.2014.10.08>

8. R. Aron, I. Chana. Grid Scheduling Heuristic Methods: State of the Art. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*. 2014. Vol. 6, P. 466–473.

9. P. Chauhan, Nitin. Decentralized Scheduling Algorithm for DAG Based Tasks on P2P Grid. *Journal of Engineering*. 2014. P. 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/202843>

Yarovyi O.V., Zavgorodnii V.V. DEVELOPMENT OF THE STRUCTURAL DIAGRAM OF THE MOBILE AGENTS MANAGEMENT SYSTEM

The requirements for the mobile agent management system and parameters for evaluating its functioning were defined, which is an important stage of its design. Such requirements depend on many factors, such as the purpose of building the system, types of tasks to be solved, technical characteristics of resources, quality of service (QoS), etc.

However, in order to provide a deeper understanding of the operation of the mobile agent management system, the work carried out a detailed analysis of the key steps and characteristics that affect the efficiency and effectiveness of the system. At the same time, the peculiarities of mobile agents, their behavior and interactivity in the environment were taken into account.

Also, attention was focused on the development of the structural diagram of the mobile agent management system, according to the functional characteristics. This scheme included all the key components of the system, such as the agent movement control module, the communication mechanism, the means of data storage and processing, as well as the security system.

In order to improve the functioning of the system, suggestions were taken into account regarding the possibility of optimizing and increasing the productivity of mobile agents, which allows for more efficient allocation of resources and performance of tasks.

Based on the conducted research and analysis, certain directions were determined for the further development of the mobile agent management system. These directions include expanding the scale of the system, improving error tolerance, optimizing communication mechanisms, and improving the user interface for more convenient management and monitoring.

In general, the work is aimed at improving the efficiency and reliability of the mobile agent management system, which will allow to achieve better results when solving various tasks in distributed environments. These conclusions and recommendations can become the basis for further research and development in this area.

Key words: management systems, resource management mechanisms, task scheduler, structural diagram, mobile agent.

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 330.341.1:620.9

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/21>

Пантєлєєва І.В.

Українська інженерно-педагогічна академія

Шматько Н.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Глушко А.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ВИДИ ІННОВАЦІЙ В ЕНЕРГЕТИЦІ, ЩО РОЗВИВАЮТЬСЯ

Світ стоїть на порозі переломного моменту в області енергетичних технологій. Продуктивність в енергетичному секторі може зрости на масштаби, які раніше були неможливими, подібно до часів промислової революції. Багато з проривних технологій уже відомі, такі як видобуток традиційного газу, електромобілі, сонячна енергія та світлодіодне освітлення. Проте темпи технологічних інновацій в енергетичному секторі стрімко зростають, що означає, що деякі з цих технологій можуть бути впроваджені значно раніше, ніж очікувалося, і досягнуть радикально іншого рівня вартості та ефективності порівняно з тим, що існує зараз. Енергетичний ринок також відчуває схожі зміни.

У зв'язку з рекордно високими цінами на ресурси, компанії, що займаються інноваціями в енергетиці, активно шукають нові рішення для радикального покращення методів виробництва та споживання енергії. Ця ситуація стимулює розвиток технологій, які дозволять знизити витрати на енергію та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

У даній роботі досліджується поняття інновацій в енергетичному секторі та запропонована універсальна класифікація типів інновацій. Також проводиться класифікація за ступенем новизни. Кожна з перерахованих нових технологій має конкретну функцію та потенційний ефект, який детально розглядається в статті.

Однак перед впровадженням будь-якої з цих технологій необхідно кількісно оцінити їхні ефекти. Стаття також пропонує оцінку впливу від впровадження інновацій. Широке поширення будь-якої з цих технологій призведе до щорічної економії для споживачів і сприятиме економічному зростанню країн без негативного впливу на навколишнє середовище. Такий розвиток також сприятиме національній безпеці країн, забезпечивши зниження їхньої залежності від імпорту таких ресурсів.

Загальний висновок полягає в тому, що інновації в енергетичному секторі можуть відіграти ключову роль у створенні стійких економічних та екологічних переваг для країн. Зростання впровадження нових технологій в енергетику може допомогти ефективніше використовувати ресурси та знизити негативний вплив на довкілля, забезпечуючи при цьому зростання національної безпеки.

Ключові слова: електроенергетика, інновації, ефекти від впровадження інновацій, енергетика, розвиток.

Постановка проблеми. Ключовим фактором у цифровізації економіки виступає втілення інновацій. Інновації в енергетиці входять до складу концепції промислових інновацій, основним компонентом яких є технологічні інновації [1]. Більшість вчених класифікують інновації в енергетичних технологіях по категоріях: інноваційна політика, інноваційні ресурси, інноваційні процеси та інноваційні організації [2]. Інновації в енергетиці – це сукупність процесів, які ведуть

до появи нових або покращених існуючих технологій, які дозволяють збільшити різноманітність енергетичних ресурсів, які використовуються, підвищити надійність енергетичних систем, а також зменшити економічні, екологічні та політичні витрати. Пов'язані з виробництвом та розподілом електроенергії. Інновації в електроенергетиці тісно пов'язані зі зміною технологій, але це не єдиний тип інновацій, який можливий у даній галузі. Сучасна масштабна криза, яка охопила усі

галузі економіки, викликає необхідність не тільки пошуку оптимальних шляхів виходу з цієї ситуації, але й визначення перспективних напрямків розвитку, які дозволяють вирішити проблеми. Це у повній мірі відноситься до паливно-енергетичного комплексу, найближчі та довгострокові перспективи якого пов'язані з інноваційним розвитком. Відповідно, тема інновацій в енергетиці сьогодні надзвичайно актуальна. Вона є настільки багатоаспектною, що тільки класифікація проблем може бути окремою науковою працею.

Метою статті є аналіз та класифікація інновацій к електроенергетиці.

Виклад основного матеріалу. Вивчення теоретичних основ інновацій в енергетиці потребує додаткової класифікації, оскільки технологічні інновації і енергетиці мають двояку сутність. З однієї сторони, енергія є фактором виробництва, який має визначену вартість, як фактор виробництва. З іншої сторони, трансформація енергії – це частина інноваційного процесу. Поняття «інновація» та відповідна класифікація інновацій розглядаються у літературі з різних точок зору [3, 4, 5]. В універсальній класифікації виділені наступні типи інновацій: продуктивні інновації представляють значні зміни у властивостях товарів та послуг, які виробляються компанією (це можуть бути, як раніше не існуючі товари та послуги, так і продукти зі значними удосконаленнями); процесні інновації, які обумовлені значними змінами методів виробництва та доставки продуктів або послуг; організаційні інновації – нововведення у діловій практиці, організації робочих місць, а також у зовнішніх зв'язках орга-

нізації; маркетингові інновації – зміни у дизайні продукту, розміщенні.

Інновації класифікуються по ступеню новизни: інкрементальні інновації, які можуть суттєво підвищити продуктивність або поліпшити характеристики існуючих технологій, однак не є кардинальною зміною; радикальні інновації, які пов'язані з високим рівнем невизначеності та забезпечують створення нового продукту з унікальними властивостями. Зміни у техніко-економічній парадигмі (технологічна революція) – довгострокові інновації, які приводять до суттєвої зміни технологій, яка зачіпає багато секторів економіки, що створює нові ринки [6]. Говорячи про електроенергетику, слід враховувати особливість електроенергії як товару: у будь-який момент часу повинна бути вироблена кількість електроенергії, яка дорівнює її споживанню. У таблиці 1 приведена авторська класифікація в електроенергетиці.

Технології, хоча і грають суттєву роль у конкурентоспроможності та ефективності підприємства, є не єдиним фактором успіху [7]. Хоча взаємозв'язок інновацій та технологій очевидний.

Інновації можуть бути результатом складного процесу та залежати від набору можливостей, які відповідають стратегічним вимогам.

Цей набір можливостей формує інноваційну здатність, яка проявляється у тому, що підприємство здатне швидко втілювати нові продукти та нові процеси, які мають вирішальне значення для конкуренції з іншими виробництвами.

У залежності від своїх можливостей та потреб організація може застосовувати технологічні, операційні, управлінські та транзакційні іннова-

Таблиця 1

Класифікація інновації в електроенергетиці

Тип інновацій	Опис	Приклади
Інновації, обумовлені зміною технологій		
Технологічні	Інновації, які удосконалюють: технології виробництва та споживання електроенергії	Сонячні батареї Вітрогенератори Системи накопичення електроенергії
Процесні	Інновації, які удосконалюють процес постачання електроенергії	«Розумні» лічильники
Інновації, обумовлені зміною ринку		
Інновації управління	Створення нових методів управління	Активний споживач Технології управління попитом Системи енергозбереження
Інновації транзакцій	Інновації, які сприяють мінімізації операційних витрат на взаємовідносини з постачальниками та споживачами	«Розумні» мережі

ції. Актуальним стає питання управління даними інноваціями та виявлення ефектів, пов'язаних з тим або іншим типом інновацій.

У відповідності зі змінами, які відбуваються в електроенергетиці, представлена адаптація класифікації Завацлака [8] (табл. 1).

У електроенергетичній галузі технологічні інновації вносять зміни у способи виробництва електроенергії як товару.

Інноваціями є технології, які дозволяють генерувати електроенергію з сонячної енергії, вітру та ін. Технологічні інновації підвищують потенціал розподіленої генерації, наприклад, розвиток розподіленої когенерації у Данії дозволив знизити споживання електроенергії на 11%, а також зменшити викиди CO₂ на 4,5 млн т у рік [9].

Процесні інновації удосконалюють процес поставок електроенергії. Наприклад, «розумні» лічильники дозволяють: підвищити прозорість розрахунків за споживану електроенергію; отримувати інформацію про рівень споживання електроенергії у режимі онлайн; виявляти споживання електроенергії.

Інновації управління актуальні для електроенергетики у зв'язку з формуванням нового типу споживачів електроенергії, які здатні самі виробляти електроенергію, продавати надлишки електроенергії на ринок.

Інновації управління включають в себе: системи управління попитом, які дозволяють стимулювати споживачів до зміни їх графіка споживання електроенергії відносно їх нормального профілю споживання у відповідь на стимулюючі виплати з метою знизити навантаження у години пік.

Системи енергопостачання дозволяють: керувати споживанням електроенергії завдяки використанню технологій енергозбереження, як житлових, так і в офісних або промислових будівлях.

Інновації транзакцій покликані: мінімізувати операційні витрати на взаємовідносини з постачальниками та споживачами.

Так «розумні» мережі, використовуючи можливість названих нижче інновацій, є основою нової моделі ринку електроенергії, яка забезпечує відкриту взаємодію різних суб'єктів: споживачів; виробників; мережевих компаній. Кожна з описаних нових технологій виконує певні функції та забезпечує конкретні потенційні ефекти, які наведені в таблиці 2.

Разом з тим для прийняття рішення про втілення нових технологій того або іншого типу треба кількісно оцінити ці ефекти. Для такої оцінки були використані звіти Системних опера-

торів, прогнози галузевих компаній. Також потенціал втілення інновацій в електроенергетику у різних наукових джерелах визначається по різному.

У якості оптимістичного сценарію взяті найбільш високі прогнози експертів, а у якості консервативного – найбільш низькі. Така оцінка (таблиця 3) приведена приблизно, оскільки окремі компоненти інновацій не виділяються у галузевих звітах.

Розподілена генерація – сукупність електростанцій, які розташовані близько від місця споживання та підключені або безпосередньо до споживача, або до розподільчої електричної мережі 10. За рахунок цього скорочуються мережеві втрати при розподілу електроенергії. У споживача є вибір: купувати електроенергію у гарантованого постачальника або підключитися до розподіленої мережі. Ціна на електроенергію у гарантованого постачальника складається з єдиного тарифу на передачу електроенергії по мережі, плати за послуги інфраструктурних організацій та вартості на електроенергію та потужність на оптовому ринку електроенергії. У об'єкта розподіленої генерації вартість електроенергії складається з єдиного тарифу на передачу електроенергії по мережі, питомих витрат, які забезпечують повернення капіталу та питомих витрат на виробництво електроенергії. Ефект застосування електроенергії, яка виробляється об'єктами розподіленої генерації, буде залежати від питомих витрат, які забезпечують повернення капіталу, який був вкладений у будівництво об'єкта розподіленої генерації та вартості питомих витрат на виробництво електроенергії.

Розрахунок показав, що різниця в ціні у споживача складе приблизно 12,3%, це означає. Що споживачу вигідно використовувати об'єкти розподіленої генерації.

Ефект «розумного обліку». Удосконалення обліку електроенергії виражається у тому, що опитування, збір та обробка інформації будуть проводитись постійно, з'явиться можливість автоматичного управління обладнанням. По оцінкам експертів, «розумні» лічильники дозволять скоротити втрати електроенергії до 5–6%.

Ефект систем накопичення електроенергії. У теперішній час в Україні накопичувачі енергії втілюються повільніше, ніж по всьому світу. Найбільш серйозним обмеженням для активного розвитку технологій та використання систем зберігання енергії виступають бар'єри законодавчого характеру. Тим не менш очікується, що з 2025 року ринок накопичувачів електроенергії в Україні складе біля 4 млрд доларів у рік без обліку інвестицій [11].

Потенційні ефекти втілення інновацій різного типу в електроенергетиці

Елемент	Ключова функція	Потенційний ефект застосування
Інновації, обумовлені зміною технологій		
Розподілена генерація	Забезпечення можливості автономної генерації електроенергії для власних потреб, можливість продавати надлишки електроенергії іншим учасникам ринка; здатність робити у режимі когеренції та тригенерації	Скорочення витрат електромережевого комплексу та великої генерації забезпечують: додавання нових потужностей більш малими приростами у залежності від реальної динаміки та розміщення попиту; відмову від необхідності реалізації проектів по спорудженню нових потужностей або мережевої інфраструктури; скорочення витрат при передачі енергії; збільшення надійності та швидке відновлення постачання при збоях через кібератаки та природні катаклізми; створення нових робочих місць та збільшення податкових надходжень; підвищення попиту та інноваційні технології на місцевому ринку та поява можливості виходу на світовий ринок обладнання та технологій; зниження залежності від іноземного енергетичного обладнання; розширення можливостей для споживчого вибору; скорочення негативного впливу на навколишнє середовище, скорочення викидів CO ₂
Система зберігання електроенергії	Основне джерело енергії; аварійне джерело енергії; управління графіком споживання; регулювання системних параметрів	Функціонування протягом періоду післяаварійного відновлення основного джерела електропостачання; економія або зниження втрат електричної енергії, а також підвищення її якості
Розумний облік	Достовірне вимірювання рівня споживання електроенергії; визначення фактичних втрат у мережах; автоматизована оперативна обробка, перескладання та представлення інформації про споживання енергоресурсів; обмеження та відключення споживання електроенергії; контроль режиму споживання; оцінка ефективності енергозберігаючих заходів та технологій; управління потоками потужності	Зниження технологічних та комерційних витрат; зведення балансу по групах лічильників з метою виявити безоблікове споживання та фактів дії на лічильники з метою змінити показники; зведення енергобалансів, протидія спотвореним показникам та способам розкрадань; платформа для втілення розумних мереж; автоматизований збір даних; автоматизоване відключення абонентів у випадку необхідності; планування закупівель на оптовому ринку; забезпечення високої платіжної дисципліни; віддалений автоматизований доступ до даних про характер споживання; контроль якості електроенергії
Інновації, обумовлені зміною ринка		
Управління попитом	Система стимулювання кінцевих споживачів до добровольчої зміни графіка споживання електроенергії без додаткового регулювання системним оператором	Зниження капітальних витрат зниження потреби у резерві мережевих потужностей в пристроях компенсації реактивної потужності та витрат по їх експлуатації оптимізація режимів завантаження мереж розподільчих мережевих компаній; зниження витрат на компенсацію шкоди від аварійних обмежень; зниження пікових навантажень
Програми енергоефективності	Збір параметрів енергетичних мереж; моніторинг споживання електроенергії у реальному часі та з максимальною деталізацією, аж до конкретного пристрою	Гнучкість енергосистем та облік споживання; підвищення надійності всіх елементів енергосистеми та оптимізація навантаження на інфраструктуру

**Ефекти втілення інновацій в електроенергетику, які очікуються,
по типам на період до 2035 року**

Інновації	Компонент інновацій	Консервантивний прогноз, млн. грн	Оптимістичний прогноз, млн. грн
Інновації, обумовлені зміною технологій			
Технологічні	Розподілена генерація	51000	100000
	Системи зберігання електроенергії	4000	6000
Процесні	«Розумний облік»	8000	14000
Разом		63000	120000
Інновації, обумовлені зміною ринка			
Інновації управління	Управління поведінкою споживачів	9000	16000
	Енергозбереження	11000	39000
Разом		20000	55000

Ефект систем управління попитом. Втілення концепцій управління попитом дозволить скоротити або повністю відмовитись від використання неефективною генерацією. Відповідно прогнозу, щорічна сума економії може скласти біля одного млн грн [12]. Ефекти технологій енергозбереження. Можлива економія електроенергії при втіленні систем енергозбереження може скласти 5–10% від загальної потреби. Таким чином, відповідно розрахункам, ефекти від застосування технологічних інновацій набагато більше ефектів, які отримують від інновацій, обумовлених зміною ринка і в песимістичному, і в оптимістичному плані. Нові технологічні системи – комплекс інновацій, які мають загальну технологічну базу, та які суттєво впливають на різні сектори економіки [13, 14].

Висновки. Цифрова трансформація відкриває широкі можливості для розвитку електроенергетичної галузі. Класифікація інновацій в електроенергетиці дозволяє керівникам компаній більш обґрунтовано приймати рішення про втілення інновацій того або іншого виду, а також провести аналіз можливих ефектів від їх впровадження.

Впровадження інновацій в електроенергетиці забезпечить не тільки підвищення прозорості, керованості існуючих систем, але й великий економічний ефект у довготривалій перспективі.

Обмеженням цього дослідження є приблизна оцінка деяких ефектів, оскільки окремі компоненти інновацій не відокремлюються у галузевих звітах регулюючих органів та консалтингових компаній.

Список літератури:

1. Концепція Державної цільової економічної програми по енергоефективності та по розвитку відновлювальних джерел енергії на 2022-2026 роки. URL: <https://mcl.kiev.ua/> (дата звернення: 10.02.2023).
2. Енергетична стратегія України: національний прагматизм без популізму. URL: <https://www.pravda.com.ua/> (дата звернення: 14.02.2023).
3. Інновації в енергетичній галузі України. URL: <https://avenston.com/news/innovation> (дата звернення: 15.22.2022).
4. Топ-5 інновацій у відновлюваній енергетиці, що можуть змінити світ. URL: <https://ecotown.com.ua/energytytsi-shoho> (дата звернення: 15.12.2022).
5. Налбандян Г.Г., Жолнерчик С.С. Ключові фактори ефективного застосування технології розподільної генерації у промисловості. Стратегічні рішення та ризик-менеджмент. 2018. № 1. С. 80-87.
6. Трачук А., Тарасов І. Дослідження ефективності інноваційної діяльності організацій на основі процесного підходу. Проблеми теорії управління. 2015. № 9. С. 52-61.
7. Gallagher K., Holdren J. Energy-technology innovation. Annual review of environment and resources. 2006. № 31. P. 193-237. doi: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144321.
8. Guo P., Wang T. How energy technology innovation affects transition of coal resource based economy in China. Energy policy. 2016. Vol. 92. P. 1-6. doi: 10.1016/j.enpol.2016.01.026.
9. Oslo manual. Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. OECD. URL: <https://www.oecd.org/science/oslo-manual-2018-9789264304604-en.htm> (дата звернення: 10.11.2022).
10. Zawislak P., Fracasso E. Technological intensity and innovation capability in industry firms. Innovation and management review. 2018. Vol. 15(2). P. 189-207. <https://doi.org/10.1108/INMR-04-2018-012>

11. Wang C., Lu I., Chen C. Evaluating firm technological innovation capability under uncertainty. *Technovation*. 2008. Vol. 28 (6). P. 349-363. doi: 10.1016/j.technovation.2007.10.007
12. Zawislak P., Alves A. Influences of the internal capabilities of firms on their innovation performance: a case study investigation in Brazil. *International journal of management*. 2013. Vol. 30 (1). P. 329-333.
13. Iryna Pantielieieva, Nataliia Shmatko, Alyona Glushko. Alternative energy: some issues of generating energy from biofuels. Con actas de la conferencia internacional científica y práctica «Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial» 24 de abril de 2020. Barcelona, España. 2020. P. 15-17.
14. Iryna Pantielieieva, Oliinyk Yuliia, Nataliia Shmatko, Alyona Glushko. Identification of Parameters of Electrical Signals in Order to Control Energy Facilities. *IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2021. P. 58-62.

Pantielieieva I.V., Shmatko N.M., Glushko A.V. TYPES OF ENERGY INNOVATIONS THAT ARE DEVELOPING

The world is on the threshold of a turning point in the field of energy technologies. Productivity in the energy sector can increase to levels that were previously impossible, similar to the times of the Industrial Revolution. Many of the breakthrough technologies are already known, such as conventional gas extraction, electric vehicles, solar energy and LED lighting. However, the pace of technological innovation in the energy sector is increasing rapidly, which means that some of these technologies may be implemented much sooner than expected and will achieve radically different levels of cost and efficiency compared to what currently exists. The energy market is also experiencing similar changes.

With resource prices at record highs, energy innovators are actively looking for new solutions to radically improve the way they produce and consume energy. This situation stimulates the development of technologies that will reduce energy costs and reduce the negative impact on the environment.

This work examines the concept of innovation in the energy sector and proposes a universal classification of innovation types. Classification according to the degree of novelty is also carried out. Each of the listed new technologies has a specific function and potential effect, which is discussed in detail in the article.

However, before implementing any of these technologies, their effects need to be quantified. The article also offers an assessment of the impact of innovation implementation. Widespread adoption of any of these technologies will result in annual savings for consumers and contribute to economic growth in countries without negative environmental impacts. Such development will also contribute to the national security of countries, ensuring a decrease in their dependence on the import of such resources.

The overall conclusion is that innovation in the energy sector can play a key role in creating sustainable economic and environmental benefits for countries. The increasing adoption of new technologies in the energy sector can help to use resources more efficiently and reduce the negative impact on the environment, while ensuring an increase in national security.

Key words: *electric energy, innovations, effects of the introduction of innovations, energy, development.*

УДК 621.311.22:504.3.054
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/22>

Сірик А.О.

Національний університет харчових технологій

Євтушенко О.В.

Національний університет харчових технологій

ВПЛИВ ВИКИДІВ КОТЛОАГРЕГАТИВ ХАРЧОВИХ ПІДПРИЄМСТВ НА ЯКІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

Стаття присвячена актуальній темі впливу викидів продуктів згорання при роботі котельних агрегатів підприємств харчової промисловості України на якість атмосферного повітря за умови спалювання різних видів палива. Наведено дані стосовно джерел, складу, характеристик викидів котлоагрегатами підприємств харчової промисловості у навколишнє середовище та негативний вплив газових викидів, аерозолів, оксидів металів які утворюються під час спалювання органічних палив в енергетичних установках. Адже, в процесі спалювання органічного палива відбувається приблизно 80% сумарних обсягів антропогенних викидів в атмосферу, у тому числі 90% діоксиду вуглецю – головного парникового компонента атмосфери. Проаналізовано котельне обладнання підприємств харчової промисловості, що експлуатується залежно від потужності та виду палива, а також екологічну безпеку сучасних методів скорочення шкідливих викидів від котелень та особливості роботи технічних установок, які використовуються для досягнення скорочення антропогенного впливу на довкілля. Розглянуто процес формування та розповсюдження в атмосфері забруднюючих речовин які містяться у викидах котелень з оцінкою екологічного впливу а також заходи та засоби по скороченню або запобіганню шкідливих викидів у навколишнє середовище. Виконано огляд вимог вітчизняного та європейського законодавства щодо впливу забруднення атмосферного повітря речовинами техногенного походження на довкілля та здоров'я людини. Розглянуто досвід, що використовується в ЄС щодо правового регулювання та моніторингу якості атмосферного повітря. Проаналізовано основні положення Директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди» яка охоплює базові сфери промисловості, що системно впливають на показники якості навколишнього середовища. В цілому робота присвячена актуальній проблемі дослідження техногенного навантаження на якість атмосферного повітря при роботі котлоагрегатів підприємств харчової промисловості України.

Ключові слова: котлоагрегати, викиди, якість атмосферного повітря, екологічне законодавство.

Постановка проблеми. Охорона довкілля та раціоналізація використання ресурсів навколишнього природного середовища за умов інтенсивного зростання промислового виробництва є найважливішим завданням сьогодення. Поряд з підприємствами хімічної, металургійної та інших галузей промисловості, що спричиняють найбільш негативні впливи на стан екосистем, підприємства харчової промисловості також є активними споживачами сировинних ресурсів і генераторами відходів [1]. До основних екологічних загроз у харчовому виробництві відносять викиди забруднюючих речовин у атмосферу від роботи котлоагрегатів, які можуть мати негативний вплив на довкілля і здоров'я людей. Головним джерелом газопилових викидів від котельні є викиди частинок димових газів, які утворюються під час спалювання палива. З труб ТЕС в атмосферу викидається велика кількість оксидів сірки

і азоту, дрібних твердих частинок золи, шлаку, повністю не згорілого палива. Якщо разом з вугіллям в топку ТЕС потрапляє порожня порода, яка містить в своєму складі домішки природних радіоактивних елементів, то має місце радіоактивне забруднення атмосфери і земної поверхні, яке може набагато перевищувати можливе радіоактивне забруднення при експлуатації АЕС [2–5].

Проте оцінка екологічних впливів харчових підприємств на довкілля не набула загальноприйнятої практики, тому потребує наукових досліджень.

У процесі дослідження було використано такі методи дослідження: абстрактно-логічний (для узагальнення методів оцінки впливу шкідливих речовин котелень підприємств харчової промисловості на довкілля), аналізу і синтезу (для опису складових компонентів комплексного індексу оцінки негативних впливів на довкілля підприємств харчової промисловості), системного

аналізу (для узагальнення заходів із зменшення викидів котелень харчових підприємств).

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Аналізом екологічних аспектів діяльності харчових підприємств займалися Д. Олива [6], Т. Мостенська [7], І. Ширяєва [8], О. Іванько, Л. Бідненко [9], Г. Кондратенко [10], Л. Лобоцька, В. Добровольський [11], О. Фесенко [12], Іваненко С., Коваль С. [13], Крусір Г. [14, 15], Струтинська Л. [16], Громова О., Маркова Т. [17], та ін. У проаналізованих наукових доробках не виділені конкретні екологічні аспекти, зумовлені роботою котелень підприємств харчової промисловості, що суттєво впливають на стан атмосферного повітря. Це зроблено авторами вперше, що підсилює наукову цінність та практичне значення цієї роботи.

Метою статті є дослідження екологічних аспектів впливу викидів котелень харчових підприємств на якість атмосферного повітря. Завданням дослідження є: вивчення екологічних впливів на довкілля від роботи котлоагрегатів харчових підприємств; характеристика методів оцінки впливу шкідливих речовин газопилових викидів на навколишнє природне середовище; обґрунтування системи заходів із запобігання забрудненню атмосферного повітря викидами котелень підприємств харчової промисловості. Виконати огляд вимог вітчизняного та європейського законодавства щодо впливу викидів у повітря речовин техногенного походження з урахуванням досвіду країн ЄС щодо правового регулювання та моніторингу якості атмосферного повітря.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Основними галузями промисловості в Україні є вуглевидобування, енергетика, чорна та кольорова металургія, машинобудування, автомобілебудування, хімічна промисловість, промислове сільське господарство та харчова промисловість. «Національна екологічна стратегія 2020» визначає забруднення атмосферного повітря, як одну з ключових екологічних проблем країни. Оксиди азоту (NO_x), двоокис вуглецю (CO_2), діоксид сірки (SO_2) та тверді частки визначено основними речовинами, що забруднюють атмосферне повітря. Приблизно 60% викидів здійснюється стаціонарними джерелами [18].

Харчові підприємства споживають величезну кількість тепла, пари, гарячої води на технологічні потреби, вентиляцію, опалення та гаряче водопостачання. Призначення котельних установок на підприємствах харчової промисловості полягає в забезпеченні парою і гарячої води необхідних параметрів. Пару, в основному, одержу-

ють за рахунок теплоти, що виділяється при спалюванні органічного палива. При цьому в котлах можна спалювати будь-які види палива – рідке, газоподібне або тверде. Відповідно експлуатують парові котли, водогрійні котли і пароводогрійні котли. Для забезпечення потреб малопотужних підприємств харчової промисловості (наприкладі цукрових підприємств) з тиском пари до 25 бар встановлюються котли типу ДКВР, які працюють на газу, або топки цих котлів переробляють під роботу на вугіллі або під пілети на рухомій колонічній решітці, а також котли Е-1-9 на 1 т/год пари, що працюють на вугіллі. На підприємствах середньої потужності з тиском пари 40 бар переважно встановлені парогенератори БГМ-35 що працюють на мазуті та газу, але багато підприємств їх модернізують під вугілля. Потужні котли типу БКЗ-75-39 ГМ працюють на твердому паливі із шаровим спалюванням, малопотужні котли ДЕ реконструюють під шарове спалювання вугілля.

Взаємозалежність умов забезпечення теплоенергоспоживання виробничих процесів на харчовому підприємстві та забруднення навколишнього середовища як факторів розвитку виробничих сил привертає увагу до цього аспекту проблеми антропогенного впливу на довкілля. Викиди забруднюючих речовин котельних цих підприємств зумовлені процесами згоряння органічного палива. Обсяги шкідливих газопилових викидів пов'язані з якістю та кількістю палива, що спалюється, повнотою його використання, а також з ефективністю загалом роботи джерела теплопостачання. Процеси спалювання органічного палива є джерелом приблизно 80% сумарних обсягів антропогенних викидів в атмосферу, у тому числі 90% діоксиду вуглецю – головного парникового компонента атмосфери.

Рівень забруднення повітря в Україні стаціонарними джерелами визначається концентраціями домішок в приземному шарі повітря і залежить від технологічних факторів: витрата газоповітряної суміші та її температура, концентрація домішок у викидах, висота джерел, поперечний переріз гирла труби тощо. До метеорологічних факторів належать: місцезнаходження джерела викидів, переважаючий напрям вітру та його швидкість, температура і вологість атмосферного повітря; наявність інверсії, туману, опадів тощо [19].

Забруднення атмосфери виникає через недосконалість конструкції обладнання та установок, порушень правил експлуатації, низької технічної культури та екологічної безграмотності обслуговуючого персоналу, а іноді і внаслідок аварій

чи надзвичайних ситуацій. Токсичність вихідних газів, що викидаються в навколишнє повітряне середовище, залежить, головним чином від якості, сорту та виду спалюваного вуглеводневого палива, умов організації процесу його згорання, технічного стану паливоспалювальних установок. Наприклад, застосування низькосортних палив, з одного боку, сприяє зменшенню поточних експлуатаційних витрат на придбання палива, а з іншого – підвищує кількість екологічно небезпечних забруднювачів, що викидаються в атмосферу. Інтенсивність забруднення атмосфери шкідливими газами визначається концентрацією та чисельністю джерел забруднення на одиниці площі; типом, потужністю та режимом використання паливоспалюючих установок, конструкцією та станом їх паливних систем, станом та рівнем експлуатації технічних засобів, наявністю систем та пристроїв, які якісно та кількісно знижують шкідливі викиди в атмосферу, та іншими факторами [20].

На роботу котельних установок підприємств харчової промисловості також впливають технологічні та структурні фактори, а саме застарілі технології виробництва – основне обладнання у котельнях впроваджене в експлуатацію в 60–70 роки минулого століття і спроектоване за нормами 1950-х років, відпрацювало свій парковий ресурс; та структура споживання палива – високий рівень викидів, передусім оксидів сірки, котельнями може бути зумовлений використанням вугілля непроектною якості (знижена якість вугілля призводить до збільшення обсягів шкідливих викидів в атмосферу) [21]. Одним із пер-

спективних напрямків щодо зниження газового забруднення атмосферного повітря, є усунення причин виникнення шкідливих викидів шляхом активного впливу на процеси їх утворення. Або, іншими словами, якісна та кількісна зміна механізмів формування небезпечних забруднювачів повітряного басейну, адже джерелами шкідливих викидів є похідні хімічних речовин, сполук та елементів, що містяться як в атмосферному повітрі, так і у вичерпаному паливі [20].

Важливо врахувати, що склад і кількість продуктів згорання органічних палив у топках котлів харчових підприємств можуть змінюватися залежно від умов згорання, якості палива та ефективності системи згорання. Для зменшення негативного впливу продуктів згорання на навколишнє середовище і здоров'я людей використовуються різні методи очищення викидів та контролю якості палива. Оксид вуглецю (рис. 1) утворюється при неповному згоранні палива. Він становить близько 50% загальної масової кількості всіх шкідливих речовин, що надходять у повітряний в атмосферне повітря. СО дуже стабільний може перебувати в атмосферному повітрі до 4 місяців.

На котельні установки (частка котельних малої потужності тут значна) припадає до 80% викидів оксидів сірки SO_x (рис. 1). Оксиди сірки у формі двооксиду SO₂ й триоксиду SO₃ утворюються в зоні горіння мазуту й твердих палив, які містять зв'язану сірку. У паливі сірка знаходиться в трьох видах: органічна, колчеданна та сульфатна. При спалюванні природного газу утворення оксидів сірки має місце в незначній кількості за наявності в паливі сірководню H₂S й частково – сіркову-

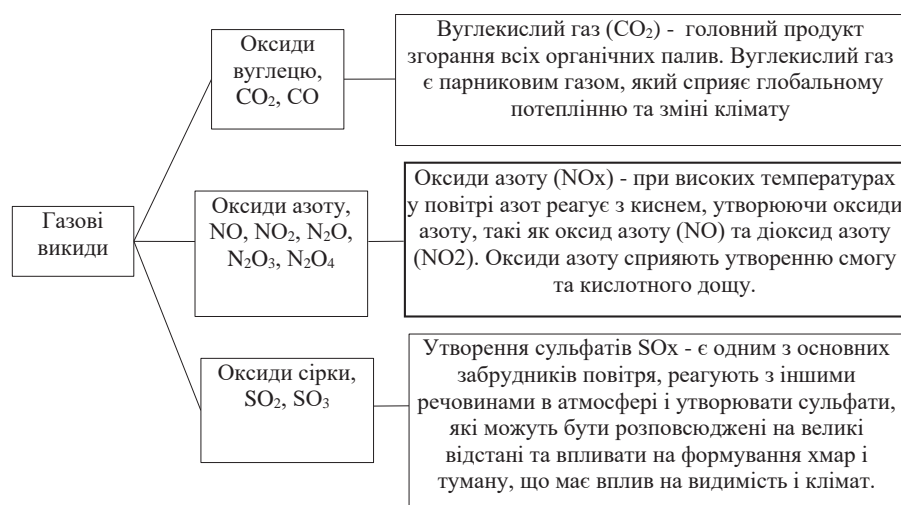


Рис. 1. Негативний вплив газових викидів які утворюються під час спалювання органічних палив в котлах

глецю C_2S . Одним із найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок при спалюванні вугілля та мазуту є діоксид сірки SO_2 , що становить 98–99% викидів сірчаних сполук ТЕС [23]. Для очищення газів від сірчаних сполук застосовують кілька способів: промивання газів водою, вапняний, кислотно-каталітичний, комбінований (поєднання кислотно-каталітичного та вапняного), магнезитовий, аміачні (мокрый та сухий) методи. Найбільш широко використовують три методи, засновані на селективному поглинанні діоксиду сірки: аміачно-циклічний, магнезитовий та вапняний. Перевагою сіркоочищення димових газів є його безумовна ефективність (видалення викидів до 90-95 %) [22].

Джерелом викидів оксидів азоту NO_x (оксид азоту NO та діоксид азоту NO_2), викиди яких визначаються в перерахунку на NO_2 (рис. 1) є котельні установки різного призначення, на які припадає більше половини усіх техногенних викидів. Оксиди азоту утворюються в процесі термічного окислювання азоту повітря та палива при спалюванні палива в топках котлів. При контролі складу атмосфери звичайно фіксується сума оксидів азоту $NO_x = NO + NO_2$. Первинні (режимно-технологічні) заходи спрямовують на зменшення утворення оксидів азоту в топці або камері згоряння установки спалювання. До цих заходів відносяться: ступенева подача повітря та палива, рециркуляція димових газів тощо. За неможливості досягти за допомогою первинних заходів допустимої концентрації оксидів азоту в димових газах для їх очищення від NO_x використовують газоочисну установку. Для очищення димових газів від оксидів азоту використовують

уловлювання оксидів азоту з наступною переробкою в товарну продукцію з руйнуванням оксидів азоту до нетоксичних складових. При цьому характерні методи абсорбції й адсорбції. Одним з найпоширеніших абсорбційних методів є лужне поглинання оксидів азоту. Тут використовується Na_2CO_3 , $Ca(OH)_2$ або розчини аміаку, що забезпечують поглинання оксидів азоту. Аміак є єдиною доступним відновником вибіркової дії, здатним відновити домішки оксиду азоту до азоту й кисню.

При спалюванні палива в котельнях утворюється зола (рис. 2) – це залишок, що залишається після згоряння палива, її склад залежить від виду палива, яке використовується. Зазвичай зола містить різні неорганічні речовини, такі як оксиди кальцію, калію, натрію, магнію та інших елементів. Збирання і утилізація золи є важливою складовою процесу спалювання палива. Вона може бути використана в якості добрива, якщо вона не містить шкідливих речовин. Також можуть бути застосовані спеціальні технології для видалення шкідливих речовин з золи перед її утилізацією. Деякі котельні використовують спеціальні системи для зменшення утворення золи, такі як системи очищення димових газів або використання біомаси як палива. Ці системи допомагають зменшити кількість утвореної золи і покращити екологічні показники процесу спалювання. Усі котли, що працюють на твердому паливі, забезпечені пристроями для вловлювання золи з продуктів згоряння. Залежно від виду палива, потужності котла, способу спалювання палива у котлах, уловлювання золи промислових котелень здійснюється різноманітними золовловлювачами, які класифікуються насамперед за способом очищення.

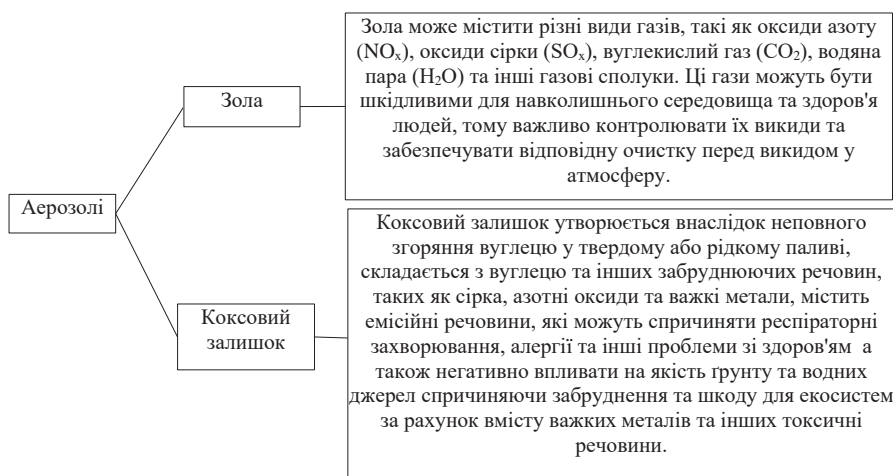


Рис. 2. Негативний вплив аерозолів при згоранні органічних палив при роботі котлоагрегатів

Механічні способи поділяють на сухі й мокрі: сухі способи очищення здійснюються гравітаційними й відцентровими апаратами, а також фільтрами, мокрий спосіб очищення здійснюється різноманітним обладнанням, серед якого найчастіше застосовують відцентрові скрубери, швидкісні й пінні газопромивники, масляні фільтри, а також спеціальні апарати.

Коксовий залишок (рис. 2) утворюється внаслідок неповного згорання вуглецю у паливі, такому як вугілля або нафта. Він складається з вуглецю та інших забруднюючих речовин, таких як сірка, азотні оксиди та важкі метали. Одним із способів зменшення негативного впливу коксового залишку є використання більш чистих джерел енергії, таких як відновлювані джерела енергії (сонячна, вітрова, гідроенергетика) та енергоєфективні технології. Також можуть застосовуватись технології очищення викидів, щоб знизити кількість забруднюючих речовин, що потрапляють до атмосфери.

Викид важких металів та їх сполук (рис. 3) пов'язано з наявністю в мінеральній частині палива сполук важких металів. Під час спалювання в котлах мазуту утворюються сполуки важких металів, які є складовими мазутної золи, з них сполуки ванадію відносяться до основних складових мазутної золи. Ефективність уловлювання твердих частинок золоуловлювальною установкою залежить від типу очисного обладнання, встановленого на установці спалювання, наприклад електростатичного фільтра, рукавного фільтра, мокрого скрубера чи батареїного циклона. При спалюванні в котлах

природного газу можуть виділятися в газоподібній формі в незначній кількості ртуть та її сполуки. Для зменшення викидів важких металів застосовуються системи очищення димових газів та фільтри, що допомагають затримувати токсичні речовини перед їх викидом у повітря.

Під час згорання палива при роботі котлоагрегатів утворюються продукти згорання включаючи газу, пари та тверді частки, які можуть бути випущені у атмосферу. У таблиці 1 наведені значення окремих викидів в атмосферне повітря в ході спалювання різних видів палива (емісія) котлоагрегатами підприємств харчової промисловості [24].

Забруднення повітря та регулювання цієї сфери державою – залишаються одними з ключових екологічних проблем України. Нормування якості атмосферного повітря в країнах ЄС здійснюється шляхом встановлення стандартів якості (граничних величин або цільових показників, досягнення яких повинно бути забезпечено до визначеного періоду). Варто звернути увагу на те, що останніми роками принцип «забруднювач платить» є одним із ключових принципів екологічної політики ЄС. В українському законодавстві цей принцип знайшов своє відображення у Законі «Про охорону навколишнього природного середовища». Проте не всі нормативи відрахувань є чітко визначеними, а механізм розрахунків платежів за забруднення навколишнього середовища є складним (спостерігається пряма залежність між обсягами платежів і складністю системи розрахунків) [25].

Значна увага питанню нормування якості атмосферного повітря приділяється Всесвітньою

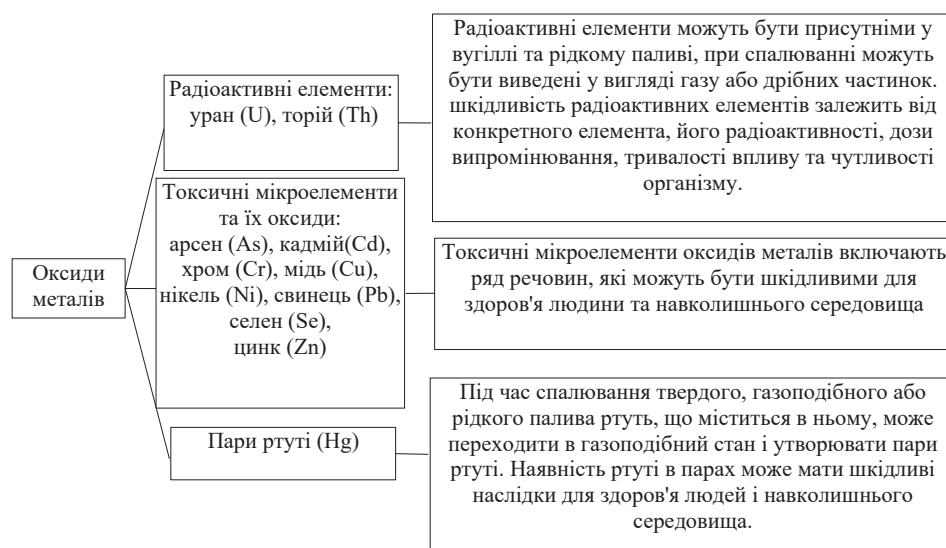


Рис. 3. Негативний вплив оксидів металів при згоранні органічних палив при роботі котлоагрегатів

Забруднююча речовина		Показник емісії k	
Назва	Код	Умовне позначення	Числове значення, г/ГДж
Природний газ (нижча робоча теплота згоряння $Q^r = 45,75$ МДж/кг)			
Азоту оксиди	243.1.001	k_{NOx}	64,311
Вуглецю окис	243.1.009	k_{CO}	248,75
Двоокис вуглецю	243.4.001	k_{CO_2}	58748,13
Оксид діазоту	243.2.002	k_{N_2O}	0,1
Метан	243.2.004	k_{CH_4}	1,0
Мазут (нижча робоча теплота згоряння $Q^r = 38,78$ МДж/кг)			
Азоту оксиди	243.1.001	k_{NOx}	64,311
Вуглецю окис	243.1.009	k_{CO}	318,4
Двоокис вуглецю	243.4.001	k_{CO_2}	76662,63
Оксид діазоту	243.2.002	k_{N_2O}	0,6
Метан	243.2.004	k_{CH_4}	3,0
Неметанові легкі органічні речовини (НМЛОР)	243.2.004	$k_{НМЛОР}$	10,0
Суспендовані тверді частинки (сажа)	243.1.012	$k_{сажі}$	405,81
Ангідрид сірчаний	243.1.003	k_{SO_2}	500,26
Кам'яне або буре вугілля (нижча робоча теплота згоряння $Q^r = 20,47$ МДж/кг)			
Азоту оксиди	243.1.001	k_{NOx}	100,90
Вуглецю окис	243.1.009	k_{CO}	1871,5
Двоокис вуглецю	243.4.001	k_{CO_2}	93740,0
Оксид діазоту	243.2.002	k_{N_2O}	1,4
Метан	243.2.004	k_{CH_4}	1,0
Неметанові легкі органічні речовини (НМЛОР)	243.2.004	$k_{НМЛОР}$	600,0
Суспендовані тверді частинки (сажа)	243.1.012	$k_{сажі}$	2305,9
Ангідрид сірчаний	243.1.003	k_{SO_2}	2506,0

організацією охорони здоров'я. Так, у 2005 році затверджені «Рекомендації ВООЗ щодо якості повітря, що стосуються твердих сполук, озону, двоокису азоту та двоокису сірки». У Рекомендаціях визначається, що шляхом встановлення рівнів забруднюючих речовин, нижче яких їх вплив протягом усього життя або конкретного періоду часу не становить істотного ризику для здоров'я населення, а нормативні показники (рекомендовані безпечні рівні) складають основу для розробки стандартів або граничних значень вмісту забруднюючих речовин у повітрі. Таким чином, вбачається знайома для українського законодавства система нормативів гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин, які встановлено МОЗ України з метою оцінки рівня забруднення та якості атмосферного повітря. Ці нормативи є постійно діючими стандартами навколишнього середовища, єдиними для всієї території України. Можна припустити, що нор-

мативи ГДК за правовою природою ототожнюються зі стандартами якості ЄС. У рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом Україна бере на себе низку зобов'язань щодо приведення власного законодавства до вимог європейського права. Однією з найбільш складних для імплементації директив як в інституціональному, так і в вартісному плані є Директива 2010/75/ЄС «Про промислові викиди» (інтегроване запобігання та контроль забруднення), яка охоплює базові сфери промисловості, що системно впливають на показники якості навколишнього середовища [26]. Директива 2010/75/ЄС базується на пропозиції Європейської Комісії про перегляд, оновлення та об'єднання семи раніше діючих директив, включаючи директиву про інтегроване запобігання та контроль забруднення (ІРПС), щодо великих спалювальних установок (LCP), щодо спалювання відходів (WI), щодо викидів від розчинників та 3-х директив щодо регулювання діоксиду титану.

З одного боку, вона продовжує 80-ю, з іншого – це загальна Директива по Комплексному попередженню і контролю забруднень (ІРРС) [27].

Директивою 2010/75/ЄС про промислові викиди, що прийнята на зміну Директиви 2001/80/ЄС, внесено принципові зміни до чинного законодавства ЄС. Одна з найбільш важливих змін полягає у більш жорстких допустимих граничних значеннях викидів діоксиду сірки, оксидів азоту та пилу від великих спалювальних установок. Ці вимоги набули чинності в країнах ЄС для великих спалювальних установок з 1 січня 2016 року. При цьому країнам ЄС дозволяється застосування перехідного національного плану (стаття 32 Директиви 2010/75/ЄС) з пролонгацією строку 5 досягнення деякими спалювальними установками вимог Директиви 2010/75/ЄС до 30 червня 2020 року. Згідно з рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 24 жовтня 2013 року вимоги Директиви 2010/75/ЄС набувають чинності в Енергетичному Співтоваристві для великих спалювальних установок після 31 грудня 2027 року.

Концепція про промислові викиди передбачає прийняття окремих нормативних актів, що будуть регулювати застосування НДТ, можливість відхилення від ГДВ і ТНДВ, а також встановлення балансу між захистом повітря, води та ґрунту, управлінням відходами та важливими соціальними інтересами. Довідкові документи НДТ (BREFs) мають бути перекладені українською мовою та поступово перенесені до українського законодавства (для деяких заходів до 2023 року, а для всіх заходів до 2028 року).

У 2007 році була прийнята Стратегія державної екологічної політики України на період до 2020 року. На початку 2020 року вона повинна бути замінена на Закон «Про основні засади (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2030 року». Екологічна стратегія 2020 передбачає інтеграцію питань захисту навколишнього середовища до галузевих політик, зокрема, у галузі енергетики та промисловості, транспорту та сільського господарства. Така інтеграція вимагає тісної співпраці з відповідними міністерствами й організаціями, детального перегляду нормативної бази. В Екологічній стратегії 2030 окреслено ряд проблемних сфер управління за критеріями, що включають забруднення повітря і ґрунтів, однак не приведено жодних пропозицій для їх вирішення. За винятком імплементації Директиви про промислові викиди (2010/75/ЄС), як одного з пріоритетних шляхів, у стратегії немає інших адекватних цілей [18].

Високий рівень захисту природного навколишнього середовища – одне з пріоритетних завдань в адаптації законодавства України до законодавства ЄС. Вимоги щодо адаптації законодавства України до європейського визначено Стратегією сталого розвитку «Україна – 2020». Аналіз вітчизняного законодавства дозволяє зробити висновок про те, що нормативні документи України щодо охорони атмосферного повітря частково відповідають нормативним документам ЄС. Підходи щодо нормування вмісту забруднюючих речовин досить різняться. Так, українське законодавство передбачає використання ГДК, що базується на впливі забрудників на здоров'я людини, а законодавство ЄС також враховує аспект впливу забрудників на довкілля [28].

Також, необхідно відмітити низький рівень відповідності вимогам Директиви 2010/75/ЄС. Директива 2010/75/ЄС об'єднала, покращила та зробила більш чітким законодавство та скасувала декілька інших директив у сфері запобігання промисловим забрудненням. Положення Директиви про промислові викиди акцентують увагу на дозвільній системі та процедурах, а також на визначенні загальної структури інтегрованого запобігання забрудненню та контролю над ним. Метою комплексного підходу до контролю забруднення є попередження викидів в атмосферу та скидів у воду та ґрунт усюди, де це можливо, враховуючи поводження з відходами [29].

Висновки. Зазначимо, що при спалюванні твердого палива котельними агрегатами підприємств харчової промисловості в атмосферу з димовими газами надходить летуча зола, частинки якої містять вуглець, сірку, діоксид кремнію, оксиди алюмінію та заліза, деякі органічні сполуки, важкі метали та інші хімічні елементи. Склад і кількість продуктів згорання органічних палив у топках котлів харчових підприємств можуть змінюватися залежно від умов згорання, якості палива та ефективності системи згорання. При спалюванні рідкого палива та газу вихід твердих частинок значно менше, проте газоподібні продукти характеризуються високими концентраціями багатьох шкідливих хімічних речовин, що негативно впливають як на якість атмосферного повітря так і на здоров'я людей. Обсяги шкідливих газопилових викидів пов'язані з якістю та кількістю палива, що спалюється, повнотою його використання, а також з ефективністю роботи джерела тепlopостачання.

Одним із найбільш токсичних газоподібних викидів енергоустановок при спалюванні вугілля та мазуту є діоксид сірки SO₂, що становить

98–99% викидів сірчастих сполук котельних. Для зменшення негативного впливу оксидів сірки на якість атмосферного повітря важливо приймати заходи контролю за викидами SO_x , включаючи встановлення фільтрів та очисних систем на працюючому обладнанні, використання більш чистих джерел енергії та сприяння енергоефективності. Необхідно впроваджувати і підтримувати стандарти та законодавство, спрямовані на обмеження викидів SO_x у повітря. Запропоновано підходи до очищення димових газів від оксидів азоту на основі уловлювання оксидів азоту з наступною переробкою в товарну продукцію та руйнування оксидів азоту до нетоксичних складових. Також, необхідно відмітити низький рівень чинного зако-

нодавства України вимогам нормативних документів ЄС, зокрема вимогам Директиви 2010/75/ЄС «Про промислові викиди» яка охоплює базові сфери промисловості, що системно впливають на показники якості в тому числі атмосферного повітря. Адже для забезпечення своїх зобов'язань Україна має скористатися успішним досвідом скорочення викидів забруднюючих речовин низкою європейських країн, зокрема Німеччини та Польщі, упродовж останніх 20 років. Таким чином, перед Україною постає доволі значний обсяг завдань як з огляду на недосконалість нормативно-правового поля, так і враховуючи необхідність суттєвої екологічної модернізації котельень підприємств харчової промисловості.

Список літератури:

1. Васильцова О. В. Екологічні аспекти функціонування хлібопекарських підприємств України. *Інвестиції: практика та досвід*. № 17. 2018. С. 61-66
2. Sahu S. K., Tiwari M., Bhangare R. C., Ajmal P. Y., Pandit G. G. Partitioning behavior of natural radionuclides during combustion of coal in thermal power plants, *Environmental Forensics*, № 18:1. 2017. С. 36-43
3. Sudhir Y., Rajiv P. Status and Environmental Impact of Emissions from Thermal Power Plants in India. *Environmental Forensics*. (2014). №15:3. С. 219- 224
4. Ozden, B. Enrichment of naturally occurring radionuclides and trace elements in Yatagan and Yenikoy coal-fired thermal power plants, Turkey, *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.09.016>.
5. Mohan Singh, Lalit & Kumar, Mukesh & Sahoo, Bijay & Sapra, Balvinder & Kumar, Rajesh. (2016). Study of radon, thoron exhalation and natural radioactivity in coal and fly ash samples of Kota Super Thermal Power Plant, Rajasthan, India. *Radiation Protection Dosimetry*. 171. DOI:10.1093/rpd/ncw057.
6. Іваненко С.Д., Олива Д.А. Аналіз впливу на стан довкілля підприємств харчової промисловості. Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту: матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. Харків: НУЦЗУ. 2020. С. 355.
7. Мостенська Т.Л. Екологічні загрози при виробництві харчових продуктів. *Інтелект XXI*. № 3. 2015. С. 93-99.
8. Ширяєва І.В. Вплив переробних підприємств АПК на якість природного середовища регіону. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2014. № 8. С. 219-223.
9. Іванько О.М., Бідненко Л.І. Сучасні методи знезараження стічних вод (огляд літератури). *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2012. Вип. 33. С. 137-150.
10. Крусір Г.В., Кондратенко І.П. Оцінка впливу хлібопекарного підприємства на навколишнє середовище на основі критерію екологічності. *Харчова наука і технологія*. 2012. № 2. С. 81-83.
11. Крусір Г.В., Кондратенко І.П., Лобочька Л.Л., Добровольський В.В. Щодо оцінки індексу екологічної небезпеки хлібопекарського підприємства з урахуванням можливості техногенної аварії. *Екологічна безпека*. 2016. Вип. 2. С. 89-96.
12. Фесенко О.А., Кондратенко І.П. Оцінка екологічної безпеки підприємства експертним методом. *Сучасні технології в промисловому виробництві*: матеріали II Всеукр. міжвузівської наук.-техн. конф., м. Суми, 17-20 квітня 2012 р. Суми: СумДУ. 2012. Ч. 2. С. 70.
13. Коваль С.О. Вплив на довкілля харчової промисловості. Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій. 27-28 листопада. Тернопіль. 2019. С. 82.
14. Крусір Г.В. Екологічний аудит хлібопекарського підприємства. *Харчова наука і технологія*. 2013. № 1. С. 80-81.
15. Крусір Г.В. Оцінка екологічної безпеки хлібних виробів. *Харчова наука і технологія*. 2013. № 1. С. 84-87.
16. Струтинська Л.Р. Екологічна ефективність харчових і переробних підприємств малого та середнього бізнесу. *Вісник ХНТУ*. № 1 (84). 2023. С. 250-257.
17. Громова О.М., Маркова Т.Д. Доцільність використання екологічно чистих технологій енергозабезпечення на підприємствах харчової промисловості. *Економіка харчової промисловості*. № 3. 2010. С. 59-62.

18. Брудне небо над головою: законодавство у сфері охорони атмосферного повітря в Україні та ЄС. Порівняльний аналіз законодавства, політики та практики. <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2020/12/dirty-skies-above-ua.pdf>
19. Bataltsev Y., Plyatsuk L., Ablicieva I., Hurets L., Miakaiev O. Environmental efficiency of managing the combustion process in boilers with circulating fluidized bed. Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека», 5(1/2019) С. 55-61.
20. Риндюк Д.В., Шелешей Т.В., Беднарська І.С. Інженерна екологія енергетики. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 141 с.
21. Зменшення викидів у тепловій електроенергетиці України через виконання вимог Європейського енергетичного співтовариства. Зелена книга. Міжнародний центр перспективних досліджень. Київ 2011 рік. https://cdn.regulation.gov.ua/e5/9a/3f/3e/regulation.gov.ua_File_183.pdf
22. Зацерклянний М.М., Зацерклянний О.М., Столевич Т.Б. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник. Одеса : Фенікс, 2017. 454 с.
23. Риндюк Д.В., Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Беднарська Я.С. Оцінка впливу марки мазуту на викиди сірчистого ангідриду на енергетичних об'єктах. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2020. Том 31(70) № 2. С. 231-236.
24. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том I. Український науковий центр технічної екології. Донецьк. 2004. 183 с.
25. Копиця Є.М. Міжнародний досвід правового регулювання нормування якості атмосферного повітря. Теорія і практика правознавства. Вип. 1(7)/2015. №2. С 206-217.
26. Маковецька Ю.М., Омеляненко Т.Л. Поводження з відходами в контексті вимог Директиви 2010/75/ЄС про промислові викиди. Економіка природокористування і охорони довкілля: Зб. наук. пр. – К.: ДУ ІЕПСР НАН України, 2014. С. 10-12.
27. Владимірова, О. Г. (2021) Труднощі імплементації директиви ЄС «Про промислове забруднення» в національне законодавство: Третя Всеукраїнська науково-практична конференція «Євроінтеграція екологічної політики України», 20 жовтня 2021, Одеса, Україна.
28. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2018 році. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Natsionalna-dopovid-pro-stan-navkolyshnogo-prirodnoho-seredovyssha-v-Ukrayini-u-2018-rotsi_.pdf
29. Закон України «Про Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 р. № 2697-VIII. // ВВР України. 2019. № 16. Ст. 70

Siryk A.O., Yevtushenko O.V. THE INFLUENCE OF EMISSIONS FROM BOILER UNITS OF FOOD INDUSTRY ENTERPRISES ON ATMOSPHERIC AIR QUALITY

The article is devoted to the current topic of the impact of combustion products emissions during the operation of boiler units of food industry enterprises of Ukraine on the quality of atmospheric air under the conditions of burning different types of fuel. Data are given on the sources, composition, and characteristics of emissions from boiler units of food industry enterprises into the environment and the negative impact of gas emissions, aerosols, and metal oxides that are formed during the combustion of organic fuels in energy installations. After all, in the process of burning organic fuel, approximately 80% of the total volume of anthropogenic emissions into the atmosphere occurs, including 90% of carbon dioxide – the main greenhouse component of the atmosphere. The boiler equipment of food industry enterprises, which is operated depending on the capacity and type of fuel, as well as the environmental safety of modern methods of reducing harmful emissions from boiler plants and the peculiarities of the operation of technical installations used to achieve the reduction of anthropogenic impact on the environment, are analyzed. The process of formation and distribution in the atmosphere of polluting substances contained in the emissions of boiler houses with an assessment of the ecological impact, as well as measures and means to reduce or prevent harmful emissions into the environment, are considered. A review of the requirements of domestic and European legislation regarding the impact of atmospheric air pollution by man-made substances on the environment and human health was conducted. The experience of the EU with regard to legal regulation and monitoring of atmospheric air quality is considered. The main provisions of the Directive 2010/75/EC “On industrial emissions” concerning the main branches of industry, which systematically affect indicators of environmental quality, have been analyzed. In general, the work is devoted to the actual problem of researching man-made load on the quality of atmospheric air during the operation of boiler units of the food industry enterprises of Ukraine.

Key words: boiler units, emissions, atmospheric air quality, environmental legislation.

Стринада П.С.

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

Соломаха А.С.

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

ГІДРОДИНАМІКА ЗА ПРОТИТЕЧІЇ ПЛІВКИ РІДИНИ ТА ГАЗУ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ТРУБІ

Авторів даної роботи цікавить тепло та масообмін для ламінарного режиму течії плівки в контактних теплообмінних апаратах з вертикальною трубою в якій відбувається протитечія плівки рідини до висхідної течії потоку газу. Результати цих досліджень будуть показані в наступних публікаціях.

У даній статті висвітлена саме гідродинамічна частина досліджень. Вона потрібна для того щоб бути певними, що отримані результати належить саме ламінарному режиму течії плівки. Для цього отримані результати були порівняні з результатами подібних досліджень і зроблено висновок про валідність наших даних.

Отже, тепер, коли ми точно визначили що результати досліджень належать ламінарному режиму можемо перейти до досліджень тепло та масообміну.

Експериментально визначено перепад тиску для різних витрат повітря та води. Дослідження проводилися на прозорій трубці довжиною 1,4 м та діаметром 34 мм.

Для забезпечення точних вимірювань, на вході та виході з труби були встановлені пристрої для вимірювання витрати повітря та води. Змочування поверхні трубки, перехід між режимами течії контролювалось візуально шляхом спостереження, а також за допомогою диференціального манометра. Для кожної комбінації витрат повітря та води було визначено значення перепаду тиску.

Отримані результати були порівняні з даними, опублікованими іншими авторами, що досліджували подібні режими течії. Була побудована мапа режимів течії для протитечійного режиму у вертикальній трубці. Ця карта відображає залежність між перепадом тиску та витратами повітря та води, що дозволяє зрозуміти, яким буде режим течії при певних умовах.

Додаткові отримані результати розширюють наше розуміння процесів течії двофазного потоку. Вони дозволяють виявити особливості та закономірності у двофазних режимах течії, які можуть бути корисними при проектуванні нових систем та вдосконаленні існуючих технологій.

Крім того, отримані дані можуть бути використані для верифікації та підтвердження результатів числових моделей течії двофазних потоків. Це сприяє покращенню точності та достовірності таких моделей, що є важливим у практичних застосуваннях.

Результати дослідження також можуть бути використані для розробки оптимальних стратегій контролю та регулювання двофазних систем. Враховуючи витрати повітря та води, можна досягти більш ефективного та енергоефективного управління процесами течії.

Отримані дані також можуть бути використані у галузі нафтової та газової промисловості, де двофазні потоки є поширеними. Розуміння режимів течії та їх характеристик дозволяє покращити видобуток, транспортування та обробку нафти та газу, зменшити втрати енергії та підвищити загальну ефективність систем.

Отже, результати цього дослідження мають важливе значення як для наукової спільноти, так і для промислових секторів, де працюють з двофазними потоками. Вони відкривають нові можливості для розробки та впровадження інноваційних рішень у цих галузях, сприяючи прогресу і підвищенню ефективності технологій.

Ключові слова: рідина, плівка, трубка, повітря, протитечія, режими.

Постановка проблеми. Робота направлена на дослідження режиму кільцевого двофазного протитокового газорідинного потоку, який характеризується безперервним газовим ядром.

Газовий потік рухається вгору в середині труби, взаємодіючи з плівкою рідини, яка рухається в протилежному напрямку вниз по стінці труби. Така схема потоку спостерігається в багатьох

пристроях промислового обладнання: системи ядерних реакторів, випарники, газо-рідинні конденсатори, абсорбери, дефлегматори та в нафтогазовій промисловості [1]. Наприклад, в газових свердловинах з конденсатом існують конструкції свердловин для природного газу та газу з вугільних пластів (CSG або CBM для метану вугільних пластів) з кільцевими отворами між зовнішньою трубою (обсадною трубою) і внутрішньою, через яку рідину закачують на поверхню. Зовнішня труба перфорована, щоб дозволити рідинам надходити в стовбур свердловини з пласта [2].

Двофазний потік газ-рідина в трубі є в багато разів складнішим порівняно з гідродинамікою однофазного (лише пари або рідини) через ту саму трубу. Це пояснюється тим, що для двофазного потоку може існувати багато різних способів взаємодії між плівкою рідини та газом, відомих як моделі потоку або режими потоку. Будь-яке явище передачі енергії для двофазного потоку, а саме імпульс, тепло- або масопередача, сильно залежить від існуючого режиму потоку. Режим течії, в свою чергу, залежить від великої кількості параметрів, таких як швидкість і властивості окремих фаз, форма і розмір поперечного перерізу трубопроводу, напрямок потоку відносно сили тяжіння (вгору, вниз або під нахилом) і по відношенню до руху супутніх фаз (прямотечія або протитечія), впливу процесів тепло- та масообміну, тощо. Оскільки режим течії в трубопроводі має важливе значення для розуміння та аналізу двофазної течії, не дивно, що було проведено великий обсяг досліджень для експериментального виявлення режимів течії та їх теоретичного прогнозування.

Отже, теоретичні прогнози режимів потоку є важливими як для проектування, так і для безпечної та безперервної роботи обладнання а також для прогнозування планових ремонтних та сервісних робіт. Тим не менш, такі прогнози важко зробити через складну природу явищ двофазної течії. Крім того, достовірність цих передбачень може бути перевірена лише шляхом ретельно проведених експериментів.

Аналіз останніх публікацій. У плівкових контактних теплообмінниках, з протитечією плівки рідини що стікає вниз по стінці та з висхідним потоком повітря у вертикальній трубі існує три режими двофазного ламінарного потоку плівки (рис. 2):

1) При низьких числах Рейнольдса плівка рухається під дією сили тяжіння майже без хвиль (рис. 2, а).

2) При поступовому збільшенні швидкості повітря на поверхні плівки виникають хвилі (рис. 2, б).

3) При подальшому збільшенні швидкості руху газу з поверхні плівки починаються зриватися краплі рідини та рухатись в напрямку потоку повітря (рис. 2, в).

Якщо швидкість газу досить висока, вся рідина починає рухатися вгору. В такому режимі коректна робота гравітаційного плівкового теплообмінника неможлива.

Гідродинамічні характеристики всіх режимів детально досліджено в багатьох роботах, зокрема в [3–7].

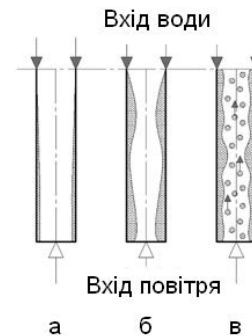


Рис. 1. Режими течії водяної плівки та повітря у вертикальній трубі для випадку ламінарної низхідної течії: а – спадаючий плівковий потік без хвиль; б – хвилі на поверхні рідини; в – відрив крапель з поверхні плівки з подальшим переходом в режим захлинання

Межа розділу газ-рідина кільцевого потоку є нерегулярною через наявність хвиль, структур, які в літературі називаються хвилями збурення та бризками, як показано на рисунку 2.

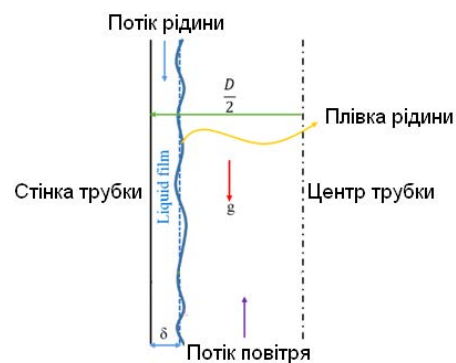


Рис. 2. Зображення плівки рідини в кільцевій структурі потоку

Як видно на рисунку 2, для кільцевого двофазного потоку у вертикальній трубі поверхня плівки рідини часто складається з бризок, хвилювих збурень і служить тонкою стінкою для потоку газового ядра із захопленими краплями з хвилювих гребнів. Кілька термінів часто використовуються в промисловості для характеристики потоку,

включаючи миттєву товщину плівки, середню товщину плівки та локальну максимальну товщину [8]. Товщина плівки рідини визначається конструкцією системи труб і параметрами потоків рідин, які включають швидкості, напрямки руху та фізичні властивості рідини і газу. Середня товщина плівки була широко досліджена в минулому, і за останні 20 років удосконалені експериментальні методи та процедури дозволили отримати чітке уявлення про її поведінку

Межа розділу газ-рідини у вертикальному низхідному кільцевому потоці є неоднорідною по колу щодо хвильової активності. Форма межі розділу залежить від швидкостей потоку фаз, і в деяких роботах вона була пов'язана з шорсткістю труби [9].

Крім того, було помічено, що хвилі збурень залучають рідину в потік ядра через взаємодію між рідкою та газовою фазами. Захоплення рідини впливає на міжфазне тертя зсуву, яке в свою чергу впливає на падіння тиску та двофазну передачу імпульсу, маси та тепла [10–12]. Крім того, було помічено, що збурена хвиля за інерцією рухається разом із плівкою рідини з більшою швидкістю, ніж біля стінки.

В роботах [14, 15] було досліджено експериментальну характеристику рідкої плівки, щоб оптимізувати моделі та сприяти вдосконаленню процесів моніторингу, які гарантують забезпечення необхідного потоку в нафтогазовій промисловості.

Експерименти проводилися в установі Multilab у Центрі досліджень багатофазного потоку Федерального технологічного університету Парани. Розроблено установку для проведення вимірювань у вертикальному низхідному кільцевому потоці. Установка має внутрішній діаметр 26 мм і тестову секцію довжиною 14 м, виготовлену з прозорого плексигласу. Потік аналізується в тестовій секції, для вимірювання параметрів плівка використано подвійний кільцеподібний безконтактний датчик провідності (CS) і безконтактний датчик WMS 16 x 16 для контролю рівня води. Датчики можуть отримувати важливу інформацію з рідкої плівки та її розподілу. Частота збору даних становила 10 кГц і 2 кГц для CS і WMS відповідно з часом дискретизації 30 с. Вода з бака закачується в контурну лінію, де витратомір Коріоліса контролює масову витрату рідини, густину і температуру. Для отримання кінематичної в'язкості води в залежності від температури використовували емпіричну кореляцію [16].

Для введення фаз у основну секцію труби використовувався вхідний отвір із концентричними трубами. Експериментальна оцінка включає тридцять п'ять комбінацій поверхневих швидкостей

газу і рідини у діапазоні від 0 м/с до 20 м/с і від 0,05 м/с до 0,25 м/с відповідно. Для різних витрат було побудовано карту потоків (див. рис. 3). Усі параметри та збір даних реєструвалися та контролювалися диспетчерським управлінням, створеним як платформа LabVIEW.

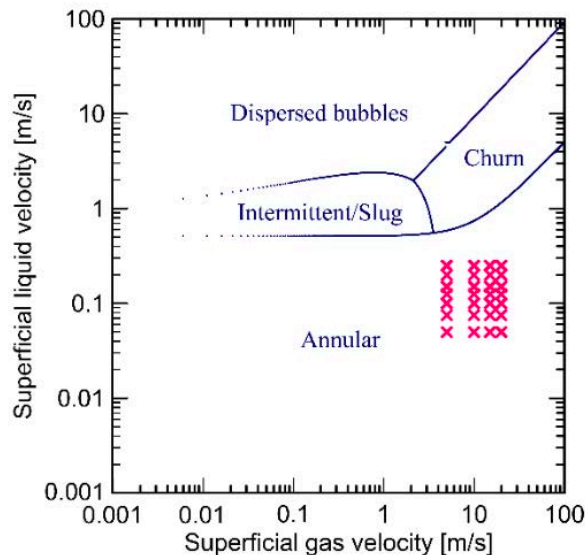


Рис. 3. Експериментальні комбінації поверхневих фазових швидкостей, нанесені на карту потоку [16]

Таким чином, основним методом дослідження поведінки двофазного потоку у вертикальній трубці залишається експериментальне дослідження. Тому в даній роботі було зібрано стенд для дослідження гідродинаміки двофазного потоку.

Експериментальний стенд. Принципова схема установки контактного теплообмінника плівкового типу з вертикальною трубкою наведена на рисунку 4.

Основним елементом експериментального стенду є вертикальна трубка 1 з внутрішнім діаметром 34 мм і довжиною 1,4 м. Зовнішня сторона трубки ізолювана. Схема руху протіччя: плівка рідини, яка взаємодіє з набігаючим потоком повітря, стікає по поверхні внутрішньої стінки трубки. Рідина з колектора 2 перекачується циркуляційним насосом 3 до нагрівача 4. рідина через розподільувач рідини (спринклер) 5 розподіляється у вигляді плівки по внутрішній поверхні трубки 1 і надходить у колектор 2. Вентилятор 8 нагнітає повітря в трубку 1. Утворена пароповітряна суміш надходить у поверхневий конденсатор 6, де знижується вологість повітря, а потім вентилятором 8 по ротаметру повітря 11 подається в колектор 2. Температура рідини на вході в розподільувач рідини 5 вимірюється хромель-копелевою термопарою.

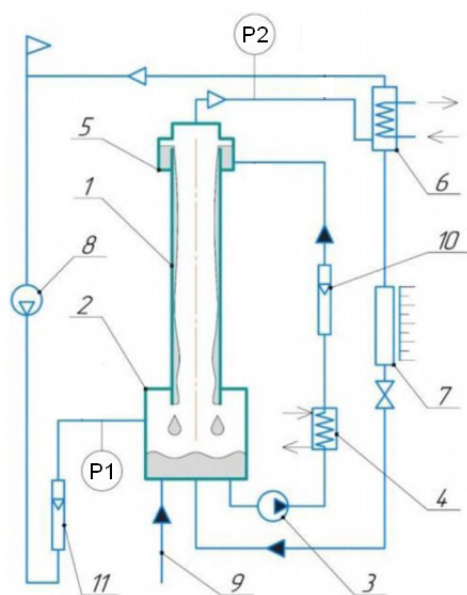


Рис. 4. Схема експериментального стану для дослідження тепломасообміну в контактному теплообміннику плівкового типу з вертикальною трубою: 1 – вертикальна трубка, 2 – колектор, 3 – циркуляційний насос, 4 – нагрівач, 5 – розподільувач рідини, 6 – конденсатор, 7 – мірний циліндр, 8 – вентилятор, 9 – лінія подачі, 10 – ротаметр рідини, 11 – ротаметр повітря

Втрата тиску вимірюється мікроманометром типу ММН-2400. Розподільник повітря та спосіб подачі води забезпечує осесиметричний розподіл швидкості повітря на вході до трубки. Похибка вимірювання втрат тиску $\pm 4-6\%$ від зафіксованого значення.

Результати дослідження. Дослідження режимів течії в активній зоні апарату та умов їх виникнення має велике значення для визначення оптимальних режимів роботи, при яких буде вирішена задача контактної теплообміну за одночасного забезпечення мінімальних питомих енергетичних витрат.

Ці дослідження були проведені на моделі контактної теплообмінного апарату з прозорим корпусом та вертикальною трубою, що дозволило візуалізувати режими течії в трубі та фіксувати їх за допомогою фотоапарата. Внутрішній діаметр труби становить 34 мм, довжина 140 мм, витрата рідини:

1. $m_b = 140$ кг/год
2. $m_b = 90$ кг/год
3. $m_b = 8$ кг/год

За результатами досліджень маємо графік залежності перепаду тиску у вертикальній труб від швидкості повітря, рисунок 5.

Зі збільшенням приведеної швидкості повітря в трубі поступово зростає втрата тиску в апараті. При досягненні певної критичної швидкості відбувається різке зростання втрат тиску (так зване захливання). При подальшому збільшенні витрати повітря відбувається розворот течії плівки. Оскільки подача води відбувається зверху трубки – робота нашого гравітаційного апарату в такому режимі неможлива.

Далі розглянуті наступні характерні режими течії двохфазного потоку:

Кільцевий режим ($w_{пов} < 8$ м/с)

Характерний при малих швидкостях повітря. Також залежить від витрати води.

Зона кільцевого режиму течії показана на рисунку 5 суцільними тонкими лініями до червоних точок при:

1. $m_b = 140$ кг/год при $w_{пов} < 8,5$ м/с
2. $m_b = 90$ кг/год при $w_{пов} < 9$ м/с
3. $m_b = 8$ кг/год при $w_{пов} < 10$ м/с

Вода плавно стікає по трубці. Втрати тиску в апараті мінімальні. Зі збільшенням витрат повітря на поверхні води з'являються хвилі. Втрати тиску повільно зростають. Експериментальні дані добре співпадають (рис. 3, рис. 6).

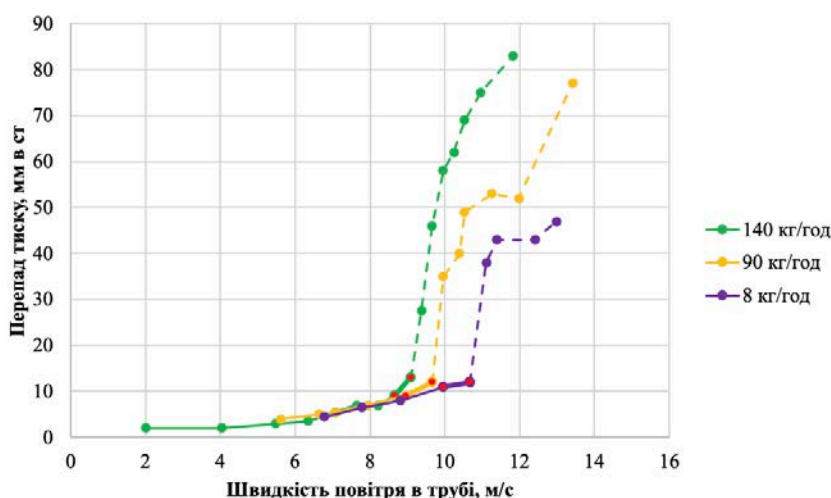


Рис. 5. Залежність перепаду тиску в трубці від швидкості повітря

Кільцевий режим з відривом крапель

При таких вхідних параметрах повітря починає захоплювати воду з гребенів хвиль у вигляді струменів і окремих крапель, які здебільшого сепаруються на стінках труби і стікають вниз у резервуар. Окремі краплі виносяться з потоком повітря. Спостерігається несуттєве збільшення гідравлічних витрат у порівнянні з першим режимом.

Зона кільцевого режиму течії з відривом крапель показана на рисунку 5 жирними суцільними лініями між червоними точками при:

1. $m_b = 140$ кг/год при $w_{пов} 8,5...9$ м/с
2. $m_b = 90$ кг/год при $w_{пов} 9...9,7$ м/с
3. $m_b = 8$ кг/год при $w_{пов} 10...10,7$ м/с

Режим захлинання

В результаті формується шар води, через який барботує повітря, також місцями спостерігається пересихання плівки рідини на стінці труби. Втрати тиску, при цьому, стрибкоподібно зростають (рис. 5). Виникає захлинання потоку. Для цього режиму характерні пульсації тому точні виміри ускладненні. Цю зону треба сприймати як таку, в якій немає лінійної залежності. Через пульсації для певної області визначення швидкості повітря $D(y)$ може бути будь-яка область значень перепаду тиску $E(y)$, але в межах не менше за втрати тиску в точці переходу з кільцевого режиму з відривом крапель до режиму захлинання та не більше за втрати тиску в точці переходу з режиму захлинання до режиму з розворотом потоку.

Зона режиму захлинання течії показана на рисунку 5 штриховими лініями після червоних точок при:

1. $m_b = 140$ кг/год при $w_{пов} > 9$ м/с
2. $m_b = 90$ кг/год при $w_{пов} > 10,7$ м/с
3. $m_b = 8$ кг/год при $w_{пов} > 10,7$ м/с

Руйнування розворот потоку течії

При зростанні приведеної швидкості повітря в трубі до значень > 12 м/с, потік повітря прориває водяний шар. Вода взагалі не потрапляє в трубку. Якби вода в трубку подавалася не з її верхнього кінця, а посередині то можна було б спостерігати розворот плівки вгору і її рух в кільцевому режимі. Тому на рисунку 5 немає зони з режимом розвороту течії. Точна швидкість повітря при якій настає цей режим також не визначалась.

Порівняння з іншими роботами. Основною причиною різкого стрибка тиску на (рис. 5) є «захлинання» («flooding») потоку, коли швидкість газу досягає значення, при якому починається зміна напрямку руху плівки рідини. Поєднання режимних та геометричних параметрів контактного апарату, при яких реалізується

режим «захлинання», залежить від витрат рідкої та газоподібної фаз, геометрії та орієнтації робочої ділянки. Явище «захлинання» досліджувалося багатьма авторами [5–16].

Отримані результати було порівняно з результатами інших авторів. Зокрема на слайді показано гідродинамічну карту режимів з класичної роботи Hewitt [1] а також вона є в монографії [17].

На рисунку 6 зображено графік залежності режиму течії плівки рідини від:

1. Витрати води в кг/год. Показано жирними кривими
2. Швидкості повітря в м/с. Горизонтальна вісь
3. Градієнту тиску мм водяного водяного стовпчика до мм довжини трубки. Вертикальна вісь. Для конкретного графіка довжина трубки 90 см, діаметр 32 мм.

На графіку чітко видно три режими течії плівки:

1. Ламінарний (Плівка тече вниз)
2. Режим захлинання (З частковим пересиханням)
3. Розворот плівки (Плівка тече вгору, характер течії схожий з ламінарним)

Вертикальними жирними лініями на графіку показано межі нашого дослідження, як видно з графіку всі результати потрапляють у діапазон ламінарної течії плівки.

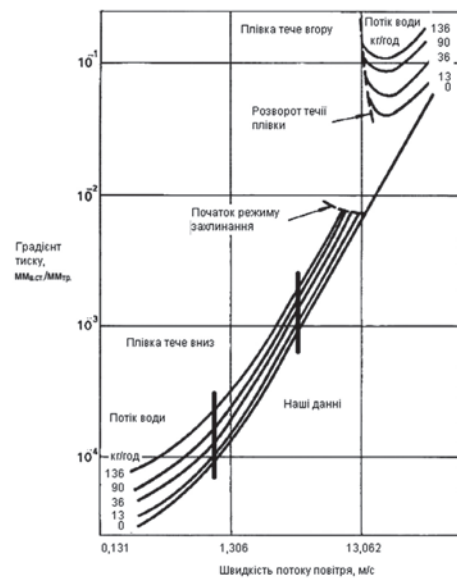


Рис. 6. Режими течії водяної плівки у вертикальній трубі

Висновки. Були проведені дослідження гідродинаміки для трубки з діаметром 34 мм та довжиною 1,4 м, визначено основні режими течії плівки для ламінарного режиму.

Отримані результати в діапазоні наступних режимів течії:

1. Кільцевий режим
2. Кільцевий режим з відривом крапель
3. Режим захлинання

Виконано порівняння отриманих експериментальних даних з іншими авторами. Наші

результати мають достатню збіжність з результатами інших авторів в подібних експериментах. Отже можемо стверджувати що наші данні є валідними.

Отримані результати дозволяють перейти до дослідження процесу тепло та масо обміну, які будуть висвітлені в наступних публікаціях.

Скорочення:

- J_L – швидкість рідини
 J_G – швидкість газу
 DW – амплітуда хвиль
 $D(y)$ – область визначень
 $D(x)$ – область значень

Список літератури:

1. N. S. Hewitt, G F and Hall-Taylor, *Annular Two-Phase Flow*. Oxford: Pergamon Press, 1970.
2. B. Towler, M. Firouzi, J. Unterschultz, W. Rifkin, A. Garnett, H. Schultz, J. Esterle, S. Tyson, K. Witt, An overview of the coal seam gas developments in Queensland, *J. Natural Gas Sci. Eng.* 31 (2016) 249–271.
3. Jie Wan, Wan Sun, Jian Deng, Liang-ming Pan, Shu-hua Ding (2021) Experimental study on air-water countercurrent flow limitation in a vertical tube based on measurement of film thickness behavior. *Nuclear Engineering and Technology* 53 (6): 1821-1833. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.12.019>
4. P. A. Barabash, A. S. Solomakha, A. I. Gurov, O. A. Panchenko (2020) Regimes of motion of water-air flow in a short vertical tube with the underfeed of phases. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics* 93 (2): 443-451. <http://dx.doi.org/10.1007/s10891-020-02139-y>
5. Benjamin Wu, Mahshid Firouzi, Thomas E. Rufford, Brian Towler (2019) Characteristics of counter-current gas-liquid two-phase flow and its limitations in vertical annuli. *Experimental Thermal and Fluid Science* 109 109899. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2019.109899>
6. S. Ghosh, D.K. Pratihar, B. Maiti, P.K. Das (2012) Identification of flow regimes using conductivity probe signals and neural networks for counter-current gas-liquid two-phase flow. *Chemical Engineering Science* 84 417-436. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ces.2012.08.042>
7. S. Ghosh, D.K. Pratihar, B. Maiti, P.K. Das (2013) Automatic classification of vertical counter-current two-phase flow by capturing hydrodynamic characteristics through objective descriptions. *International Journal of Multiphase Flow* 52 102-120. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2012.12.007>
8. Xue Y, Stewart C, Kelly D, Campbell D, Gormley M. Two-phase annular flow in vertical pipes: a critical review of current research techniques and progress. *Water* 2022;14:3496.
9. R. J. Belt, J. M. C. Van't Westende, and L. M. Portela, "Prediction of the interfacial shear-stress in vertical annular flow," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 35, no. 7, pp. 689–697, 2009, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2008.12.003.
10. G. B. Wallis, "Annular Two-Phase Flow Part 1 : A Simple Theory," no. 25, pp. 59– 72, 1970.
11. M. Ishii and M. A. Grolmes, "Inception Criteria for Droplet Entrainment in Two Phase Concurrent Film Flow," vol. 21, no. (MARCH, 1975), 1975.
12. B. J. Azzopardi, "Drops in annular two- phase flow," *Int. J. Multiphase Flow*, vol. 23, no. 97, pp. 1–53, 1997.
13. I. N. Alves, E. F. Caetano, K. Minami, and O. Shoham, "Modeling Annular Flow Behavior for Gas Wells," 1991.
14. J.-M. le Corre, "Phenomenological model of disturbance waves in annular two-phase flow," *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 151, p. 104057, Jun. 2022, doi:10.1016/j.ijmultiphaseflow.2022.104057
15. P. J. Pritchard, *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*, 8th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
16. Yehuda. Barnea, Dvora; Shoham, Ovadia and Taitel, "Flow Pattern Transition for Vertical Downward Two-Phase Flow," 1982.
17. Bezrodny M., "Гідродинаміка і тепломасообмін в контактних газо-крапельних утилізаторах теплоти." 2017, <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29387>

Solomakha A.S., Strynada P.S. HYDRODYNAMICS FOR ANTI-FLOW FILMS OF LIQUID AND GAS IN A VERTICAL PIPE

The authors of this work are interested in heat and mass transfer in the laminar flow regime of a film in contact heat exchangers with a vertical tube, where there is countercurrent flow of the liquid film to the upward flow of gas. The results of these investigations will be presented in upcoming publications.

This article specifically focuses on the hydrodynamic part of the research. It is necessary to ensure that the obtained results belong to the laminar flow regime of the film. To achieve this, the obtained results were compared with the results of similar studies, and a conclusion was drawn regarding the validity of our data.

Now that we have precisely determined that the research results correspond to the laminar flow regime, we can proceed with the investigation of heat and mass transfer.

The pressure drop was experimentally determined for various air and water flow rates. The experiments were conducted on a transparent pipe with a length of 1.4 m and a diameter of 34 mm.

To ensure accurate measurements, devices for measuring the air and water flow rates were installed at the inlet and outlet of the pipe. The wetting of the pipe surface and the transition between flow regimes were visually controlled through observation and by using a differential manometer. The pressure drop values were determined for each combination of air and water flow rates.

The obtained results were compared with data published by other authors who investigated similar flow regimes. A flow regime map was constructed for the countercurrent flow regime in the vertical pipe. This map illustrates the relationship between pressure drop and air and water flow rates, providing insights into the flow regime under specific conditions.

The additional results obtained expand our understanding of the two-phase flow processes. They reveal characteristics and regularities in two-phase flow regimes that can be valuable for designing new systems and improving existing technologies.

Furthermore, the obtained data can be used for verification and validation of numerical models for two-phase flow. This contributes to enhancing the accuracy and reliability of such models, which is crucial for practical applications.

The research findings can also be applied in the development of optimal control and regulation strategies for two-phase systems. By considering air and water flow rates, more efficient and energy-effective management of flow processes can be achieved.

The data obtained can be particularly useful in the oil and gas industry, where two-phase flows are prevalent. Understanding flow regimes and their characteristics can improve oil and gas extraction, transportation, and processing, reduce energy losses, and enhance overall system efficiency.

Therefore, the results of this study have significant implications for both the scientific community and industrial sectors working with two-phase flows. They open up new opportunities for developing and implementing innovative solutions in these fields, promoting progress and improving technological efficiency.

Key words: liquid, film, tube, air, counterflow, modes.

УДК 665.73

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/24>**Ярошевич М.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Соломаха А.С.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВОДО-ПАЛИВНОЇ ЕМУЛЬСІЇ ДЛЯ ПЕРЕВЕДЕННЯ ПОБУТОВИХ КОТЛІВ НА АЛЬТЕРНАТИВНІ ВИДИ ПАЛИВА

Відомо, що додавання води до крапель палива призводить до швидкого збільшення площі поверхні рідкого палива. Це, в свою чергу, призводить до збільшення швидкості випаровування палива та утворення однорідної пароповітряної суміші палива. Останнє важливо для підвищення ефективності технології згорання, в тому числі тих, що використовуються в камерах згорання побутових котлів. Застосування водо-паливної емульсії у водогрійних котлах як основний вид палива дозволяє зменшити споживання сірчистих мазутів, тим самим захистити навколишнє середовище від викидів оксидів сірки та азоту та скоротити використання традиційного палива. Дослідження показали, що вміст води в емульсії сильно впливає на температуру полум'я, виділення тепла полум'я та ефективність горіння. У статті зазначені основні переваги використання водоемульсійної суміші в якості палива, перераховані способи отримання водо-паливних емульсій, що найвірогідніше можуть бути використані в промисловому виробництві: механічний, ультразвуковий, хімічний, тощо; детальніше розглянуто один з таких методів як пріоритетний для використання в подальшому дослідженні. Описано експериментальний стенд та методику визначення теплопродуктивності водогрійного котла малої потужності. Актуальність теми зумовлена посиленою необхідністю в підвищенні надійності та незалежності енергосистеми України. Переведення котлів малої потужності на альтернативні види палива дозволить впровадити в серійне виробництво лінію побутових котлів на водо-паливній емульсії. В статті зроблено огляд існуючих досліджень щодо впливу складу та дисперсності на процеси горіння суміші в камері згорання та теплопродуктивність паливних пристроїв. Метою дослідження є розробка експериментального стенду та методу розрахунку ефективності котла для різних видів та складу палива.

Ключові слова: водо-паливна емульсія, водогрійний котел, дизельне паливо, дисперсність, мікрровибух, теплопродуктивність, альтернативне паливо.

Постановка проблеми. В умовах російсько-української війни критичне значення для забезпечення функціонування енергосистеми України має незалежність та раціональне використання паливних ресурсів. Це спрямувало дослідницькі програми на впровадження нових методів і методологій, які забезпечують раціональне споживання палива, утримують низькі рівні викидів та зменшують залежність від імпортованих енергоресурсів. Одним із перспективних напрямків вирішення спалювання важких обводнених вуглеводнів є застосування водоемульсійних палив (ВЕП). Водно-дизельні емульсії отримують гомогенізацією дизельного палива з водою для рівномірного розподілу однієї дисперсної фази в іншій безперервній фазі. Експериментальні випробування показали, що використання оптимальних умов

емульсійного палива може ефективно зменшити забруднення дизельного двигуна та покращити якість повітря за рахунок зменшення викидів оксидів азоту (NOx) і твердих частинок (ТЧ) [1]. Стійкість та ефективність горіння такої паливної емульсії значно буде залежати від наявної кількості та дисперсності води у ВЕП.

Водно-дизельна емульсія є доволі перспективним напрямком в галузі енергетики, особливо враховуючи прагнення до зменшення кількості шкідливих для екології викидів. Це потребує додаткових досліджень і експериментів у лабораторії щоб детально знати, яка найкраща оптимізація відсотка води та типу поверхнево-активної речовини. Використання альтернативного палива є обов'язковим, оскільки сьогодні у світі споживається набагато більше викопного палива.

Іншою причиною є проблеми з навколишнім середовищем, оскільки забруднення та зміни клімату загрожують екосистемі землі. І, звісно, загострюється проблема безпеки та працездатності найпотужнішої в Європі Запорізької АЕС, яка покрила потужності виробництва електрики взимку 2022–2023 року.

Хоча технологія водно-дизельної емульсії ще не комерціалізована, вона має потенціал, щоб задовольнити енергетичні потреби різних важливих секторів, наприклад транспорту, генерації теплової та електричної енергії, використовуючи комбіновані паливні ресурси та зменшуючи забруднення.

Сьогодні такі технології емульгування та параметри ВЕП ще недостатньо вивчені, тому мають велике наукове та практичне значення. Проведений аналіз теорії, які описують вплив дисперсності та кількості води у емульсії на показники горіння, показує, що вони є суперечливими [1]. Отримання різних результатів зумовлено різноманітністю початкових характеристик розглянутих речовин: складу, в'язкості, температури та ін. Автори проводили дослідження при різних режимах обладнання, склад палива в кожному окремому випадку відрізнявся [1, 2]. Очевидно, що у кожному випадку буде різна оптимальна «поверхня» співвідношень розмірів крапель води і її кількості у ВЕП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ВЕП – це система, що складається з двох рідких фаз, одна з яких диспергована у вигляді крапель в іншу [1]. Рідина, яка роздроблена на краплі, називається дисперсною фазою, а рідина, у якій знаходяться ці краплі, називається дисперсійним середовищем. Дві рідини, наприклад, мастило (М) та вода (В), можуть утворювати два види емульсії: мастило у воді (М/В) – пряму емульсію, і вода в мастилі (В/М) – зворотну [1]. Найбільше практичне значення мають зворотні емульсії. Тому, в подальшому під терміном «емульсія» чи «паливна емульсія» (ПЕ) матиметься на увазі – зворотна емульсія.

При спалюванні ВПЕ необхідно враховувати як її вид, так і дисперсні характеристики одержуваної емульсії. Автори роботи [3] вважають, що оптимальною є вологість на рівні до 12%, після досягнення якої слід обмежувати кількість води, що диспергується до палива. Під оптимальною вологістю ВПЕ розглядається вологість, що забезпечує мінімальний вихід сажистих частинок [3]. Але ця вологість не завжди є оптимальною з точки зору економічних показників роботи паливного

агрегату. Крім того, у цьому випадку не вдається зменшити вихід інших канцерогенних речовин (NOx, SOx), змінити корозійні властивості димових газів.

Концентрація NOx має максимум в області розмірів дисперсної фази 35...43 мкм (мінімальні концентрації сажистих частинок відповідають максимальному значенню концентрацій NOx), що пояснюється деяким збільшенням температури факела за рахунок інтенсифікації процесу горіння при найбільшому числі мікробухів крапель ВПЕ. При великих розмірах дисперсної фази відбувається зниження температури факела внаслідок баластування зони активного горіння парами води.

Одним із методів зменшення викидів NOx є зниження температури полум'я горіння, що, з іншого боку, призводить до того, що баланс між утворенням сажі та вигоранням схиляється до збільшення викидів твердих частинок.

Однак викиди твердих часток можна зменшити, перешкоджаючи їх утворенню шляхом кращого змішування палива та покращуючи їх окислення шляхом підвищення температури згорання, що призведе до збільшення викидів NOx. Таким чином, потрібен ретельний баланс для досягнення повного згорання при помірній температурі полум'я, якщо обидва (NOx і твердих частинок) мають бути зменшені одночасно. Одним із способів подолання цієї дилеми є заміна чистого дизельного палива водно-дизельними емульсіями як альтернативним паливом.

Водоемульсійне паливо впливає на зміни температури камери згорання та процеси згорання, що, у свою чергу, впливає на зниження обох викидів. У камері згорання відбувається два важливих процеси, а саме зниження температури згорання та явище мікробуху [4].

1. Вода в емульсійному паливі, яке подається в камеру згорання, викликає зниження температури.

Вода має нижчу температуру кипіння, ніж дизельне паливо. В результаті вода в емульсійному паливі поглинає додаткове тепло і знижує температуру [4]. З іншого боку, рівень температур у камері згорання впливає на утворення викидів NOx. Таким чином, водоемульсійне паливо призводить до зниження температури в камері згорання та призводить до зменшення викидів NOx.

2. Явище мікробуху

Мікробух краплі палива, емульгованої часткою води, відбувається через швидке випаровування водної фази, що розбиває краплю емульсії на так звані «вторинні краплі». Суть цього явища полягає в тому, що крапля розпиленої емульсії

складається з частинок палива, всередині яких знаходяться одна або кілька мікрокраплин води. При горінні дизельного палива процес відбувається при тисках, що перевищують критичні тиски всіх вуглеводнів, що входять до складу дизельного палива. [5]. Мікрочастинки води швидше перетворюються на пароподібний стан, ніж паливо, в якому вони знаходяться. У процесі випаровування, коли тиск водяної пари перевищить сили поверхневого натягу плівки палива, станеться руйнування краплі у вигляді вибуху. В результаті цього краплі емульсії дробляться на більш дрібні частинки, що забезпечує краще сумішоутворення (рис. 1).

Окрім цього, мікробибух полегшує процес змішування, що, у свою чергу, зменшує час реакції [6].

Мікробибух є важливим явищем у процесі вторинного розпилення емульсійних палив. Як правило, на це явище впливає летючість основного палива, тип емульсії, вміст води, діаметр диспергованої рідини, розташування диспергованої рідини та умови навколишнього середовища, такі як тиск і температура.

Існує кілька способів отримання водо-дизельної емульсії [7]:

1. Механічний спосіб: цей метод використовує механічну силу для змішування дизельного палива та води з допомогою спеціальних змішувальних пристроїв, таких як міксери. Цей процес може відбуватися в спеціальних контейнерах або прямо в паливному баку транспортного засобу.

2. Ультразвуковий спосіб: ультразвукові пристрої використовуються для створення високочастотних звукових хвиль, які сприяють змішуванню води та дизельного палива. Цей метод є швидким і ефективним, дозволяючи отримати стабільну емульсію з високою якістю змішування.

3. Хімічний спосіб: хімічні домішки, відомі як емульгатори, додаються до дизельного палива та води для поліпшення їх змішування. Емульгатори допомагають знизити поверхневе натягування між водою та паливом, що дозволяє створити стабільну емульсію. Цей метод зазвичай використовується на промислових об'єктах.

4. Утворення емульсії з використанням спеціальних пристроїв: деякі спеціальні пристрої, такі як емульсифікатори і диспергатори, можуть використовуватися для створення водо-дизельної емульсії. Вони створюють високу швидкість змішування між водою та паливом, що сприяє формуванню емульсії з більш стабільними характеристиками.

Одним зі способів отримання водо-дизельної емульсії є кавітація. Кавітація – це фізичний процес, при якому утворюються та руйнуються мікроскопічні газові бульбашки в рідині під дією зміни тиску. Утворення та колапс бульбашок кавітації створюють потужні ударні хвилі, які можуть призвести до змішування та емульгування двох фаз. Процес отримання емульсії кавітацією зазвичай включає такі кроки [11]:

1. Підготовка розчину: розчин, який складається з двох фаз, піддається попередньому змішуванню та приготуванню.

2. Кавітація: спеціальний кавітаційний пристрій, такий як кавітаційний апарат або ультразвуковий кавітаційний генератор, використовується для створення кавітаційних бульбашок у розчині. Зміна тиску та вібрація пристрою призводять до утворення та руйнування бульбашок, що призводить до мікроскопічного змішування фаз.

3. Формування емульсії: в результаті кавітації розчин перетворюється на емульсію, де дві фази розподілені одна в одній у вигляді дрібних крапель або часток.

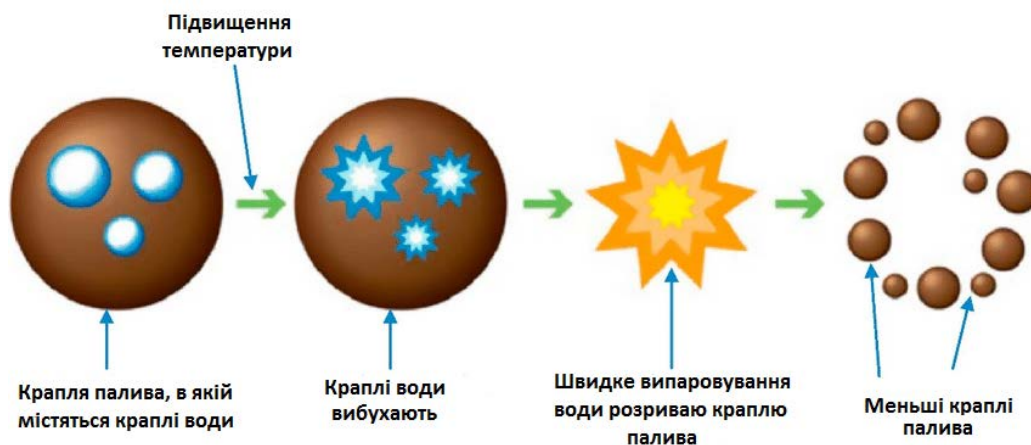


Рис. 1. Процес мікробибуху у водоемульсійному паливі

Важливо враховувати, що процес отримання емульсії кавітацією може вимагати оптимізації параметрів, таких як температура, тиск, частота ультразвуку або інші параметри залежно від конкретних умов та властивостей фаз, які підлягають емульгуванню [7].

Зважаючи на той факт, що емульсія використовується як паливо в дизельних двигунах, рекомендується, щоб вона була стабільною. Це можна реалізувати за допомогою відповідних поверхнево-активних речовин. Поверхнево-активні речовини повинні легко горіти без сажі та без вмісту сірки та азоту. Крім того, вони не повинні впливати на фізико-хімічні властивості палива. Зазвичай кількість поверхнево-активних речовин, що вводиться в процес емульсії, знаходиться в діапазоні 0,5–5% за об'ємом [7].

Вплив поверхнево-активної речовини на характеристики емульсії вода-в-дизелі, що стосується згоряння та викидів, описаний в деяких джерелах [8]. В роботі [9] досліджували емульсію «вода-в-дизелі» зі звичайними поверхнево-активними речовинами (сорбітан-моноолеат) і поверхнево-активними речовинами Gemini для основних викидів забруднюючих речовин. Дослідження були проведені на випробувальному стенді з чотиритактним чотирициліндровим двигуном, і дійшли висновку, що для 15% вмісту води вдається на 71% зменшити викиди твердих частинок із поверхнево-активною речовиною Gemini у дизельному емульсійному паливі [9].

Існує два типи техніки емульгування, а саме двофазна (іноді її називають первинною) і трифазна емульсія (іноді її називають багатофазною або вторинною емульсією), яка включає складні емульсії з більш ніж трьома рідкими інгредієнтами. Двофазна емульсія складається з однієї суцільної фази та рідин з однодисперсною фазою, тоді як трифазна емульсія складається з однієї суцільної фази та двох або більше рідин з дисперсною фазою [10].

Дві рідини повинні бути незмішуваними або взаємно нерозчинними одна в одній. Щоб диспергувати одну рідину в іншу, слід застосувати достатнє перемішування. Може бути присутнім емульгатор (поверхнево-активна речовина) або комбінація емульгаторів. Поверхнево-активні речовини, що використовуються для утворення емульсії вода-в-дизельному паливі, повинні легко горіти без сажі та не містити сірки та азоту, як описано в [8]. Крім того, вони не повинні впливати на фізико-хімічні властивості палива. Поверхнево-активні речовини з сімейства аліфатичних вугле-

воднів є найкращими кандидатами для використання в якості емульгаторів. Зазвичай кількість поверхнево-активних речовин, що використовуються для емульгування, знаходиться в діапазоні 0,5–5% за об'ємом, оскільки збільшення концентрації поверхнево-активної речовини знижує стабільність емульсії.

Постановка завдання. Метою статті є опис методики визначення теплопродуктивності котла при спалюванні водно-дизельної емульсії на створеному експериментальному стенді.

Методика дослідження. Принцип вимірювання наочніше показати на схемі підключення котла для теплотехнічного випробування на рисунку 2. Вимірювання та обробки дослідних величин буде проведено на базі ДСТУ 3948-2000 [12].

На схемі наведено:

- систему відведення тепла, яке генерує котел;

- систему відведення продуктів згоряння від котла.

Система відведення тепла, яке генерує котел, складається з циркуляційного насоса, теплообмінника, з'єднувальних трубопроводів, обладнаних запірною-регулювальною арматурою, та засобу для вимірювання витрат води через водяну порожнину котла.

Теплообмінник, призначений для охолодження води, нагрітої в котлі, може бути поверхневого або змішувального типу. На рисунку 1 показано теплообмінник поверхневого типу.

Схема відведення продуктів згоряння від котла складається з димососа, газоходів, обладнаних дросельною затулкою для регулювання розрідження за котлом.

Вимірювання розрідження за котлом, температури продуктів згоряння, що відводяться від котла, а також відбирання проб цих продуктів для аналізу здійснюють на ділянці газоходу, призначеній для вимірювання і наведеній на рисунку 2. Газохід повинен мати поперечний перетин, що відповідає приєднувальному патрубку котла [12].

В котел подається паливо з початковими параметрами та складом. Температура всередині котла вимірюється поверхневою термопарою в комплексі з автоматичним потенціометром (7 та 11). Температура та склад продуктів згоряння вимірюються на прямій ділянці газоходу газоаналізатором 8 та термопарою 9.

Система відведення тепла, яке генерує котел, складається з циркуляційного насоса 4, теплообмінника 3 (в нашому випадку поверхневого типу), з'єднувальних трубопроводів, обладнаних

запірно-регулювальною арматурою 5, та засобу для вимірювання витрат води 2 через водяну порожнину котла. Температура води на вході на та виході з котла вимірюється термометрами 6.

Випробування проводимуться при вмісті води у ВЕП від 0% до 70% за ДСТУ 3948-2000 за наступною методикою.

Випробування виконують за номінальної теплопродуктивності котла та оптимальних значень розведення продуктів згоряння і розрідження за котлом. Їх визначають під час налагоджувального випробування і встановлюють відповідними органами керування паликових пристроїв та дросельної затулки в системі відведення продуктів згоряння. Витрати рідкого палива під час випробування визначають з проміжком не більше 15 хв. Тривалість випробування котла в стаціонарному режимі повинна бути не менше 2 год [12].

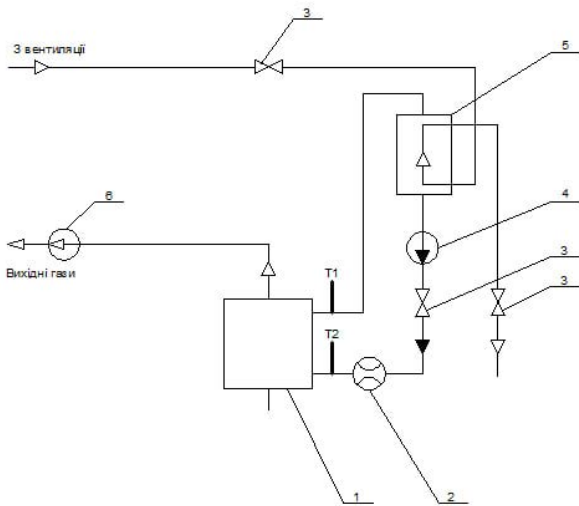


Рис. 2. Схеми підключення котла для теплотехнічного випробування: 1 – котел; 2 – засіб вимірювання витрат палива; 3 – крани; 4 – циркуляційний насос; 5 – теплообмінник «повітря-вода»; 6 – термометр

Після досягнення стаціонарного режиму роботи водонагрівача через проміжки часу, що не перевищують 15 хв, здійснюють вимірювання витрат води через водонагрівач і температур води на вході у водонагрівач і на виході з нього. Три-

валість випробування водонагрівача в стаціонарному режимі повинна бути не менше 1 год [12].

Опрацювання результатів вимірювань. Для дослідження планується обчислити теплопродуктивність котла для кожного складу з відсотковим вмістом води в емульгованому паливі від 0 до 70%, вивести математичну залежність та визначити оптимальні робочі параметри з огляду на техніко-економічні показники.

Номінальна теплопродуктивність котла O_k , в кіловатах, для котлів на рідкому паливі, дорівнює:

$$B = \log_e I - \log_e a \quad (1)$$

де O_k – складник теплопродуктивності котла, обумовлений відведенням тепла водою, кВт, і визначається за формулою:

$$\ln(I / a) \quad (2)$$

де G_w – витрати води через котел, кг/год;
 t_g – температура води на виході з котла, °C;
 t_x – температура води на вході в котел, °C.

Обчислення витрат палива

Витрати рідкого палива B , у кілограмах, обчислюють за формулою:

$$B_{\max} = \frac{\ln(I_{\max} / a)}{\ln(s)}, \quad (3)$$

де M – маса рідкого палива, спаленого в котлі за час випробування, кг;

t_3 – тривалість випробування, год.

Висновки. В роботі виконано аналіз наявних літературних джерел щодо використання водопаливної емульсії «вода-дизель», який показав перспективність використання подібного палива для України. Перспективним варіантом приготування палива є підготовка емульсії за допомогою кавітаційної обробки з подальшою стабілізацією емульсії поверхнево активною речовиною. На основі отриманих даних було зроблено принципову схему для дослідження процесу спалювання палива в стандартному котлі з можливістю вимірювання основних параметрів роботи установки, а саме температур, витрат, складу продуктів згоряння та ін. Розроблено методику для обрахунку основних характеристик апарату. В наступних статтях планується надати результати експериментальних досліджень отриманих, на описаному стенді.

Список літератури:

1. Мельник В. О. Аналіз складу та дисперсності паливних емульсій. *Нафтогазова енергетика*. 2020. (1(33)), 124–131.
2. El shenawy, E. A., et al. Investigation and performance analysis of water-diesel emulsion for improvement of performance and emission characteristics of partially premixed charge compression ignition (PPCCI) diesel engines. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2019, 36: 100546.
3. Саха, Д.; Синха, А.; Синха, А.; Рой, Б.; Мішра, Л. Вплив водно-дизельної емульгації на продуктивність і характеристики викидів CI Engine: огляд; Конспект лекцій з машинобудування; Springer: Cham, Швейцарія, 2022; частина F1; С. 95–107.

4. Wang, Z.; Cao, J.; Yuan, B.; Wang, Y.; Cheng, X. Effect of ambient temperature on the evaporation characteristics of water-in-oil emulsified diesel droplets. *K. Cheng Je Wu Li Hsueh Pao/J. Eng. Thermophys.* 2022, 43, 2256–2266.
5. Kadota, T.; Yamasaki, H. Recent Advances in the Combustion of Water Fuel Emulsion. *Prog. Energy Combust. Sci.* 2002, 28, 385–404.
6. Ballester J, Dopazo C, Vidal P, Ojeda L. Large-scale laboratory experiments on pollutant emissions in heavy oil combustion, vol. 2. Gordon and Breach; 1995.
7. A. Sartomo, B. Santoso, Ubaidillah, O. Muraza, “Recent progress on mixing technology for water-emulsion fuel: A review”, *Energy Conversion and Management*, vol. 213, 2020, 112817.
8. Hamdan, M. O., Selim M., Al-Omari S.A., Elnajjar E., Ghannam M., “Effect of Stabilized Water-Diesel Emulsions on External Combustion Characteristics”, Paper No. HT2013-17027, ASME 2013 Summer Heat Transfer Conference, July 14-19, 2013, Minneapolis, Minnesota, USA. doi:10.1115/HT2013-17027
9. M. Nadeem, C. Rangkuti, K. Anuar, M. R. U. Haq, I. B. Tan, and S. S. Shah, “Diesel engine performance and emission evaluation using emulsified fuels stabilized by conventional and gemini surfactants,” *Fuel*, vol. 85, no. 14-15, pp. 2111–2119, 2006.
10. G. Chen and D. Tao, “An experimental study of stability of oil-water emulsion,” *Fuel Processing Technology*, vol. 86, no. 5, pp. 499–508, 2005.
11. Яо К., Чжао С., Лю Л., Лю З. та Чен Г. (2022). Ультразвукова емульгація: основні характеристики, кавітація, механізм, пристрої та застосування. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 16 (11), 1560-1583.
12. ДСТУ 3948-2000 «Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Методи випробування і контролю теплотехнічних показників».

Yaroshevych M.V., Solomakha A.S. PECULIARITIES OF USING WATER-FUEL EMULSION FOR CONVERTING HOUSEHOLD BOILERS TO ALTERNATIVE TYPES OF FUEL

It is known that adding water to fuel droplets leads to a rapid increase in the surface area of the liquid fuel. This, in turn, leads to an increase in the rate of fuel evaporation and the formation of a homogeneous vapor-air mixture of fuel. The latter is important for increasing the efficiency of combustion technologies, including those used in the combustion chambers of household boilers. The use of water-fuel emulsion in water-heating boilers as the main type of fuel allows to reduce the consumption of sulfur fuel oils, thereby protecting the environment from emissions of sulfur and nitrogen oxides and reducing the use of traditional fuels. Studies have shown that the water content of an emulsion strongly affects flame temperature, flame heat release, and combustion efficiency. The article indicates the main advantages of using a water-emulsion mixture as fuel, lists the methods of obtaining water-fuel emulsions that can most likely be used in industrial production: mechanical, ultrasonic, chemical, etc.; one of such methods is considered in more detail as a priority for use in further research. The experimental stand and the method of determining the heat output of a small-capacity water heating boiler are described. The relevance of the topic is due to the increased need to increase the reliability and independence of the energy system of Ukraine. The conversion of low-power boilers to alternative types of fuel will make it possible to introduce a line of household water-fuel emulsion boilers into serial production. The article provides an overview of existing research on the influence of composition and dispersion on the combustion processes of the mixture in the combustion chamber and the thermal efficiency of fuel devices. The purpose of the study is to develop an experimental stand and a method of calculating boiler efficiency for different types and composition of fuel.

Key words: water-fuel emulsion, water heating boiler, diesel fuel, dispersity, microexplosion, thermal productivity, alternative fuel.

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 674.048.3, 674.048.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/25>**Андріянова М.В.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Головенко В.О.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Лінькова О.В.

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

РОЗРОБКА СКЛАДУ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ СОЛЕЙ ПОЛІГЕКСАМЕТИЛЕНГУАНІДИНУ ДЛЯ ЗАХИСТУ ДЕРЕВИНИ ВІД ДІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ

Розвиток сучасної промисловості спрямований на екобудівництво, що дозволяє поєднувати використання сучасних будівельних матеріалів та деревини. Стабільний попит на деревину досить великий, незважаючи на її низьку біостабільність в жорстких атмосферних умовах (змінна температура, вологість та інше). Для підвищення біологічної стабільності деревини застосовуються різні методи і у тому числі просочення біоцидними розчинами та нанесення лакофарбових покриттів. Більшість методів захисту деревини наносять значну шкоду навколишньому середовищу, і серед них найбільша небезпека є від застосування різних речовин, що є токсичними не лише для мікроорганізмів, що пошкоджують деревину, але й по відношенню до людини та тварин. В останні роки спостерігається стабільна тенденція до підвищення вимог щодо екологічної безпеки біоцидних засобів для деревини та продукції з неї. Тому розробка та дослідження безпечних біоцидних речовин та створення на їх основі лакофарбових матеріалів є актуальним напрямком. В роботі обґрунтовано актуальність створення складів лакофарбових матеріалів з використанням солей полігексаметиленгуанідину для захисту деревини від дії мікроорганізмів. На основі аналізу практики розроблення біоцидних речовин визначено перспективність додавання до водних дисперсій солей полігексаметиленгуанідину для покращення їх стійкості до мікробіологічного зараження. З'ясовано, що позитивний досвід від використання солей полігексаметиленгуанідину в складах водних дисперсій дозволяє використати їх і під час розроблення складів лакофарбових матеріалів, а саме біоцидних просочуючих розчинів для деревини та покриття на їх основі. Експериментальними дослідженнями за стандартними методиками показано, що додавання полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ-ГХ) та гідрофосфату (ПГМГ-Ф) у кількості 1,5–2% (мас.) дозволяє повністю відновити заражені водні дисперсії, продовжити термін їх зберігання та подальше використання. На основі полівінілацетатної дисперсії розроблено біоцидний просочуючий розчин для деревини кольору махагон, яка містить 1,5–2 мас.% ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф.

Ключові слова: деревина, біоцид, полігексаметиленгуанідин, водна дисперсія, лакофарбовий матеріал

Постановка проблеми в загальному вигляді. В сучасних умовах, зважаючи на господарську діяльність більшості країн світу направлену на збереження навколишнього середовища актуальним є екобудівництво, що ґрунтується на поєднанні сучасних будівельних матеріалів та ефективного використанні деревини. Однак слід враховувати, що експлуатація дерев'яних конструкцій, особливо у різних атмосферних умовах, призводить до їх руйнування під дією

вологи, сонячного світла, мікроорганізмів та інших несприятливих умов. В результаті чого деревина втрачає міцність, розтріскується, вкривається плямами, піддається гниттю та втрачає свої декоративні та конструкційні властивості. Для захисту виробів з деревини від руйнування та продовження строку їх служби, використовують різні методи, серед яких найбільш розповсюдженим є просочення біоцидними розчинами та нанесення лакофарбових покриттів [1].

Зважаючи на більш жорсткі вимоги з охорони навколишнього середовища, головна вимога, що пред'являється до усіх біоцидів – це відсутність у їх складі ртуті, фенолу, формальдегіду, метало-органічних сполук. Крім того, вони повинні бути безколірними, нелеткими, низько токсичними, сумісними з іншими компонентами та економічними [2].

На теперішній час, незважаючи на широкий асортимент сировини, не існує універсального біоциду, адже більшість антисептичних засобів захищають від дії грибів та водоростей, але не стійкі до біоруйнувань, і навпаки. Як правило, оптимальний захист досягається при концентрації біоциду достатній для знезараження деревини або лакофарбового покриття, а також для попередження вторинного зараження та повільного його вимивання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останній час комплексна обробка деревини за допомогою хімічних сполук стає все більш обмеженою у застосуванні через виражену токсичність і шкідливий вплив на навколишнє середовище. Адже область застосування дерев'яних конструкцій представляє собою дуже активну сферу досліджень і розробок, зумовлену необхідністю виробляти високоякісні матеріали, що здатні відповідати конкурентним викликам, а також різним екологічним нормам і обмеженням. На ці критичні вимоги відповідає перехід від лакофарбових покриттів на основі розчинників або без розчинників до покриттів на водній основі, від синтетичних продуктів до натуральних або навіть сумішей.

Традиційно захист деревини від грибків, плісняви, цвілі або комах ефективно забезпечувався просоченням різними речовинами, що мають спрямовану дію на різні біологічні агенти. А саме, фунгіциди, що захищають від грибів та інших мікробіологічних організмів, інсектициди, що захищають від комах та ін. Комплексним захистом для деревини вважається використання біоцидів, що відповідно до сучасних вимог повинні мати високу захисну здатність від дії руйнівних та фарбуючих грибів, мікроорганізмів та ін.; легкість проникнення у структуру деревини без зміни фізико-механічних властивостей останньої; підвищену атмосферостійкість; стабільність щодо тривалого зберігання та в процесі використання та інше [1–4].

Введення Директиви ЄП та Ради ЄС 98/8/ЄС та низки інших супровідних законодавчих актів Євросоюзу зробило більш суворий підбір складових компонентів біоцидів, й взагалі обмежило

застосування миш'яковмісних засобів, а також ртуті, фтору, пентахлорфенолу і його солей та ін. Для інших дозволених промислових біоцидів також введені жорсткі екологічні вимоги щодо відсутності канцерогенної та мутагенної дії.

Серед препаратів, які максимально відповідають вищезгаданому вимогам щодо біоцидних засобів, цікавими є полімерні сполуки гуанідину або поліалкіленгуанідини (ПАГ). Ця група біоцидів за низкою параметрів суттєво відрізняється від традиційних препаратів, які виготовляють на основі четвертинних амонієвих сполук, альдегідів, похідних фенолу, хлорактивних сполук та ін.

Власне полігексаметиленгуанідин гідрохлорид представляє собою полікатіонний електроліт, що має унікальний комплекс фізико-хімічних та біоцидних властивостей, завдяки яким галузі застосування його доволі широкі у різних сферах життєдіяльності людини. Полігексаметиленгуанідин гідрохлорид не має кольору та запаху, пожегобезпечний, вибухобезпечний, повністю розчинний як у воді так і у спирті, не втрачає своїх властивостей при низьких температурах, не розкладається та зберігає свої фізико-хімічні та біоцидні властивості до температури +120°C [5–7].

Тож підсумовуючі можна сказати, що технологічні аспекти розширення асортименту та / або заміна біоцидних препаратів імпортного виробництва на препарати вітчизняного виробництва для захисту деревини та дерев'яних будівельних конструкцій від дії мікроорганізмів (гриби, комахи, лищайники тощо) є актуальною проблемою, якій присвячено праці вітчизняних та зарубіжних вчених [1–4]. Проте, залишаються невирішеними окремі сторони цієї проблеми і виникають нові виклики.

Метою роботи є наукове обґрунтування, оптимізація складу та вивчення властивостей біоцидних препаратів стійких до мікробіологічного зараження, та створення на їх основі лакофарбових матеріалів для захисту деревини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дослідження проводили з використанням полігексаметиленгуанідин гідрохлориду (ПГМГ-ГХ) та полігексаметиленгуанідин гідрофосфату (ПГМГ-Ф), що одержували за методикою, вказаною у роботі [5].

Для порівняння мікробіологічної дії та сумісності з біоцидами використовували стирол-акрилову дисперсію та полівінілацетатну дисперсію.

Порівняння мікробіологічної дії здійснювали з промисловими біоцидами виробництва США та Німеччина.

Роботу проводили у 3 етапи:

– дослідження антисептичної дії водних розчинів полімерів щодо бактеріальної, грибної мікрофлори та дії дріжджових мікроорганізмів;

– дослідження властивостей водних розчинів ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф як біоцидних компонентів водних дисперсій;

– розробка лакофарбового матеріалу з підвищеною стійкістю до мікробіологічного зараження.

Для досліджень брали ПГМГ-ГХ в трьох концентраціях 1, 3, 7% (мас.). Готували два варіанти поживних середовищ: для вирощування бактеріальної мікрофлори без глюкози та грибної мікрофлори з додаванням 3% глюкози. На поверхню стерильних поживних середовищ в стерильних умовах робили відбитки дерев'яними (сосновими) зразками. Після чого чашки помістили в термостат для вирощування бактеріальної мікрофлори при температурі 36 °С, грибної – 28–29 °С протягом 3–7 діб. В якості контролю були зразки без обробки біоцидами.

Після цього здійснювали додаткове дослідження по встановленню антифунгіцидної дії водних розчинів ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф. Для цього на фільтрувальний папір, поміщений у чашки Петрі наносили однакові кількості попередньо зараженої стирол-акрилової дисперсії. Після цього у чашки Петрі поміщали зразки деревини, що були просочені водними розчинами ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф в трьох концентраціях 1, 3, 7% (мас.). Дослідження проводили при температурі $28 \pm 0,1$ °С та відносній вологості більше 90%. Тривалість досліджень з моменту встановлення режиму – 1 місяць з проміжною оцінкою через кожні 7 діб. Відтворюваність результатів оцінювали за п'яти дослідженнями.

Для досліджень властивостей ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф в якості біоцидного компоненту для водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів було обрано стирол-акрилову дисперсію, яка вже попередньо була заражена мікроорганізмами, що підтверджувалося наявністю різкого запаху

в даній дисперсії та грибків. Обраний біоцидний компонент ПГМГ-ГХ або ПГМГ-Ф (конц. 1%) у кількості від 0,5 мас.% до 2% (мас.) додавали у дисперсію та визначали вплив даного компонента на мікроорганізми у присутності індикатора. Штучне старіння здійснювали при 60 °С та через кожні сім днів спостерігали за зміною забарвлення дисперсії протягом 28 діб.

Особливістю ПГМГ є те, що за комплексом токсикологічних, мікробіологічних та санітарно-технологічних властивостей він відноситься до малотоксичних речовин IV класу; не характеризується алергенною дією та не накопичується в організмі людини [7].

Дослідження антисептичної дії водних розчинів ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф щодо бактеріальної, грибної мікрофлори та дії дріжджових мікроорганізмів показали, що при обробці зразків виявлена наступна закономірність, представлена у табл. 1.

Як видно з результатів, представлених в табл. 1 кількість бактеріальної мікрофлори зі збільшенням концентрації ПГМГ-ГХ знижується, що свідчить про ефективну біоцидну дію.

Щодо грибної мікрофлори вже при використанні 1%-вого водного розчину ПГМГ-ГХ кількість колоній мікроорганізму *p. Aspergillus* та колоній *p. Penicillium* знижується в два рази. А для зразка деревини, просоченого 3%-вим розчином ПГМГ-ГХ вже спостерігається повна відсутність грибної мікрофлори (цвілеві гриби). Аналогічно проявляється антифунгіцидна дія щодо виявлених дріжджових мікроорганізмів *p. Candida*, *p. Saccho-Romyses*. Результати досліджень представлені у табл. 2.

Встановлено, що чисті зразки деревини, що не містять біоцидні компоненти практично повністю вкриті міцелієм. На зразках, що просочені 1%-вим розчином ПГМГ, спостерігається незначне зараження міцелієм. При цьому наявна ярко виражена зона відсутності зростання міцелію. Зразки деревини, просочені вже 3%-вим розчином ПГМГ, повністю чистий від міцелію.

Таблиця 1

Вплив концентрації водного розчину ПГМГ-ГХ на бактеріальну та грибну мікрофлору

Концентрація водного розчину ПГМГ-ГХ, %	Кількість колоній мікрофлори			
	бактеріальної	грибної (цвілеві гриби)		інші дріжджові мікроорганізми
		<i>p. Aspergillus</i>	<i>p. Penicillium</i>	
Чистий необроблений зразок	120	4	2	наявні
1	90	2	1	наявні
3	58	відсутні		відсутні
7	35	відсутні		відсутні

Таблиця 2

Вплив концентрації водного розчину ПГМГ на антифунгіцидну дію

Концентрація водного розчину полімеру (мас.), %	А, бал зараження зразків	
	ПГМГ-ГХ	ПГМГ-Ф
1	2	2
3	0	0
7	0	0
Чистий зразок без біоцидного компонента	5	

Примітка: 0 – відсутнє зростання міцелію, 1 – невеликі сліди зростання міцелію, 2 – (1–10)% площі зразка заражене міцелієм; 3 – (10–30)% площі зразка заражене міцелієм; 4 – (30–70)% площі зразка заражене міцелієм; 5 – більше 70% площі зразка заражене міцелієм.

Відомо, що ефективний захист деревини від руйнувань при експлуатації в атмосферних умовах досягається не лише при оптимальному виборі біоциду, але й при виборі латексів, з яких найбільше розповсюдження отримали акрилатний, стирол-акрилатний, поліуретановий та ін. Зважаючи на це, для початкових дослідження властивостей полігексаметиленгуанідин-фосфату в якості біоцидного компонента для водно-дисперсійних лакофарбових матеріалів було обрано стирол-акрилову дисперсію, яка вже попередньо була заражена мікроорганізмами, що підтверджувалося наявністю різкого запаху в даній дисперсії та грибків.

За результатами здійснених досліджень (рис. 1а та 1б, криві 1) встановлено, що всі зразки з ПГМГ-ГХ, ПГМГ-Ф характеризуються високим біоцидним захистом.

Однак після штучного старіння (рис. 1а, крива 2) ефективність біоцидного захисту ПГМГ-ГХ

суттєво зменшується, що пов'язано з блокуванням гуанідинової групи карбоксильною, що входить до складу стирол-акрилової дисперсії [6].

Для ПГМГ-Ф спостерігається інша залежність (рис. 1б, рис. 2) – бал зараження зі збільшенням концентрації біоцидного компонента знижується від 5 до 1.5. Згідно чого можливо стверджувати, що використання даного біоцидного компонента повністю знезаражує стирол-акрилову дисперсію та відновлює її.

При цьому встановлено, що вже при додаванні біоцидів у концентрації більше 1% (мас.) стирол-акрилова дисперсія руйнується. Це пов'язано з тим, що ПГМГ є катіонним поліелектролітом, в той час як стирол-акрилова дисперсія – аніонним поліелектролітом, тобто при збільшенні концентрації ПГМГ-ГХ відбувається міжмолекулярна взаємодія, при цьому гуанідинові групи вступають у взаємодію та втрачають свої бактеріцидні властивості [6].

З метою розробки лакофарбового матеріалу з підвищеною стійкістю до мікробіологічного зараження та зважаючи на отримані результати, була досліджена сумісність ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф з рядом промислових найбільш розповсюджених дисперсій, а саме стирол-акрилова, поліуретанова та полівінілацетатна.

Показано, що ПГМГ як поліелектроліт катіонного характеру може використовуватись для дисперсій катіонного типу, аніонні дисперсії він руйнує. Тому для подальших досліджень була обрана катіонна полівінілацетатна дисперсія (ПВА), на основі якої готували біоцидний просочувальний розчин, властивості якого представлені у таблиці 3.

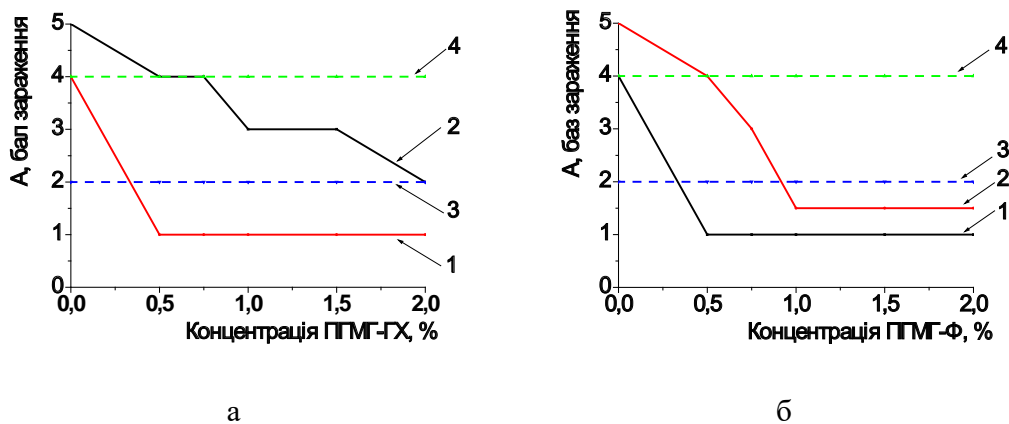


Рис. 1. Залежність впливу концентрації ПГМГ-ГХ (а) та ПГМГ-Ф (б) на мікробіологічну стійкість дисперсії: 1 – до штучного старіння; 2 – після штучного старіння; 3 – біоцид на основі оксазолідину після штучного старіння; 4 – біоцид на основі триазолів після штучного старіння

Таблиця 3

Властивості лакофарбового матеріалу для деревини кольору махагон та покриття на його основі

Найменування показника	Значення
Зовнішній вигляд плівки покриття	Плівка покриття однорідна, гладка без зморщування та оспінення
Умовна в'язкість за в'язкозиметром ВЗ-246 з діаметром сопла 4 мм (ВЗ-4) при 20 °С, с: – ПГМГ-ГХ – ПГМГ-Ф	10,5 10,6
Масова частка нелетких речовин, %: – ПГМГ-ГХ – ПГМГ-Ф	12,9 13,0
Глибина проникнення просочуючого розчину в деревину, мм: – ПГМГ-ГХ – ПГМГ-Ф	1,4 1,2

Встановлено, що отриманий лакофарбовий матеріал відповідає вимогам та його можна рекомендувати у якості біоцидного просочуючого розчину.

Для забезпечення зручності при нанесенні даного лакофарбового матеріалу до його складу було додано водорозчинний фарбник, який надає поверхні колір махаон. Використання кольоро-

вого біоцидного просочувального розчину для деревини завдяки своїм властивостям зберігає та підкреслює природну структуру дерева.

Використання ПВА дисперсії як плівкоутворюючого компоненту дозволяє рекомендувати розроблений біоцидний просочуючий розчин для фарбування, просочування та захисту дерев'яних поверхонь внутрішніх приміщень, а також для декоративного фарбування меблів та ін..

Висновки і пропозиції. В результаті проведеної роботи встановлено, що:

– водні розчини ПГМГ (мін. конц. 1%) проявляють високу антисептичну та антифунгіцидну дію;

– додавання ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф у кількості 1,5–2% (мас.) дозволяє відновити заражену стирол-акрилову дисперсію, продовжити їх термін зберігання та подальше використання;

– водні розчини ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф можна рекомендувати у якості біоцидного компоненту лакофарбових матеріалів як плівкового так і тарного призначення.

Розроблено лакофарбовий матеріал, що рекомендується як біоцидний просочуючий розчин для деревини, яка містить 1,5–2 мас.% ПГМГ-ГХ та ПГМГ-Ф.

Таким чином, проведені дослідження дають можливість вважати, що використання ПГМГ забезпечує високу стійкість до мікробіологічного зараження.

Список літератури:

1. Пінчевська О.О., Горбачова О.Ю. Захисне оброблення дерев'яних конструкцій. К.: 2013. 191 с.
2. Teaca C.-A., Roşu D., Mustaţă F., Rusu T., Roşu L., Roşca I., Varganici C. D. Natural bio-based products for wood coating and protection against degradation: A Review. *BioRes.* 2019. № 14(2). P. 4873-4901.
3. Перебинос А.Р., Кривомаз Т.І. Фунгіциди в практиці захисту дерев'яних будівельних конструкцій від мікропошкоджень. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки.* 2018. № 1(20). С. 151-155.
4. Schultz T.P., Nicholas D.D., McIntyre C.R. Recent patents and developments in biocidal wood protection systems for exterior applications. *Recent patents on materials science.* 2008, № 1, p. 128-134.
5. Янова К.В. Синтез та вивчення властивостей поліаміногуанідинів / Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Дніпропетровськ. 2003. 19 с.
6. Жартовський С.В., Магльована Т.В., Нижник Т.Ю., Жартовський С.В. Екологічні аспекти використання гуанідинових полімерів в умовах надзвичайних ситуацій. Черкаси: 2017. 210 с.
7. Малецький М.М. Антисептичні засоби на основі похідних гуанідину та методи їх стандартизації. *Фармацевтичний часопис.* 2007. № 1. С. 66-69.

Andriianova M.V., Holovenko V.O., Lin'kova O.V. DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF PAINT MATERIALS USING POLYHEXAMETHYLENEGUANIDINE SALTS FOR WOOD PROTECTION AGAINST THE ACTION OF MICROORGANISMS

The development of modern industry is aimed at eco-building, which allows combining the use of modern building materials and wood. The stable demand for wood is quite large, despite its low biostability in harsh atmospheric conditions (variable temperature, humidity, etc.). To increase the biological stability of wood, various methods are used, including impregnation with biocidal solutions and application of paint coatings. Most methods of wood protection cause significant damage to the environment, and among them the greatest danger is from the use of various substances that are toxic not only to wood-damaging microorganisms, but

also to humans and animals. In recent years, there has been a steady tendency to increase the requirements for the environmental safety of biocides for wood and its products. Therefore, the development and research of safe biocidal substances and the creation of paint and varnish materials based on them is an urgent direction. The work substantiates the relevance of creating compositions of paint and varnish materials using polyhexamethyleneguanidine salts to protect wood from the action of microorganisms. Based on the analysis of the practice of developing biocidal substances, the perspective of adding polyhexamethyleneguanidine salts to aqueous dispersions to improve their resistance to microbiological contamination was determined. It has been found that the positive experience from the use of polyhexamethyleneguanidine salts in the composition of aqueous dispersions allows you to use them during the development of compositions of paint and varnish materials, namely, biocidal impregnating solutions for wood and coatings based on them. Experimental studies using standard methods have shown that the addition of polyhexamethyleneguanidine hydrochloride (PGMG-HC) and hydrogen phosphate (PGMG-F) in the amount of 1.5–2% (wt.) allows you to completely restore contaminated aqueous dispersions, extend their shelf life and further use. Based on polyvinyl acetate dispersion, a biocidal impregnation solution for mahogany-colored wood was developed, which contains 1.5–2 wt.% PGMG-HC and PGMG-F.

Key words: wood, biocide, polyhexamethyleneguanidine, water dispersion, paint material.

УДК 662.756.3+547.915

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/26>**Бондаренко С.Г.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Василькевич О.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Абрамова А.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ОТРИМАННЯ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА З ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛІЙ

У статті розглянуто ефективний та практичний підхід до використання відпрацьованих олій у процесі виробництва біопалива. Показано, що потрапляння відпрацьованої забрудненої олії до навколишнього середовища завдає великої шкоди довкіллю і негативно впливає на здоров'я людей. Проведений аналіз літературних джерел щодо існуючих технологій отримання біодизельного палива показав суперечливий характер ряду досліджень. Метою цього дослідження є вивчення переестерифікації відпрацьованої олії для визначення технологічних режимів процесу і модифікації технології отримання біодизеля. Для вивчення особливостей взаємодії реакції переестерифікації відпрацьованої олії метиловим спиртом використана лабораторна установка з можливістю термостатування реакційної суміші. Для аналізу впливу параметрів процесу переестерифікації були досліджені вплив температури реакційної суміші та концентрації каталізатора на вихід метилових естерів в кінцевому продукті. У дослідженні показано, що збільшення концентрації каталізатора та часу проведення реакції підвищує вихід цільового продукту. При цьому температура проведення процесу переестерифікації не суттєво впливає на вихід кінцевого продукту. Встановлено, що при використанні відпрацьованої олії сировина потребує доочищення, а наявність в олії вільних жирних кислот, призводить до появи додаткової реакції. Запропоновано схему виробничого процесу, враховуючи фактори, що впливають на вихід біодизеля: відношення олії та спирту, кількість каталізатора, температура, тривалість реакції. Встановлено, що визначений загальний вихід метилових естерів із відпрацьованих олій у порівнянні з виходом продукту при застосуванні в якості вихідної сировини тригліцеридів, з яких складається чиста олія, дозволить правильно вести розрахунки і проводити налаштування технологічної схеми виробництва біодизеля із відпрацьованих олій. На основі отриманих результатів експерименту і їх аналізу запропоновано корегування технологічної схеми для отримання біодизеля, що забезпечить достатньо високий вихід кінцевого продукту.

Ключові слова: біодизельне паливо, відпрацьована олія, каталізатор, технологія переестерифікації, метиловий естер.

Постановка проблеми. Збільшення кількості відпрацьованої олії від закладів громадського харчування є нагальною проблемою не тільки в Україні, а й у всьому світі. Викидання забрудненої олії призводить до проблем забруднення навколишнього середовища, а зокрема і стічних вод. Використання олій, що були піддані багаторазовому нагріванню, стає потенційною причиною проблем для здоров'я людини. Однак такі відходи мають істотний потенціал як поновлюване джерело енергії. Головною метою всієї діяльності при вирішенні проблеми відходів є максимальне скорочення їх потрапляння на полігони та у стічні

води із попутною утилізацією енергетичного потенціалу цих відходів. Відоме застосування відпрацьованих олій при виробництві мила, термічному крекінгу або виробництві біопалива [1]. Тому напрямок розроблення та вдосконалення технології отримання біодизельного палива з відпрацьованих олій є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В основі процесу виробництва біодизеля лежить трансестерифікація вихідної сировини – олій та жирів. Перебіг реакції одержання метилових естерів жирних кислот з олії схематично зображено на рис. 1.

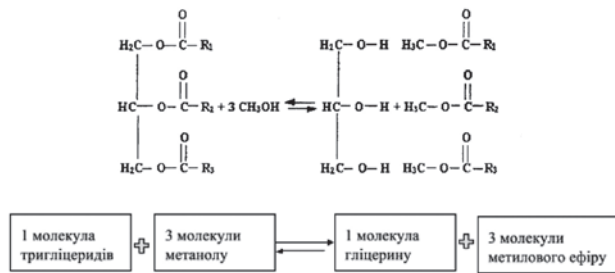


Рис. 1. Отримання метилового ефіру жирної кислоти олій: R_1, R_2, R_3 – залишки жирної кислоти

В результаті реакції утворюються суміш естерів і гліцерин. Дана реакція проходить ступінчасто з отриманням моно і дигліцеридів як проміжних продуктів. Реакція проходить в присутності катализатора.

Отриманий в результаті трансестерифікації відпрацьованої олії продукт є поновлювальним енергетичним ресурсом, що значно зменшує екологічне навантаження на навколишнє середовище і призводить до економії ресурсів, що не поновлюються [2–7]. Важливою перевагою палив на основі олій є більш висока екологічність як під час виробництва, так і при застосуванні, і зокрема той факт, що біодизельне паливо біологічно розкладається за 21–28 днів на 99%.

При використанні відпрацьованої олії при отриманні біодизеля вихід метилових естерів може відрізнитись від їх виходу при застосуванні свіжої олії в якості вихідної сировини. Багаторазове нагрівання, присутність інших речовин при кипінні олії можуть суттєво змінити її властивості. Ця обставина вимагає проведення додаткових експериментальних досліджень реакції переестерифікації при використанні в якості вихідної сировини відпрацьованої олії.

У виробництві біодизеля в якості катализаторів використовують такі речовини: сульфатна або інші сильні кислоти, гідроксид натрію або калію, метилат калію. Огляд різних методів виробництва біодизеля при використанні різних спиртів і катализаторів наведений в роботах [2, 3, 8, 9].

Використання лужного катализатора має переваги над кислотним завдяки більшій швидкості перебігу реакції (приблизно 30 хвилин порівняно з 1–8 годинами для кислотного катализатора). При цьому вихід кінцевого продукту однаковий і становить приблизно 90% в обох випадках [9]. Для олій з високим вмістом вільних жирних кислот рекомендують попередню обробку, яка полягає в проведенні реакції естерифікації з використанням кислотного катализатора з метою перетворення вільних жирних кислот (ВЖК) у відповідні естери. Завдяки такому

підходу, досягають досить високі показники виходу продукту навіть при високому початковому процентному вмісті вільних жирних кислот [10]. В результаті попередньої обробки з використанням в якості катализатора, наприклад, гідроксиду натрію або калію, гліцериди в олійно-естеровій фазі трансестерифікуються, що дозволяє отримати найкращий вихід продукту. В роботах [8,9] показано, що метоксиди натрію та калію є більш ефективними, ніж відповідні гідроксиди. При цьому вони мають більшу вартість, викликають утворення різних побічних продуктів і вимагають високої якості олії і безводного метанолу. З іншого боку, взаємодія гідроксиду натрію або калію з вільними жирними кислотами призводить до утворення води. Така реакція є небажаною, бо вода може вступати в реакцію гідролізу з тригліцеридами або естерами [9]. Тим не менше, незважаючи на нижчу активність, при використанні гідроксидів натрію і калію можна отримати високий вихід продукту за рахунок збільшення кількості катализатора [11].

Виробництво біодизеля активно досліджується вже протягом більше, ніж 30 років. Були проведені дослідження як для «чистої» олії і жирів [9, 11–14], так і для більш дешевої сировини, такої як відпрацьовані олії, тваринних жирів та ін. [5, 10–15]. При цьому деякі наведені результати досліджень носять суперечливий характер. Технологічні особливості процесів наводяться в обмеженому обсязі. Також на даний час немає даних по виходу кінцевого продукту при використанні відпрацьованих олій і кінетиці їх переестерифікації.

Метою статті є аналіз технологічних особливостей процесу переестерифікації рослинних жирів (олій) в присутності лужного катализатора і дослідження застосування обраного методу обробки для отримання якісного біопалива з відпрацьованих олій.

У відповідності до поставленої мети у роботі сформульовані такі завдання:

- отримати експериментальні дані проходження процесу переестерифікації при використанні відпрацьованої олії в якості вихідної сировини.

- на основі експериментальних даних визначити умови проведення процесу;

Об'єктом дослідження є процес переестерифікації відпрацьованої олії метиловим спиртом в присутності лужного катализатора. Предметом дослідження є технологія процесу переестерифікації відпрацьованої олії.

Виклад основного матеріалу. Експериментальне дослідження процесу отримання біодизеля

зеля. Лабораторна установка для проведення дослідження реакції переестерифікації відпрацьованої олії метиловим спиртом зображена на рис. 2 [16].

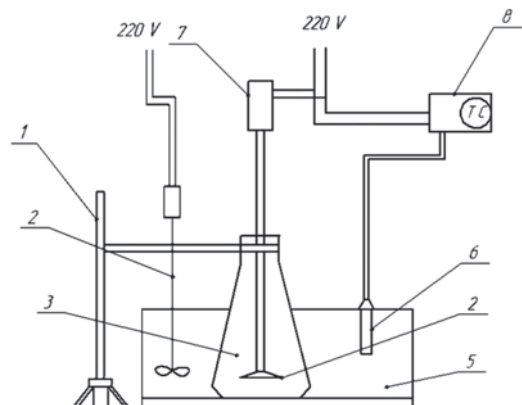


Рис. 2. Схема лабораторної установки: 1 – штатив; 2, 4 – перемішувач; 3 – реакційна колба; 5 – водяна баня; 6 – термометр; 7 – двигун мішалки; 8 – терморегулятор

На першому етапі обробки необхідно було видалити воду з вихідної сировини – відпрацьованої олії з ресторанів швидкого харчування. Для видалення води, в якості осушувача був використаний безводний сульфат натрію. Потім осушена відпрацьована олія була відфільтрована для видалення з неї залишків їжі та інших домішок.

Для проведення експериментів з переестерифікації відпрацьованої олії була підготовлена реакційна суміш з наступними реагентами: відпрацьована олія у кількості 100 мл. та метиловий спирт у кількості 12,5 мл. В якості каталізатора був застосований калію гідроксид у кількості 0,8 г. Вказані реагенти були завантажені в реакційну колбу 3 з мішалкою 4. Колба була поміщена в термостат.

Реакція починається в двофазній системі, яка складається з лужного розчину метанолу та тригліцеридів. Протягом перших декількох хвилин перемішування система стає однофазною в результаті емульгування. Після утворення зна-

чної кількості гліцерину система знову перетворюється на двофазну.

Суміш перемішувалася протягом 1,5 годин при температурі 25 °С. По закінченню перемішування, суміш залишили на 16 годин. В результаті такого довготривалого відстоювання були сформовані два шари рідин. Верхній шар – ліпофільна фаза із значним вмістом метилових естерів, а нижній є лужним розчином метанолу в гліцерині.

Верхній шар рідини було відділено. Отриманий продукт було проаналізовано на вміст моно-, ди-, та тригліцеридів і метилових естерів жирних кислот.

Дослідження проводилось з використанням наступних речовин: відпрацьована олія з ресторанів швидкого харчування, метиловий спирт, калій гідроксид в якості каталізатора.

Результати дослідження зразків наведені в табл. 1

Аналізуючи отримані результати можна зробити такі висновки:

- температура проведення процесу переестерифікації не суттєво впливає на вихід кінцевого продукту – вміст метилових естерів (як видно з результатів, що наведені в таблиці, при збільшенні температури у 2,5 рази вміст метилових естерів збільшується всього на 2%);

- збільшення концентрації каталізатора та часу проведення реакції підвищує вихід цільового продукту;

- загальний вихід метилових естерів потрібної молекулярної маси із відпрацьованих олій не перевищує 65% від виходу продукту при застосуванні в якості вихідної сировини тригліцеридів, з яких складається чиста олія.

Низький вихід цільового продукту з відпрацьованої олії в порівнянні з виходом з чистої олії, зумовлений проходженням реакцій олігомеризації тригліцеридів при багатократному нагріванні олії в присутності кисню повітря, що має місце при використанні олії в закладах харчування.

Таблиця 1

Вихід метилових естерів жирних кислот при переестерифікації відпрацьованих олій

№ дослідів	Температура, °С	Час реакції, хв	Концентрація каталізатора, мас %	Вміст метилових естерів, %
1	20	30	0,6	42,1
2	20	60	0,6	44,8
3	45	30	0,6	42,2
4	45	60	0,6	44,8
5	20	30	0,8	45,6
6	20	60	0,8	48,4
7	45	30	0,8	45,8
8	45	60	0,8	48,5

Ці олігомери в умовах реакції переестерифікації утворюють продукти, які за фракційним складом не відповідають стандарту на біодизельне паливо.

Аналізуючи різні фактори, які впливають на вихід біодизеля (відношення олії та спирту, кількість каталізатора, температура, тривалість реакції), можна запропонувати наступну схему виробничого процесу (рис. 3).

Дана схема враховує необхідність фільтрування віпрацьованої олії від механічних домішок та можливість переробки сировини із широким діапазоном вмісту жирних кислот. Для олій з високим вмістом вільних жирних кислот рекомендується попередня обробка, яка полягає в проведенні реакції естерифікації з використанням кислотного каталізатора з метою перетворення вільних жирних кислот (ВЖК) у відповідні естери. Присутність у кінцевому продукті сполук, що мають високі температури кипіння і не відповідають нормам [17], перешкоджає його прямому використанню в якості компонента палива. Тому необхідно отриманий продукт направити на дистиляцію. Кубовий залишок після дистиляції, що має високу теплотворну здатність при згорянні, може бути використаний в якості пічного палива.

Віпрацьовані олії з закладів швидкого харчування мають перемінний, але дуже близький жирнокислотний склад, оскільки в їх основі суміші

соняшникової, ріпакової, соєвої та пальмової олій, які є однотипними з точки зору реакційної здатності та фізико-хімічних характеристик. Тому проведені дослідження та висновки є універсальними для даного типу відновлюваної сировини.

Висновки. Проведений аналіз технологічних особливостей процесу переестерифікації соняшникової олії метанолом в присутності гідроксиду калію дозволив обрати послідовність технологічних процесів для отримання біодизеля. Проведені експериментальні дослідження реакції переестерифікації віпрацьованої рослинної олії метиловим спиртом в присутності лужного каталізатора показали, що температура проведення процесу переестерифікації не суттєво впливає на вихід кінцевого продукту. Ця обставина дозволяє проводити процес переестерифікації без додаткового підігріву. Показано, що збільшення концентрації каталізатора та часу проведення реакції підвищує вихід цільового продукту. Таким чином, витрати на невелике збільшення кількості каталізатора при проведенні реакції будуть окуплені суттєвим збільшенням виходу цільового продукту.

Визначений загальний вихід метилових естерів із віпрацьованих олій у порівнянні з виходом продукту при застосуванні в якості вихідної сировини тригліцеридів, з яких складається чиста олія, що дозволить правильно вести розрахунки і проводити

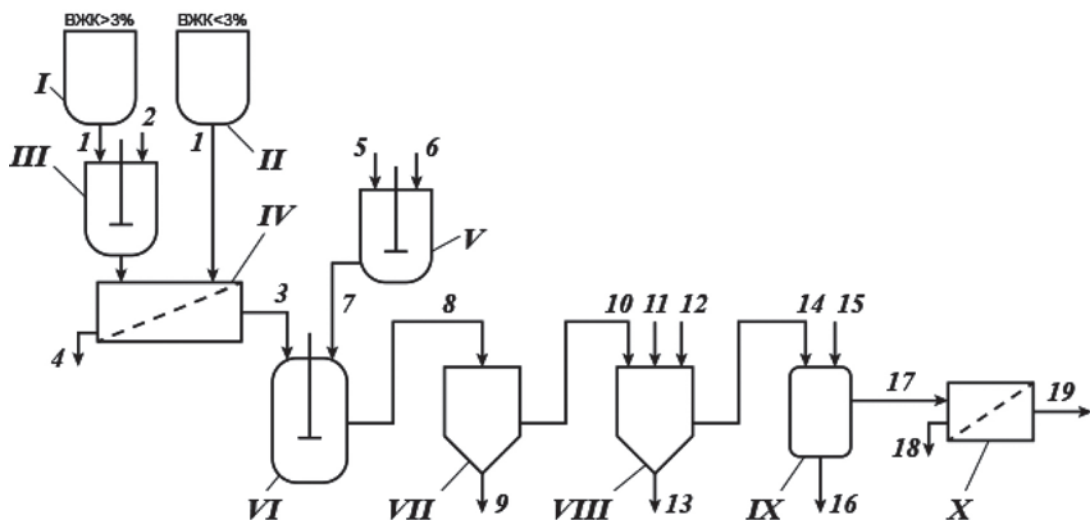


Рис. 3. Запропонована схема виробництва біодизеля: I, II – сність з олією; III – сність для перемішування; IV – фільтр для олії; V – сність для перемішування; VI – реактор трансестерифікації; VII – відстійник, VIII – сепаратор; IX – сність для промивання біодизеля; X – фільтр; 1 – олія; 2 – кислотний каталізатор; 3 – олія після фільтрування; 4 – домішки; 5 – метанол; 6 – гідроксид калію; 7 – метоксид; 8 – продукти реакції; 9 – домішки; 10 – суміш біодизеля, метанолу та гліцерину; 11 – гаряча вода; 12 – лимонна кислота (0,4%); 13 – гліцерин; 14 – біодизель з домішками; 15 – вода для промивки; 16 – вода після промивки; 17 – біодизель з домішками; 18 – домішки; 19 – біодизель на дистиляцію

налаштування технологічної схеми виробництва біодизеля із відпрацьованих олій. На основі отриманих результатів експерименту і їх аналізу запропоновано корегування технологічної схеми для отримання біодизеля, що забезпечить достатньо високий

вихід кінцевого продукту. Встановлено, що при використанні відпрацьованої олії сировина потребує доочищення, а також наявність в олії вільних жирних кислот, вимагає додаткової стадії, яка має бути врахована при проведенні розрахунків.

Список літератури:

1. Zaher F. Utilization of used frying oil as diesel engine fuel. *Energy Sources*. 2003. Pp. 819-826.
2. Mittelbach M., Tritthart P. Diesel fuel derived from vegetable oils. Emission tests using methyl esters of used frying oil. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 2018. 65(7). Pp. 1185–1187.
3. Leung D. Development of clean biodiesel fuel in Hong Kong using recycled oil. *Water Air Soil Poll.* 2001. 130, pp. 277–282.
4. Dorad M.P., Ballesteros E., Arnal, J.M., Gomez, J., Lopez, F.J. Exhaust emission from a diesel engine fuelled with transesterified waste olive oil. *Fuel*. 2003.82, Pp. 1311–1315.
5. Tashtoush G., Al-Widyan M., Al-Shyoukh, A.. Combustion performance and emission of ethyl ester of a waste vegetable oil in a water-cooled furnace. *Appl. Therm. Eng.*, .2003.23, pp. 285–293.
6. Ulusoy Y., Tekin Y., Cetinkaya M., Karaosmanoglu, F. The engine test of biodiesel from used frying oil. *Energy Sources*.2004. 26, pp. 927–932.
7. Al-Widyan M., Al-Shyoukh A. Experimental evaluation of the transesterification of waste palm oil into biodiesel. *Bioresour. Technol.* 2002. 85, pp. 253–256.
8. Meher, L.C., Sagar, D.V., Naik, S. N.. Technical aspects of biodiesel production by transesterification – A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, XX, 2004. pp. 1–21.
9. Schudardt, U., Sercheli, R., Vargas, R. Transesterification of vegetable oils: a review. *J. Braz. Chem. Soc.*, 9(1),2018 pp. 199–210.
10. Canakci, M., Van Gerpen, J.. Biodiesel production from oils and fats with free fatty acid feedstocks. *Trans., ASAE* 46, 2001. pp. 945–954.
11. Будько М. О. Умови експериментального визначення впливу концентрації каталізатора та температури на час протікання реакції переестерифікації рослинних олій метиловим спиртом. *Відновлювана енергетика*, № 4. 2011. С. 76–79.
12. Yusuff AS, Bhonsle AK, Bangwal DP, Atray N. Development of a barium-modified zeolite catalyst for biodiesel production from waste frying oil: Process optimization by design of experiment. *Renew Energy* 2021;177:1253–64.
13. Kumar D, Ali A. Transesterification of low-quality triglycerides over a Zn/CaO heterogeneous catalyst: kinetics and reusability studies. *Energy Fuel* 2013;27(7): 3758–68.
14. Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, D.D., Kates, M.. Biodiesel production from waste cooking oil: Process design and technological assessment. *Bioresour. Technol.* 2003. 89, pp. 1–6.
15. Mittelbach, M., Pokits, B., Silberholz, A. Production and fuel properties of fatty acid methyl esters from used frying oil. In: *Liquid Fuels Renewable Resource, Proceedings of the Alternative Energy Conference*, pp. 74–78.
16. Василькевич О.І., Бондаренко С. Г., Старостін А.Р., Будько М.О. Кінетика переестерифікації соняшникової олії при різних температурах / *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2012. № 2/14 (56). С. 21–23.
17. Національний стандарт ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги» (затверджено Наказом Держспоживстандарту від 20.01.2009 р. № 27).

Bondarenko S.G., Vasylykevych O.I., Abramova A.O. ADVANCED TECHNOLOGY FOR OBTAINING BIODIESEL FUEL FROM WASTE OILS

The article deals with an effective and practical approach to the use of waste oils in the process of biofuel production. It has been shown that the ingress of waste polluted oil into the environment causes great damage to the environment and has a negative effect on human health. The analysis of literary sources for existing technologies for the production of biodiesel fuel showed a contradictory nature of a number of studies. The purpose of this study is to study the transesterification of waste oil to determine the technological modes of the process and modify biodiesel technology. A laboratory installation with the possibility of a thermal formation of the reaction mixture was used to study the peculiarities of the interaction of the reaction of the spent oil of methyl alcohol. To analyze the effect of the parameters of the process of transesterification, the effect of the

reactionary mixture and the concentration of the catalyst on the output of methyl esters in the final product were investigated. The study shows that increasing the concentration of the catalyst and the time of the reaction increases the yield of the target product. In this case, the temperature of the transesterification process does not significantly affect the output of the final product. It is established that when using waste oil, the raw material requires purification, and the presence of free fatty acids in oil leads to an additional reaction. The scheme of the production process is proposed, taking into account the factors that affect the output of biodiesel: the ratio of oil and alcohol, the amount of catalyst, temperature, duration of reaction. It is established that the determined total output of methyl esters from waste oils compared to the product release when used as the original raw material of triglycerides, of which pure oil consists, will allow to properly calculate and adjust the technological scheme of biodiesel production from waste oils. Based on the results of the experiment and their analysis, it is proposed to adjust the technological scheme to obtain biodiesel, which will provide a sufficiently high yield of the final product.

Key words: *biodiesel fuel, waste oil, catalyst, transesterification technology, methyl ester.*

УДК 676.163.2/163.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/27>**Денисенко А.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Черьопкіна Р.І.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ ЛУЖНО-СУЛЬФІТОВОГО СПОСОБУ ДЛЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ДЕРЕВИНИ ПАВЛОВНІЇ

У статті досліджено можливість використання лужно-сульфитного способу для перероблення деревини павловнії клону *Paulownia Clone in Vitro 112*® на волокнисті напівфабрикати. Роботами показано переваги застосування нейтрально-сульфитного способу для перероблення листяних порід деревини. Перспективним на сьогоднішній день вважається максимальне використання місцевих ресурсів, до яких впевнено можна віднести широке культивування швидкозрослої деревини павловнії. Одночасно вагомого значення набуває вибір способу перероблення деревини, який полягає у модифікації класичних способів отримання ВНФ за рахунок зміни дозування у складі розчинів хімічних реагентів для регулювання всього діапазону рН. У роботі запропоновано модифікувати моносульфитний спосіб варіння за рахунок підвищення лужності розчину натрій гідроксидом, а також використанням антрахінону у кількості 0,1 % від маси абсолютно сухої сировини.

Досліджено вплив технологічних параметрів варіння на показники якості отриманих ВНФ. Показано вплив концентрації 35, 40 та 45 г/л всього SO_2 від маси абс. сух. деревини, тривалості варіння – 90, 120 та 150 хв та наявності каталізотара за кінцевої температури 170°C на показники міцності отриманих напівфабрикатів.

У результаті лужно-сульфитного варіння отримано напівфабрикати у широкому діапазоні виходу. Показано позитивний вплив на делігніфікацію деревини одночасного використання розчину підвищеної концентрації всього SO_2 , максимальної тривалості та антрахінону, що призводить до отримання добре делігніфікованого напівфабрикату у вигляді целюлози підвищеного виходу.

Відмінною особливістю отриманих лужно-сульфитних напівфабрикатів є високі фізико-механічні показники, особливо показник міцності на злом під час багаторазових перегинів, які можна порівнювати з показниками целюлози з хвойних порід деревини.

За допомогою повного факторного експерименту типу 2^2 визначено оптимальні умови делігніфікації з та без використання АQ, які становлять: а) концентрація всього SO_2 44,9 г/л і тривалість 130,8 хв; б) концентрація всього SO_2 40 г/л і тривалість 144,7 хв. Встановлено показники якості напівфабрикатів, отриманих лужно-сульфитним способом в точках оптимуму методом багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харінгтона, відповідно: вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини – 66,01 і 64,76; масова доля лігніну, % – 12,13 і 10,63; розривна довжина, м – 9999 і 10972; опір роздиранню, мН – 501 і 573; абсолютний опір продавлюванню, кПа – 399 і 412; міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п. – 2285 і 1440.

Отже, на основі здійснених експериментальних досліджень показано ефективність використання лужно-сульфитних умов проведення делігніфікації деревини павловнії. Встановлено отримання напівфабрикатів зі значно вищими показниками міцності, у порівнянні з нейтральними умовами проведення процесу, що суттєво розширює сфери їх застосування.

Ключові слова: *Paulownia Clone in Vitro 112*®, лужно-сульфитне варіння, волокнистий напівфабрикат, фізико-механічні показники, математична модель.

Постановка проблеми. Основною метою процесів делігніфікації рослинної сировини є видалення лігніну без негативного впливу на вуглеводи. Далі постає завдання запропонувати методи підвищення виходу та міцності целюлози опираючись на наявні в літературі дані.

Перевалюючим фактором технології є вибір способу хімічного перероблення рослинної сировини з метою забезпечення екологічності виробництва.

Розвиток технологій делігніфікації відноситься до трудомістких процесів і це частково

обумовлює поєднання різних методів та реагентів для отримання високоякісних напівфабрикатів.

Важливим є досконале знання хімічних властивостей сировини, морфологічної будови рослинних клітин та їх ультрамікроструктури, що суттєво полегшує розуміння різних перетворень, які відбуваються в процесі делігніфікації. На базі цього вченими показано застосування різних модифікацій промислових способів отримання целюлози, в тому числі і сульфатних [1, 2]. Нині сульфатні способи у поєднанні із різними лужними реагентами характеризуються високою гнучкістю для регулювання всього діапазону рН за рахунок зміни дозування у складі хімічних реагентів у порівнянні з сульфатним методом.

Активним реагентом нейтрально-сульфатного процесу є Na_2SO_3 , отриманий розчиненням SO_2 в розчині кальцій карбонату (Na_2CO_3). Кальцій карбонат у розчині відіграє роль лужного буфера з початковим значенням рН біля 9,0. Завдяки буферній функції Na_2CO_3 , що залишається у варильному розчині, можна підтримувати значення рН варильного розчину на рівні 7–8. Однак додавання у розчин моносольфату натрію (Na_2SO_3) натрію гідроксиду (NaOH) досягається рН розчину в межах 10–13,5, що дозволяє отримувати більш лужне середовище. До основних переваг такого розчину, у порівнянні із класичним нейтрально-сульфатним, можна віднести прискорення просочування сировини та швидкість розчинення лігніну [3].

Ранніми дослідженнями також показано, що у слаболужному та лужному середовищі ефективним є використання антрахінону (AQ), який відноситься до безсірковмісних каталізаторів, значно дешевший та широко застосовується в целюлозно-паперовій промисловості, ніж, до прикладу, гідразин, гідроксиламін чи борогідрид натрію [4]. Застосування такого поєднання дозволяє підвищити вихід напівфабрикатів та зменшити вміст лігніну в них, знизити вміст органічних речовин у відпрацьованому розчині та зменшити кількість непровару. Целюлоза, отримана в результаті делігніфікації в слаболужному середовищі в присутності AQ за показниками міцності може конкурувати з крафт-целюлозою [1, 2, 4].

У разі застосування розчинів для проведення лужно-сульфатного варіння процес більш універсальний і у випадку застосування більш жорстких умов можна досягати поглибленої делігніфікації. У цьому випадку реакції делігніфікації базуються на дії як сульфатних, так і гідроксильних іонів, що обумовлює утворення в процесі лігносульфонатів та лужного лігніну.

Суть процесу полягає у сульфуванні та частковому розчиненні лігніну у вигляді солей лігносульфонових кислот. Варильний розчин має певну буферність, що дозволяє зберігати його рН достатньо високим 7,2–11,0 під час всього процесу варіння. Завдяки збереженню вмісту геміцелюлоз спостерігається підвищення виходу волокнистого напівфабрикату (ВНФ) із сировини. У нейтральному середовищі сульфування і розчинення лігніну відбувається значно повільніше, що спонукає проводити процес варіння за високих температур в межах 170–190°C [3]. З підвищенням лужності розчинів досягається покращення просочування сировини і швидке розчинення лігніну, що компенсує високі температури та тривалість просочування.

Дефіцит деревини в останні десятиліття міцно закріпив тенденцію до використання недеревної сировини у вигляді відходів рослинного походження, або плантаційного вирощування для отримання волокнистих напівфабрикатів [5]. З іншого боку, занепокоєння щодо сталого майбутнього постачання первинних волокон також стимулює целюлозно-паперову промисловість до пошуку нових джерел сировини. Саме тому вже як біля 10 років вченими з усього світу ведуться різного роду дослідження доцільності використання швидкорослої деревини павловнії в якості джерела первинних волокон і результати відверто вражають [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність застосування методів делігніфікації сировини, в основному, залежить від досконалості дослідження конкретних технологічних умов проведення процесу до відповідної рослинної сировини.

Не дивлячись на критичне ставлення до застосування нейтрально-сульфатного способу делігніфікації сировини, його всебічно вивчають і сьогодні [7, 8, 9]. Так, науковцями у Познані в 2018 році було проведено ряд лабораторних досліджень застосування цього способу до *Miscanthus Giganteus*. У всіх випадках варіння проводили з використанням нейтрально-сульфатних розчинів за концентрацій Na_2SO_3 97,97 г/дм³ і 165,06 г/дм³ та, відповідно, Na_2CO_3 66,04 г/дм³ та 72,08 г/дм³, за рН 12,08 та 12,94, які максимально наближені до промислових умов. Дослідження проводили без просочення та з просоченням за температури 140 °C 15 хв і подальшим підйомом до максимальної температури в 174 °C та варінням протягом 15 та 30 хв. Перед стадією просочення додавали відпрацьований щолок щільністю 1,035 г/см³. Масові співвідношення рідини до деревини

досліджувалися у діапазоні від 2 до 5 [7, 8, 9]. В результаті досліджень показано, що використання підвищених витрат SO_2 в лабораторних умовах дозволило легше провести рафінування волокнистих зразків з подальшим визначенням показників міцності.

Традиційно в останні десятиліття целюлоза з евкаліпту займає одне з провідних позицій у загальному об'ємі її виробництва. Однак пошук способів удосконалення процесів з метою підвищення виходу напівфабрикатів з евкаліпту продовжується, в тому числі і з використанням нейтрально-сульфітного.

Вчені, базуючись на глобальних дослідженнях та досвіді виробництва целюлози з деревини евкаліпта досліджували отримання нейтрально-сульфітних напівфабрикатів з *Eucalyptus Camaldulensis* [5]. Для варіння використовували розчин натрій сульфиту і натрій бікарбонату за трьох різних концентрацій основних реагентів 10, 14 і 18 % від маси абсолютно сухої сировини. Підйом температури до кінцевої 170°C проводили за 30 хв та подальшим варіння за постійної температури 90 хв. Співвідношення рідини до деревини складало 7 : 1. У подальшому виготовляли відливки масою 127 г/м^2 [5]. Показано, що вихід целюлози зменшується зі збільшенням концентрації активного реагенту. Механічні властивості отриманих нейтрально-сульфітних ВНФ за всіма показниками міцності мають перевагу у порівнянні з целюлозою з листяних порід деревини, отриманих за даних умов [5].

У зв'язку з необхідністю вирішення різного роду екологічних проблем в технології, сьогодні дослідження спрямовані на пошук таких способів виробництва целюлози, які б задовольняли поставлені задачі. Аналіз досліджень і публікацій за останні 5 років показує, що одним із таких способів є моноссульфітний, який піддається модифі-

кації з метою забезпечення екологічних та економічних цілей [6].

Нами раніше вже показано ефективність перероблення деревини павловнії у слаболужному середовищі з отриманням напівфабрикатів придатних для виготовлення різних видів картону [10].

Метою статті є дослідження технологічних параметрів процесу делігніфікації деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* у лужно-сульфітному середовищі з отриманням ВНФ з високими показниками міцності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для дослідження використано однорічний зразок павловнії клону *Paulownia Clone in Vitro 112®*, вирощеного у Любашівському районі Одеської області у вигляді трісок, хімічний склад якого показано у ранніх публікаціях [6, 10]. Варіння трісок проводили моноссульфітом на натрієвій основі за концентрації всього SO_2 у варильному розчині 35, 40 та 45 г/л з додаванням у розчин натрій гідроксиду в кількості 4 г/л , що забезпечувало рН 11, без та з додаванням АҚ у кількості 0,1 % від маси абс. сух. сировини, за максимальної температури 170°C , тривалості – 90, 120 та 150 хв та $\text{ГМ} = 1 : 5$. В отриманих ВНФ визначали вихід із деревини та ступінь делігніфікації. ВНФ піддавали розмелюванню до $60\text{ }^\circ\text{ШР}$ і з них виготовляли лабораторні зразки масою 75 г/м^2 , згідно стандартної методики [6]. Всі зразки піддавали кондиціонуванню за відносної вологості повітря $65\pm 2\%$, температури $20\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ та визначали наступні показники міцності: розривну довжину, м, (ДСТУ 13525.1 (ISO 2758:1996)); абсолютний опір продавлюванню, кПа, (ДСТУ 13525.8 (ISO 2758/2759)); опір роздиранню, мН, (ДСТУ 3368-96 (ISO 1974-90)); міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п. (ДСТУ 3476-96 (ISO 5626-93)) [6].

Результати впливу тривалості варіння та концентрації всього SO_2 , а також використання катализатора на якість отриманих напівфабрикатів наведено на рис. 1.



Рис. 1. Залежність виходу та масової доли лігніну у ВНФ з деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* від концентрації всього SO_2 , тривалості варіння та наявності АҚ за температури 170°C

Як видно з графічних залежностей (рис. 1) зі збільшенням концентрації активного реагенту, тривалості процесу делігніфікації та наявності AQ вихід ВНФ знижується від 79,4 % до 58,2 %. Дані технологічні фактори позитивно впливають на вміст залишкового лігніну у ВНФ, масова доля якого знижується від 16,3 % до 7,5 % від маси абс. сух. сировини. З підвищенням рН моносульфітного розчину покращується просочення сировини та пришвидшуються процеси розчинення лігніну, що призводить до зниження вмісту лігніну в отриманому напівфабрикаті та, відповідно, виходу. Однак у випадку використання AQ в якості катализатора процесу за однакових умов відбувається стабілізація вуглеводної частини, що відображається на підвищеному виході ВНФ (приблизно на 2 %) та зниженому вмісту лігніну. Спостерігається позитивний вплив на делігніфікацію одночасного використання розчину підвищеної концентрації всього SO₂, максимальної тривалості та AQ, що призводить до отримання добре делігніфкованого напівфабрикату у вигляді целюлози підвищеного виходу.

У випадку лужно-сульфітного варіння процес набагато універсальніший і за умови використання більш жорстких умов отримано поглиблену делігніфікацію.

Цінність ВНФ та сфери їх застосування головним чином залежать від їх фізико-механічних властивостей.

Показники міцності одержаних ВНФ з павловнії у лужно-сульфітному середовищі наведено на рис. 2.

Із наведених на рис. 2 даних видно, що зі збільшенням тривалості варіння та концентрації всього SO₂ показники міцності напівфабрикатів зростають, особливо міцність на злом під час багаторазових перегинів, опір продавлюванню та роздиранню за концентрації варильного розчину в межах 45 г/л. Відмінною особливістю даних напівфабрикатів є підвищені показники міцності на злом під час багаторазових перегинів, які досягають значень більше 5500 к.п.п. в окремих випадках, що наближається до показників целюлози хвойних порід деревини.

Якісні властивості ВНФ в основному залежать від якості та кількості геміцелюлоз, що містяться в них. Листяні породи деревини характеризуються високим вмістом геміцелюлоз, які розподіляються на поверхні фібрил і легко піддаються набухання, в результаті чого структура волокна розрихлюється. Оболонка волокна пластифікується водою і вона стає більш гнучкою і пластичною. Під час розмелювання відбувається поверхневе фібрилювання, що призводить до збільшення поверхні волокна і його здатності до утворення міжволоконних зв'язків. Під час внутрішнього фібрилювання підвищується гнучкість і пластичність волокон за рахунок набухання геміцелюлоз у міжфібрилярному просторі, що надає йому здатності до утворення міжволоконних зв'язків, не знижу-

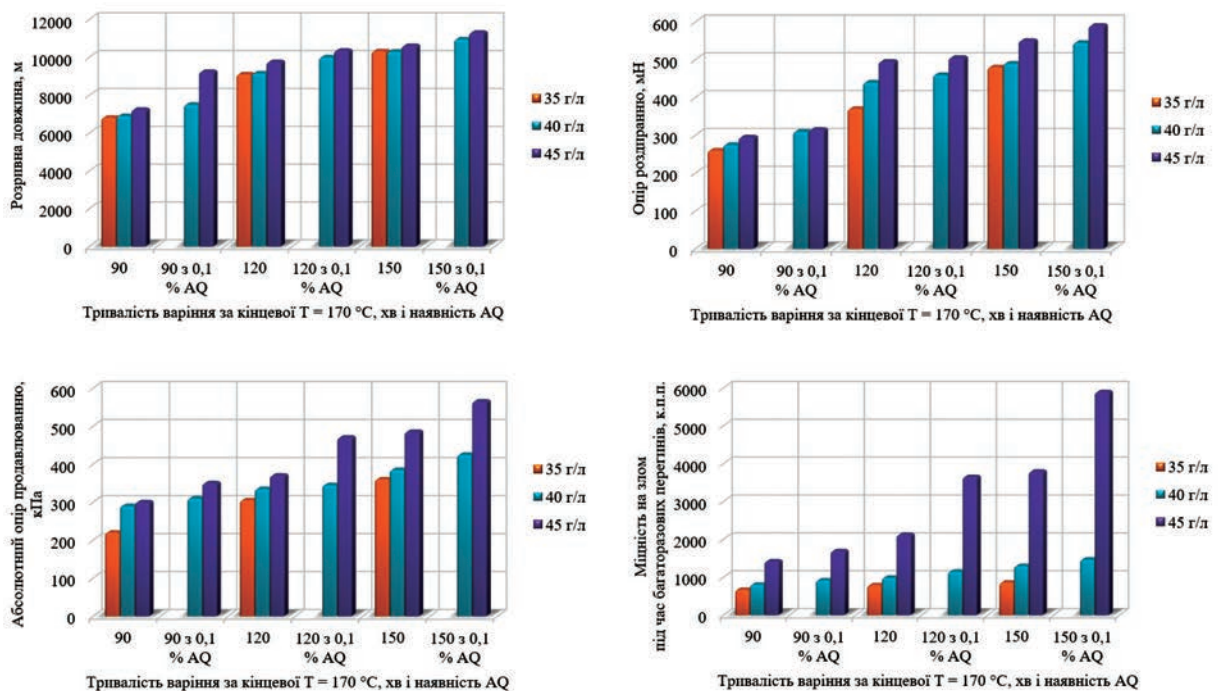


Рис. 2. Залежність фізико-механічних показників отриманих ВНФ з деревини Paulownia Clone in Vitro 112® від концентрації варильного розчину, тривалості варіння та наявності AQ за температури 170°C

ючи міцності самого волокна. Високі значення показників міцності частково можна пояснити тим, що в лужних умовах делігніфікації волокна менш пошкоджені, з меншою кількістю мікротріщин, а значить більш міцніші, що підтверджується проведеними дослідженнями.

Пошук оптимальних значень параметрів проведення технологічних процесів лужно-сульфітного варіння павловнії з побудовою оптимальної області було здійснено використовуючи програму «STAT – SENS» [11, 12]. За допомогою повного факторного експерименту (ПФЕ) типу 2^2 визначено оптимальні умови делігніфікації деревини павловнії у лужно-сульфітному середовищі без та з додавання AQ в якості катализатора процесу. В якості факторів x_1 , що впливають на показники якості лужно-сульфітного ВНФ досліджено:

- концентрація всього SO_2 , г/л від маси абс. сух. сировини (x_1);
- тривалість варіння за кінцевої $T = 170^\circ C$, хв і наявність Кат (x_2);

В якості параметрів оптимізації обрано наступні показники якості:

- вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини (Y_1);
- масова доля лігніну, % (Y_2);
- розривна довжина, м (Y_3);
- опір роздиранню, мН (Y_4);
- абсолютний опір продавлюванню, кПа (Y_5);
- міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п. (Y_6).

Керуючись статистичною обробкою експериментальних даних отримано рівняння регресії (в кодованій формі), які дозволяють адекватно описати залежності вихідних даних від обраних показників якості:

1) лужно-сульфітне середовище:

- вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини:

$$Y_1 = 102,61 + 0,37668x_1 - 0,29111x_2 + 0,0068333x_1x_2 - 0,020667x_1^2 - 0,00085186x_2^2$$

- масова доля лігніну, %:

$$Y_2 = -46,344 + 2,6667x_1 + 0,28111x_2 - 0,005x_1x_2 - 0,029333x_1^2 - 0,00059259x_2^2$$

- розривна довжина, м:

$$Y_3 = 1036,8 - 519x_1 + 237,11x_2 - 0,23333x_1x_2 + 7,4x_1^2 - 0,71111x_2^2$$

- опір роздиранню, мН:

$$Y_4 = -322,76 - 20,667x_1 + 13,055x_2 + 0,058333x_1x_2 + 0,26667x_1^2 - 0,048148x_2^2$$

- абсолютний опір продавлюванню, кПа:

$$Y_5 = 321,1 - 10,667x_1 - 1,5555x_2 + 0,075x_1x_2 + 0,13333x_1^2 + 0,0037037x_2^2$$

- міцність на злом під час багаторазових перегинів, к.п.п.:

$$Y_6 = 49319 - 2113,6x_1 - 174,84x_2 + 3,6317x_1x_2 + 23,06x_1^2 + 0,19389x_2^2$$

2) лужно-сульфітне середовище з додаванням AQ:

$$Y_1 = 254,35 - 7,3046x_1 + 0,48873x_2 - 0,0017524x_1x_2 + 0,05736x_1^2 - 0,0023764x_2^2;$$

$$Y_2 = 52,886 - 1,2804x_1 - 0,025497x_2 + 0,00026667x_1x_2 + 0,00908x_1^2 - 0,00016327x_2^2;$$

$$Y_3 = 32714 - 1016,4x_1 + 73,793x_2 - 0,26286x_1x_2 + 8,14x_1^2 - 0,15601x_2^2;$$

$$Y_4 = 1495,9 - 50,29x_1 + 4,9401x_2 + 0,007619x_1x_2 + 0,386x_1^2 - 0,01542x_2^2;$$

$$Y_5 = 1433,7 - 42,204x_1 - 0,020408x_2 + 0,019048x_1x_2 + 0,326x_1^2 + 0,0018141x_2^2;$$

$$Y_6 = 8499,3 - 266,12x_1 - 29,116x_2 + 0,69524x_1x_2 + 1,92x_1^2 + 0,03356x_2^2.$$

Аналізуючи отримані рівняння можна зробити висновок, що концентрація варильного розчину несе найбільший вплив на показники якості отриманих ВНФ в обох випадках. Дані рівняння дозволяють визначити оптимальні параметри проведення процесу делігніфікації деревини клону павловнії. За оптимальну точну x_{opt} взято такі значення x_1 , які найбільше задовольняють значення компромісної моделі для значення Y_1 .

У точці оптимуму значення факторів x_1 та x_2 (в натуральних одиницях) наступні:

1) слаболужне варіння:

- x_1 (концентрація SO_2 , г/л від маси абс. сух. сировини) = 44,9

- x_2 (тривалість варіння за кінцевої $T (= 170^\circ C)$, хв) = 130,8

2) слаболужне варіння з AQ:

- $x_1 = 40$ г/л;

- $x_2 = 144,7$ хв.

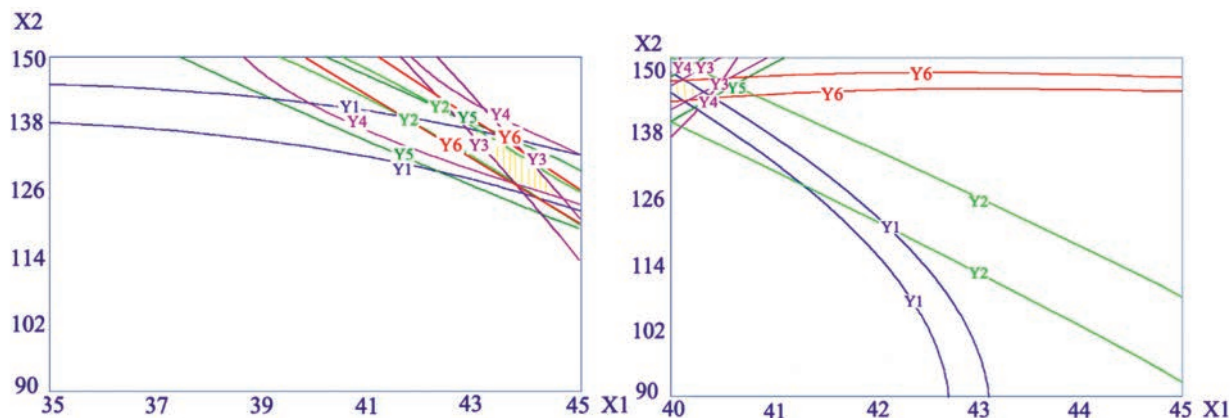
Компромiсну область проведення процесу делігніфікації *Paulownia Clone in Vitro 112*® в залежності від основних технологічних факторів визначено за допомогою методу багатокритеріальної оптимізації з використанням функції бажаності Харінгтона ($D = 0,65; 0,63$) для отриманих рівнянь регресії $Y_1 - Y_6$ в обох випадках, відповідно, та наведено на рис. 3.

У точці оптимуму показники якості лужно-сульфітних ВНФ наступні:

1) без додавання AQ:

- Y_1 (вихід ВНФ, % від маси абс. сух. сировини) = 66,01

- Y_2 (масова доля лігніну, %) = 12,13



1 2

Рис. 3. Компромiсна область проведення процесу делiгнiфiкацiї *Paulownia Clone in Vitro 112®* у лужно-сульфiтному середовищi без (1) та з додаванням АQ (2): Y_1 – вихiд ВНФ, % вiд маси абс. сух. сировини; Y_2 – масова доля лiгнiну, % вiд маси абс. сух. сировини; Y_3 – розривна довжина, м; Y_4 – опiр роздиранню, мН; Y_5 – абсолютний опiр продавлюванню, кПа; Y_6 – мiцнiсть на злом пiд час багаторазових перегинiв, к.п.п.

- Y_3 (розривна довжина, м) = 9999
- Y_4 (опiр роздиранню, мН) = 501
- Y_5 (абсолютний опiр продавлюванню, кПа) = 399
- Y_6 (мiцнiсть на злом пiд час багаторазових перегинiв, к.п.п.) = 2285

2) з додаванням АQ:

- Y_1 = 64,76 %;
- Y_2 = 10,63 %;
- Y_3 = 10972 м;
- Y_4 = 537 мН;
- Y_5 = 412 кПа;
- Y_6 = 1440 к.п.п.

Висновки. Питанню перероблення швидкорослої деревини *Paulownia Clone in Vitro 112®* з метою отримання ВНФ ще не достатньо придiлено уваги.

Частково цю проблему можна вирiшити застосуванням лужно-сульфiтного способу до переваг якого, треба вiднести екологiчнiсть процесу у порiвняннi з сульфатним та нейтрально-сульфiтним. За рахунок пiдвищення рН розчину, наявностi сульфiтних та гiдроксильних iонiв досягається поглиблення делiгнiфiкацiї, стабiлiзацiя вуглеводiв, що дозволяє отримувати напiвфабрикати з високими показниками мiцностi.

Використовуючи ПФЕ типу 2^2 було визначено оптимальнi технологiчнi параметри для дослідження лужно-сульфiтних способiв варiння, а методом багатокритерiальної оптимiзацiї з використанням функцiї бажаностi Харiнгтона – компромiсну область проведення процесу делiгнiфiкацiї.

Список лiтератури:

1. M.T. Paridah, Amin Moradbak, A.Z. Mohamed, Folahan Abdulwahab Taiwo Owolabi, Mustapha Asniza and H.P. Shawkataly Abdul Khalil. Alkaline Sulfite Anthraquinone and Methanol (ASAM) Pulping Process of Tropical Bamboo (*Gigantochloa scortechinii*). *Bamboo – Current and Future Prospects* / Abdul Khalil H.P.S. Malaysia, 2018. P. 9–24.
2. Aliye Keskin-Schneider. Engineering Reaction Kinetics in Sulfite and Sulfite-Antraquinone Pulping. Canada: Department of Chemical Engineering McGill University, Montréa, Québec, 1991. 225 p.
3. Черьопкiна Р.І., Трембус І.В., Дейкун І.М., Барбаш В.А. Технологiя недревних волокнистих напiвфабрикатiв: пiдручник для студ. спецiальностi 161 «Хiмiчнi технологiї та iнженерiя», освiтньо-професiйної програми «Промислова екологiя та ресурсоефективнi чистi технологiї». Київ: КПІ ім. Iгоря Сiкорського, 2021. 231 с.
4. Mohd Hassan, N.H., Mohammad, N.A., Ibrahim, M., Mohd Yunus, N.Y., Sarmin, S.N. Soda-anthraquinone pulping optimization of oil palm empty fruit bunch. *BioResources*. 2020. Vol. 15, № 3. P. 5012–5031. DOI: 10.15376/biores.15.3.5012-5031.
5. Hamidreza Rudi1, Majid Kiaei, Ahmad Samariha. Production of NSSC Cellulosic Pulp Fibers from Eucalyptus Cameldulensis. *Academic Journal of Polymer Science*. 2019. Vol. 2, № 5. P. 119–125. DOI: 10.19080/AJOP.2019.02.555596.
6. Denysenko A.M., Yatsenko S.Yu., Cheropkina R.I. On the way to raw materials independence. *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference “Scientific progress: innovations, achievements and prospects”* (October 9-11, 2022) MDPC Publishing, Munich, Germany. Munich, 2022. P. 99–103.

7. Krzysztof Joachimiak, Renata Wojech, Adam Wójciak. Comparison of Miscanthus Giganteus and Birch Wood NSSC Pulping. Part I: the Effects of Technological Conditions on Certain Pulp Properties. *Wood Research*. 2019. Vol. 64, № 1. P. 49–58.
8. Jan Bocianowski, Ewa Fabisiak, Krzysztof Joachimiak, Adam Wójciak. NSSC Pulping of Miscanthus Giganteus and Birch Wood. Part 2: a Comparison of Papermaking Potential and Strength Properties. *Wood Research*. 2019. Vol. 64, № 2. P. 281–292.
9. Jan Bocianowski, Ewa Fabisiak, Krzysztof Joachimiak, Renata Wojech, Adam Wójciak. Miscanthus Giganteus as an Auxiliary Raw Material in NSSC Birch Pulp Production. *Cellulose Chemistry and Technology*. 2019. Vol. 53, № 3–4. P. 271–279.
10. Черьопкіна Р.І., Яценко С.Ю., Денисенко А.М. Отримання картону із напівфабрикатів деревини павловнії. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Київ, 2023. Том 34 (73), № 2. С. 58–66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.2.2/11>.
11. Барбаш В.А., Дейкун І.М. Оптимізація процесу одержання целюлози для хімічної переробки натронним способом з попереднім гідролізом. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2003. № 1. С. 74–78.
12. Статюха Г.О., Складаний Д.М. Планування оптимального експерименту: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Київ: Політехніка, 2004. 36 с.

Denysenko A.M., Cheropkina R.I. USING THE ALKALINE-SULFITE METHOD FOR PROCESSING PAULOWNIA WOOD

The article examines the possibility of using the alkaline-sulfite method for processing Paulownia Clone in Vitro I12® wood into fibrous semi-finished products. The works show the advantages of using the neutral-sulfite method for the processing of hardwood species. To date, the maximum use of local resources is considered to be promising, which includes the widespread cultivation of fast-growing paulownia wood. At the same time, the choice of the wood processing method is of great importance, which consists in modifying the classic methods of obtaining fibrous semi-finished products by changing the dosage in the composition of chemical reagent solutions to regulate the entire pH range. The paper proposes to modify the monosulfite cooking method by increasing the alkalinity of the sodium hydroxide solution, as well as by using anthraquinone in the amount of 0.1% by weight of the abs. dry raw materials.

The influence of the technological parameters of cooking on the quality indicators of the obtained fibrous semi-finished products was studied. The influence of the concentration of 35, 40, and 45 g/l of total SO₂ on the mass of abs. dry of wood, duration of cooking – 90, 120, and 150 min, and the presence of a catalyst at a final temperature of 170 °C on the strength indicators of the obtained semi-finished products.

As a result of alkaline-sulfite cooking, semi-finished products with a wide range of yield were obtained. The positive effect on wood delignification of the simultaneous use of a solution with an increased concentration of all SO₂, maximum duration, and AQ was shown, which leads to obtaining a well-delignified semi-finished product in the form of cellulose with an increased yield.

A distinctive feature of the obtained alkali-sulfite semi-finished products is high physicomechanical indicators, especially the index of breaking strength during repeated bending, which can be compared with the indicators of cellulose from coniferous wood species.

Using a full factorial experiment of type 2², the optimal conditions of delignification with and without the use of AQ were determined, which are: a) the concentration of total SO₂ is 44.9 g/l and the duration is 130.8 min; b) the concentration of total SO₂ 40 g/l and duration 144.7 min. The quality indicators of the semi-finished products obtained by the alkaline-sulfite method were established at the optimum points by the method of multi-criteria optimization using Harington's desirability function, respectively: yield of fibrous semi-finished products, % of mass abs. dry raw materials – 66.01 and 64.76; mass fraction of lignin, % – 12.13 and 10.63; breaking length, m – 9999 and 10972; tear resistance, mN – 501 and 573; absolute compressive strength, kPa – 399 and 412; breaking strength during repeated bending, k.p.p. – 2285 and 1440.

So, based on the conducted experimental studies, the effectiveness of using alkaline-sulfite conditions for the delignification of paulownia wood is shown. It has been established that semi-finished products with significantly higher strength indicators can be obtained compared to the neutral conditions of the process, which significantly expands the scope of their application.

Key words: Paulownia Clone in Vitro I12®, neutral-sulfite cooking, fibrous semi-finished product, physical and mechanical parameters, mathematical model.

Дрозд О.В.

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ЕКСПЕРТИЗА ВІДХОДІВ РУЙНАЦІЇ НА ОСНОВІ ОЗНАК СТРУКТУРНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ МАТЕРІАЛІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РЕЦИКЛІНГУ

Актуальність досліджень зумовлена необхідністю утилізації відходів руйнації через збройну агресію. Сучасна практика менеджменту відходів в умовах воєнних дій ґрунтується на моделях циркулярної економіки, де оновлення ресурсного потенціалу відбувається через переробку сировини та з повторним використанням у виробництві. Аналіз ситуації показав неспроможність використання теоретично-методичних засад довоєнного періоду та необхідність пошуку нових технологічних рішень, які враховують особливості хімічного складу, структури, зносу матеріалів.

Мета роботи полягає у розробці методологічного підходу до експертизи відходів руйнації, який ґрунтується на критеріях структурної деградації матеріалів та покладений в основу розробки організаційних заходів щодо їх рециклінгу. При постановці досліджень застосовано ситуаційний підхід з методологією експертного експерименту. Розроблено методика з алгоритмом реалізації, який містить виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальні дослідження та аналітичний опис їх макро- і мікроструктури; формулювання головних ідентифікаційних ознак деградації структури у порівнянні з еталонними зразками; експериментальні випробування на зразках-свідках з визначенням кількісного і якісного характеру пошкодження; складання калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки. Методика апробована на зразках-свідках автомобільних сплавів, листового віконного скла та полімерного шиферу, які зазнавали нагрівання у окисному середовищі та занурення у воду. Запропонована методика експертного експерименту на відміну від існуючих дасть змогу лише за структурними ознаками визначитись зі ступенем руйнування матеріалу та зробити висновки щодо доцільності його подальшої переробки на сировину або на іншу продукцію. Наукові результати сформульовані у вигляді моделі задачі рециклінгу відходів руйнації з розробкою організаційних заходів, що являє собою підґрунтя для створення стартапів з впровадження беззалишкових технологій.

Ключові слова: металобрухт, скляний бій, полікарбонат, рециклінг, ситуаційний аналіз, експертний експеримент.

Постановка проблеми. Масові руйнування на півдні України, зокрема у Херсонській та Миколаївській областях призвели до накопичення великих обсягів відходів: уламків будівель, техніки, автотранспорту, скла, пластику тощо. Зберігаючись тривалий час просто неба або на сміттєзвалищах вони втрачатимуть можливість бути використаними повторно або переробленими на інші матеріали та сировину. Вирішення цієї проблеми полягатиме у розробці та впровадженні організаційних та технологічних заходів щодо їх переробки на корисну продукцію, що дасть змогу не тільки ефективно утилізувати руйнування та пошкодження, а й забезпечити економію природних ресурсів, необхідних для відновлення країни. Проблемним питанням стає сортування відходів руйнації з проведенням експертизи щодо ступеня пошкодження зі втрачанням матеріалами своїх корисних характеристик.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка прямих фізичних пошкоджень, яка здійснена аналітичною командою Київської Школи Економіки спільно з Міністерством розвитку громад і територій України, Міністерством інфраструктури України, Міністерством здоров'я України за координації Міністерства з питань реінтеграції тимчасово окупованих територій України та у співпраці з іншими профільними міністерствами та Національним банком [1], надає всебічну картину збитків з економіки України в період з 24 лютого 2022 р. по 24 люте 2023 р., яка, на жаль, постійно оновлюється. Новітній досвід з управління військовими відходами [2, с. 185–186] ґрунтується на циркулярному підході, який спрямований на зменшення негативного впливу на екологію країни, формування додаткового ресурсного потенціалу економіки України.

Розвиток потенціалу циркулярної економіки з впровадженням рециклінгу будівельних відходів під час ліквідації наслідків збройної агресії розглянуто у роботі [3], де автори наполягатимуть на симбіотичному співробітництві підприємств щодо переробки демонтованих матеріалів. Систематизацію інформації про особливості менеджменту відходів в умовах воєнних дій з рекомендаціями щодо їх вторинного використання та утилізації надано автором роботи [4, с. 109–122]. Крім відходів будівництва військові дії спричинили утворення великої кількості металобрухту (пошкоджена військова техніка, автотранспорт, зруйновані металокопії, електрообладнання тощо), битого скла, пластику та інших синтетичних матеріалів. Рентабельність їх переробки являє собою складний процес, який залежить від енергетичних і трудових ресурсів, енергетики, транспортних можливостей та інших факторів. Над цією проблемою наполегливо працюють екологи, економісти, юристи, комунальники, волонтери. Проте аналіз ситуації показав неспроможність використання теоретично-методичних засад довоєнного періоду та необхідність пошуку нових технологічних рішень, які враховують особливості хімічного складу, структури, зносу матеріалів. Суттєвим недоліком можливої у воєнних умовах експертизи матеріалів є обмеженість у постановці досліджень з використанням сучасного лабораторного обладнання, неможливість експериментальних випробувань, тривалість та

доровартість виконання досліджень у профільних, зокрема закордонних лабораторіях. Слід зазначити, що єдино доступним на даний час джерелом інформації залишається аналітичний огляд літератури.

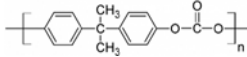
Мета роботи полягає у розробці методологічного підходу до експертизи відходів руйнації, який ґрунтується на критеріях структурної деградації матеріалів та покладений в основу розробки організаційних заходів щодо їх рециклінгу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Матеріали і методи досліджень. При постановці досліджень застосовано ситуаційний підхід [5, с. 296–301], який ґрунтується на прикладанні прямого наукового досвіду до певної ситуації та убачає швидку реакцію на умови, які постійно змінюються. Для досліджень обрано відходи руйнації автомобільного транспорту, листового віконного скла, монолітного та гофрованого полімерного шиферу (табл. 1).

Збирання вхідної інформації полягатиме у аналітичному огляді металевих і неметалевих матеріалів [6–10], які застосовано у автомобілебудуванні [6, pp. 74–81; 7, с. 388–440], для улаштування внутрішніх виробничих приміщень [8, с. 275–282], в технологіях енергозберігаючих віконних систем [9; 10, с. 109–114]. Це значно ускладнює задачу щодо експертизи пошкоджених об'єктів та вилучення фрагментів для їх подальшої переробки. Тому задля отримання якісної інформації щодо характеру пошкодження, зміни фізико-механіч-

Таблиця 1

Дослідні матеріали		
Обраний матеріал	Хімічний склад	Технологія виготовлення
Кузов автомобіля: джерело інформації [6, с. 76-77]		
Твердосплавні сталі (Bake Hardenable, BH)	max: 0,06...0,11 % C, 0,50 % Si, 0,7...1,0 % Mn, 0,060...0,120 % P, 0,030 % S, 0,015 % Al, 0,12 % Ti, 0,09 % Nb	Холоднокатані сталі, зазнають термооброблення одночасно з фарбуванням або цинкуванням
Трансформаційна пластична сталь (Transformation Induced Plasticity, TRIP)	0,14...0,19 % C, 1,57...1,58 % Mn, 0,2...1,6 % Si, 0,013...0,018 % P, 0,025...0,028 % S, 0,04...0,08 % Cr, 0,02 % Ni, 0,002 % Cu, 0,036...0,043 % Al, 0,027 % Ti, 0,042 % Nb	Виготовляються за технологіями холодної та гарячої прокатки
Деформівні високоміцні сплави системи Al-Mg-Si-Mn (зокрема AlSi1MgMn)	max: 0,70...1,30 % Si, 0,60...1,20 % Mg, 0,40...1,00 % Mn, 0,25 % Cr, 0,20 % Zn, 0,10 % Ti	Виготовляється методом екструзії у вигляді листів і плит
Полімерний шифер: джерело інформації [8, с. 275-282]		
Полікарбонат монолітний		Виготовляється методом екструзії
Листове віконне скло: джерело інформації [10, с. 109-114]		
Термополіроване скло (флоат-скло)	Скло систем R ₂ O-PbO-SiO ₂ , SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -Li ₂ O, SiO ₂ -TiO ₂ -Al ₂ O ₃ -B ₂ O ₃ , модифіковані TiO ₂ , SnO ₂ , Mn ₂ O ₃ , CuO, CoO	Модифікація скла методом хімічного зміцнення на основі іонного обміну

них властивостей матеріалів під впливом зовнішніх факторів в роботі застосовано методику експертного експерименту [11, с. 116–221], де за мету ставиться спостереження і фіксація змін в середині предмета дослідження в умовах, наближених до реальних, з аналітичним обробленням результатів та формуванням попередніх висновків. Для цього зі всього обсягу інформації виокремлюється вибірка, у яку штучно вносяться зміни. Проте під час проведення експертного експерименту виникатиме протиріччя між визначенням щодо достатності отриманих результатів та мінімізацією впливу на об'єкт дослідження. Тому для досліджень обраних матеріалів в роботі пропонується наступний алгоритм постановки експертного експерименту з експертизи відходів руйнації:

- виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальні дослідження та аналітичний опис їх макро- і мікроструктури;
- формулювання головних ідентифікаційних ознак деградації структури у порівнянні з еталонними зразками;
- експериментальні випробування на зразках-свідках з визначенням кількісного і якісного характеру поведінки під час нагрівання у окисному середовищі та занурення у воду;
- складання калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки.

Запропонована методика дасть змогу лише за структурними ознаками визначитись зі ступенем руйнування матеріалу та зробити висновки щодо доцільності його подальшої переробки на сировину або іншу продукцію.

Теоретичними і практичними передумовами щодо визначення критеріїв деградації структури дослідних матеріалів і розробки організаційних заходів щодо їх рециклінгу є досвід з оцінки деградування структури та механічних властивостей сталей трубопроводного сортаменту [12, с. 222–227], теоретичні аспекти старіння полімерних матеріалів [13, с. 5–13] та власний досвід автора щодо переробки скляного бою на порошок з виготовленням з нього ізоляційних матеріалів [14, с. 180–185; 15, с. 13–20].

Постановка і результати експертного експерименту. Для досліджень було підготовлено еталонні зразки і зразки-свідки у формі пластин розміром 150 мм×50 мм, макро- і мікроструктуру яких досліджено за допомогою медичного обладнання (мікроскоп *Granum*). Для нагрівання зразків у монотонному режимі окисного середовища до температури 220 °С застосовано стерилізатор сухожар СН-360, який у звичайних умовах використовується для стерилізації манікюрних інструментів. Занурювання зразків здійснювалося у ємності для замочування і стерилізації медичного інструменту у водопровідній воді температурою +20°С протягом 90 днів. Незвичайний для хімічних лабораторних досліджень вибір медичного обладнання зроблено, виходячи з міркувань зручності в умовах пересування по об'єктах руйнації. Якісні результати досліджень наведено у табл. 2, проте слід прийняти до уваги той факт, що зразки-свідки було виокремлено зі зруйнованих об'єктів.

На рис. 1, як приклад, наведено калібрувальну шкалу руйнування зразку полікарбонату під термічним впливом. Гістограми побудовано за результатами прямих вимірювань зміни маси зразків полікарбонату (фрагментів листів шиферу). Кожному результату надано відносну кількісну оцінку (бали), які далі як еталонні значення будуть застосовані для оцінювання ступеня пошкодження інших зразків.



Рис. 1. Калібрувальна шкала руйнування полікарбонату під термічним впливом [побудовано автором]

Науково-практичні результати досліджень. Методологічний підхід узагальнено у вигляді моделі експертизи відходів руйнації (рис. 2) та організаційних заходів щодо їх рециклінгу (табл. 3). Модель розглядає процес рециклінгу як складну технічну систему з аналізом пошкоджень матеріалів на мікрорівні та реалізацією у вигляді розробки технологічних заходів. Для цього сформульовано ідентифікаційні ознаки деградації структури металевих, скляних, полімерних матеріалів у певних умовах невизначеності.

Розроблена програма заходів (табл. 4) щодо рециклінгу відходів руйнації – це система взаємозв'язаних проєктів та завдань, які разом з моделлю експертизи руйнації являють собою

Аналітичні ефекти якісних пошкоджень зразків-свідків
[складено автором]

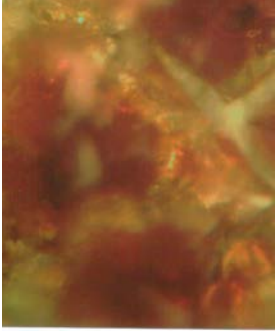
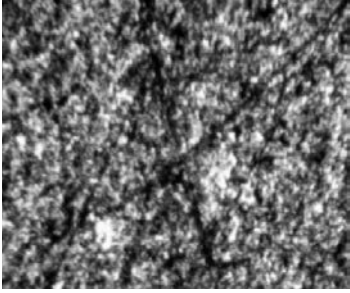
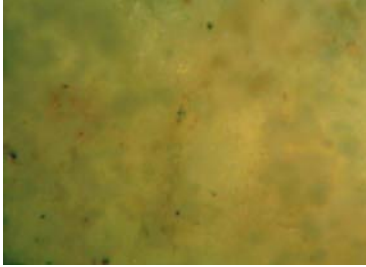
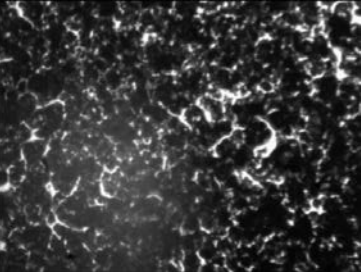
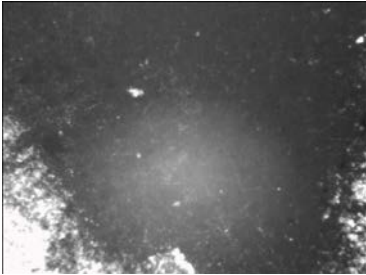

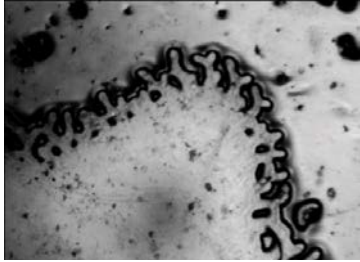
Результати та висновки досліджень		
Автомобільні сплави		
* марку сплаву встановлено за літературними джерелами та інформацією щодо марки автомобілю, країни виробника		
<p>TRIP-сталь (після занурення) Зразок (збільшення $\times 370$) вирізано з кузова підірваної машини</p>  <p>Піттингова корозія з розміром виразок до 10 мм</p>	<p>ВН-сталь (після нагрівання) Зразок (збільшення $\times 250$) вирізано з кузова затопленої машини</p>  <p>Розвиток тріщин у місцях пошкодження лакофарбового покриття</p>	<p>AlSi1MgMn (після пожежі та затоплення) Зразок (збільшення $\times 180$) вирізано з кузова затопленої машини</p>  <p>Наявність захисної плівки гальмує вихід продуктів корозії</p>
<i>Висновок:</i> можлива переробка на порошок для використання у господарських цілях та будівництві	<i>Висновок:</i> можливо використання для виготовлення елементів конструкцій	<i>Висновок:</i> можливо використання у ремонтних технологіях, зокрема у судноремонті
Листове віконне скло (флоат-скло)		
<p>Зразок (збільшення $\times 150$) вирізано зі зруйнованої вітрини, зазнав повторного нагрівання відкритим вогнем</p>  <p>Спостерігається розшарування структурної цілісності</p>	<p>Зразок (збільшення $\times 70$) вирізано зі скла затопленого авто</p>  <p>Не має порушень структури</p>	<p><i>Висновок:</i> рекомендується переробка на бій скла з додаванням у дорожнє будівництво та використання для виготовлення теплоізоляційних блоків піноскла</p>
Полімерний шифер (полікарбонат)		
<p>Зразок (збільшення $\times 70$) вирізано із затопленої огорожі</p>  <p>Спостерігається розбухання</p>	<p>Зразок (збільшення $\times 270$) вирізано з даху будинку після влучення</p>  <p>Спостерігається поява білих ділянок та початок деструкції</p>	<p><i>Висновок:</i> можна рекомендувати для подрібнення з наступним використанням в технологіях виготовлення будівельних матеріалів</p>



Рис. 2. Модель задачі експертизи відходів руйнації
[складено автором]

Таблиця 3

Програма заходів щодо рециклінгу відходів руйнації
[складено автором]

Заходи	Характеристика заходів
Створення пересувних хімічних лабораторій	Можливість виїзду у місця руйнування, забір проб, мобільність прийняття рішень щодо поводження з відходами руйнації та пошкоджених матеріалів
Організація сумісних дій роботи з Державною службою надзвичайних ситуацій	Впровадження систем інформаційної взаємодії між ДСНС та службами комунальних підприємств, диспетчерами, техніками та експертами
Розробка та впровадження нових засобів інформаційної підтримки	Розробка, впровадження та адаптація нових інформаційних систем та створення баз даних з каталогом та результатами досліджень, розширення джерел інформації
Взаємодія з підприємствами Херсонської і Миколаївської областей	Розробка та впровадження нових логістичних рішень з транспортування та промислової переробки на корисну продукцію
Розвиток технологічного потенціалу існуючих підприємств Херсонської і Миколаївської областей	Відновлення виробництв будівельних матеріалів, ремонтних підприємств з впровадженням нових технологій, відновлення річкових перевезень
Економічний ефект	Створення альтернативного резерву сировинного ресурсу Науково-технічне підґрунтя для розробки стартапів
Соціальний ефект	Утилізація відходів, які утворено внаслідок в руйнувань

науково-методичне підґрунтя для створення стартапів з впровадження беззалишкових технологій.

Перспективи подальших досліджень полягати-муть у розробці професійної інформаційної підтримки з експертизи відходів руйнації.

Висновки. Сучасна практика менеджменту відходів в умовах воєнних дій ґрунтується на моделях циркулярної економіки, де оновлення ресурсного потенціалу відбувається через переробку сировини з повторним використанням у виробництві. Аналіз ситуації показав неспроможність використання теоретично-методичних засад довоєнного періоду та необхідність пошуку нових технологічних рішень, які враховують особливості хімічного складу, структури, зносу матеріалів.

Розроблено нову методику постановки експертного експерименту з експертизи відходів

руйнації, алгоритм якої містить виокремлення зі всього різноманіття матеріалів еталонних зразків і зразків-свідків; експериментальні дослідження та аналітичний опис їх макро- і мікроструктури; формулювання головних ідентифікаційних ознак деградації структури у порівнянні з еталонними зразками; експериментальні випробування на зразках-свідках з визначенням кількісного і якісного характеру пошкодження; складання калібрувальної шкали для кожного виду зразку матеріалу з вибірки.

Наукові результати сформульовані у вигляді моделі задачі експертизи відходів руйнації з розробкою організаційних заходів щодо їх рециклінгу, що являє собою підґрунтя для створення стартапів з впровадження беззалишкових технологій. Реалізація програми планується на підприємствах Херсонської і Миколаївської областей.

Список літератури:

1. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії росії проти України за рік від початку повномасштабного вторгнення. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2023/03/UKR_Feb23_FINAL_Damages-Report-1.pdf (дата звернення 22.07.2023)
2. Марченко В. М., Гречко В. В., Корогодова О. О. Циркулярний підхід до управління військовими відходами. *Матеріали III Міжнародної науково-практичної конф. «Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи»*. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. 292 с.
3. Фісуненко П. А., Герасимова О. Л. Напрями зменшення ризиків воєнного екоциду за допомогою рециклінгу будівельних відходів в девелопменті нерухомості. *Економіка і суспільство*. 2022. 45. URL: <https://economyandsociety.in.ua> (дата звернення 22.07.2023).
4. Токарчук Д. М. Особливості утворення і поводження з відходами під час воєнних дій: досвід України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2022. 2. С. 109–122.
5. Ляшенко Р. В. Основні підходи до управління в бізнесі. *Молодий вчений*. 2018. 12 (64). С. 296–301.
6. Гнатуш В. А., Дорошенко В. С. Сучасне застосування металевих сплавів для автомобілебудування. *Met. Lit'e Ukr*. 2019. Vol. 27 № 10–12 (317–319), Pp. 74–81.
7. Пашкова О. М., Нардід Л. В., Руднева К. Є., Зарубіна М. В. Характеристика сучасних полімерних матеріалів та їх застосування в автомобілебудуванні. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики: збірник наук. праць*. Харків: Право, 2020. Вип. 21. С. 388–410.
8. Щодо використання полікарбонату або іншого полімерного матеріалу як легкоскладної конструкції у вибухонебезпечних виробничих приміщеннях / О. Ф. Нікулін, Д. О. Добряк, О. М. Крикун, Н. В. Кравченко, О. В. Савченко, Ю. В. Луценко. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2021. Т. 32 (71). 4. С. 275–282.
9. Бардаш М. С., Подольна В. В., Писанець К. К. Аналіз використання енергозберігаючих віконних систем на українському ринку скла. Електронний журнал «Ефективна економіка». 2015. 12. URL: http://economy.nauka.com.ua/pdf/12_2015/49.pdf (дата звернення 26.07.2023).
10. Шабетя О. А. Міцність скла, модифікованого методами на основі іонного обміну і травлення. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. 2019. 1. С. 109–114.
11. Поліщук В. А. Особливості експертного експерименту під час проведення судових комп'ютерно-технічних експертиз. *Криміналістичний вісник*. 2018. 2 (30). С. 116–121.
12. Миндюк В. Д., Карпаш М. О., Доценко Є. Р. Досвід та проблеми оцінки деградування структури та механічних властивостей сталей трубопровідного сортаменту. *Науковий вісник ІФНТУНГ*. 2012. 2 (32). С. 222–227.
13. Доманцевич Н. І., Яцишин Б. П. Теоретичні аспекти процесів старіння полімерних матеріалів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2022. 30. С. 5–13. URL: <http://journals-lute.lviv.ua> (дата звернення 26.07.2023).
14. Казмиренко Ю. О., Дрозд О. В., Жарський Є. І. Технологічні особливості і фізико-хімічні процеси переробки кристалевих стекел на порошок. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Т. 31 (70). 4. С. 180–185.

15. Казимиренко Ю. О., Дрозд О. В. Системно-аналітичний підхід до підвищення ефективності рециклінгу виробничих скляних відходів. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету*. 2022. 29. С. 13–20. URL: <http://journals-lute.lviv.ua> (дата звернення 26.07.2023).

Drozd O.V. EXAMINATION OF DESTRUCTION OF WASTE BY MEANS OF STRUCTURAL DEGRADATION SIGNS OF MATERIALS AND PROSPECTS FOR RECYCLING

The research significance is determined by the need to dispose of the destruction waste due to armed aggression. The modern practice of waste management in the conditions of hostilities is based on circular economy models, where the renewal of resource potential occurs through raw material processing and reuse in production. The analysis of the situation showed the impossibility of using the theoretical and methodological principles of the pre-war period and the need to find new technological solutions that consider the peculiarities of the chemical composition, structure, and wear of materials.

The paper aims to develop a methodological approach to the examination of destruction waste, which is based on the criteria of structural degradation of materials and is underlying the development of organizational measures for their recycling. A situational approach with the expert experiment methodology was used when setting up the research. The technique with an implementation algorithm has been developed, containing the selection of reference samples and witness samples from the entire variety of materials; experimental studies and analytical description of their macro- and microstructure; formulation of the principal identification signs of structure degradation in comparison with reference samples; trial tests on witness samples to determine the quantitative and qualitative nature of the damage; compilation of a calibration scale for each type of material specimen from the sampling. The methodology was tested on witness samples of automotive steel, sheet window glass, and polymer slate, which were heated in an oxidizing environment and immersed in water. The proposed expert experiment method, unlike existing ones, will make it possible to determine the degree of material destruction based only on structural features and to conclude the expediency of its further processing into raw materials or other products. The scientific results are formulated as the model of the destruction waste recycling task with the organizational measures development, which is the basis for the implementation of no-residue technologies startups.

Key words: *scrap metal, cullet, polycarbonate, recycling, situational analysis, expert experiment.*

UDC 504.06, 628.35
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/29>

Yeremeyev I.S.

V.I. Vernadsky Taurida National University

Dychko A.O.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Remez N.S.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Kyselov V.B.

V.I. Vernadsky Taurida National University

Minaieva Yu. Yu.

V.I. Vernadsky Taurida National University

Ometsynska N.V.

V.I. Vernadsky Taurida National University

MEASURING, FORECASTING AND MONITORING SUSTAINABILITY OF BIOCHEMICAL WASTEWATER TREATMENT IN WAR PERIOD

The present paper provides the assessing scale of sustainability of the biochemical wastewater treatment facilities complexes in case of technogenic, natural or war catastrophes. To predict accidents in wastewater treatment facilities and contamination spread it is proposed to apply the knowledge base for the evaluation of the results of the accident influence or damage and the possible water basin and ecosystem pollution. The determined indicators of the facilities state allows to make a grounded decision making about the biochemical process optimizing because of their possible disturbances and low quality of treated wastewater because of natural or man-made accidents. Reliable monitoring of such indicators under changing environmental conditions includes the detection of Euclidean distance increment between pairs of real observable states, determination of the probability of the transition from state to state and dynamics and evaluation its possibility and impact on the system functioning. The proposed approach allows to include not observed states in the estimated uncertainty. Analysis and interpretation of data about hypothetic results of landslide as the result of war or terrorist act should be also included into the monitoring system about the engineering objects, as they initiate damages, microcracks, decrease in quality of the biochemical treatment etc., which can be not observed in time. It is developed the containment's evaluation procedure with the scale definition of status of the monolithic constructions of the facilities, that may be checked by their reaction on the external vibrations. Particular attention in case of the accident should be paid to the state of the active sludge, its ability to biotransformation of the pollutants of wastewater, the conducive conditions in bioreactors etc.

Key words: biochemical wastewater treatment, sustainability, uncertainty.

Introduction. To successfully solve the problems of minimizing pollution of the water basin, it is necessary to identify, first of all, indicators that signal the fact of pollution or the possible consequences of natural or man-made accidents or disasters, especially in war period. Such indicators include both the excess of permissible concentrations of pollutants, and the appearance (disappearance, decrease) in water of substances that are neutral in terms of changes in water quality, but contribute (prevent) the metabolism of pollutants, convert them into neutral compounds or into a state that facilitates cleaning processes.

This should also include such indicators as the rate of change of observed indicators, as well as natural and technogenic factors influencing the processes of migration and metabolism of pollution.

To do this, it is necessary to create a database of facts that includes all the observed phenomena associated with the pollution of the water basin and, on its basis, to build heuristic models for the migration and metabolism of pollution characteristic of the selected water basin or ecosystem.

Particular attention should be paid to the problems of a military nature, earthquakes, tornadoes and other

impacts both on the pathways of pollution distribution and on the qualitative composition of pollutants, taking into account both tectonics (for example, in points) that can unambiguously affect as the facilities with active sludge, biogas tank etc., so and the structure soils and cause visible consequences, and such that it can manifest itself after several cycles.

Measuring, forecasting and monitoring sustainability of the water basin under conditions of uncertainty. The natural water system is a classic model of the system which functions under conditions of uncertainty, because its states are determined, as a rule, not in real time, as the external disturbing factor; there is a dense but ambiguous connection between external factors (temperature of environment, atmospheric pressure, precipitation intensity, when the processes of purification are held, etc., and also with a considerable time lag between events and changes in the system state). The environmental monitoring of such system should provide:

- observation of the states and degrees of possibilities of these states;
- definition of states that are impossible in accordance with additional information (for example, the wastewater indicators may not be better or the same as indicators of natural waters);
- prediction of states those are not observed, but in principally possible, for those the given non-zero step of possibility $fM(c)$ is less than the minimum degree of possibility $fM(a)$ function, which is calculated for observed states [1–3].

Possibility of states' prediction that are not observed supposes the availability of external information or an informational connection between the event, the phenomenon and the system state. Such a connection really exists [4], but it is not monosemantic and allows only evaluating possible system state at quality level with a significant (up to several dozen percent) error. For example,

$$B = \log_s I - \log_s a, \quad (1)$$

or

$$1 - \frac{I}{a} \quad (2)$$

where p – parameter of distance function D_p (for Euclidean metric $p=2$) [1].

If the results base (obtained on the basis of multi-year studies of treatment facilities) is compiled and includes executions (the limits within which the characteristics of the basin water can be observed, with corresponding indicators of the probability of observation); a set of states that have an opportunity of zero-measure observations (the limits for which observed variable never overreaches); calculated

possible states (which are not really observed) and the corresponding opportunity degrees of their realization and the probable consequences of this realization, then it is possible to create conditions for management processes on the heuristic basis. All these need the reliable control of information, which is impossible without system reliability engineering and its predicting with reliability monitoring scheme under changing environmental conditions [5–10].

The detection of Euclidean distance increment between pairs of real observable states is proposed. These states are situated side by side under the same time interval. The probability and opportunity of the transition from state to state and dynamics (outward and interior) should be also defined. At last the detection of states feasible in principle (which are not locked on-line but may have an influence on system and its performance in global sense) and evaluation its possibility and impact are proposed. At the first step it is necessary to define situation on base of the data which are at the disposal (data of observation the current process on some observation interval). Further on different levels of specification there are identified the best hypotheses relatively realization of some generic system states, the conceive about how these hypotheses influence on real features of concerned variables. These conceives are composed on base of suitable experimental behaviour and specific functions. At last specified generalized restriction is supplemented or replaced by restrictions which are renewed by the best hypothesizes. With every of these ones it is the some degree of confidence is tied together. When using only the information contained in the data, this approach allows to include in the estimated uncertainty (generalized constraint) certain characteristics that cannot be determined by the real data that is observed, i.e. it is possible to predict or recover with a certain degree of certainty the states of variables not included in the forecast or recovery at the time of observation. To conclude, taking into account the "bottlenecks" in introducing the latest technologies of management of drainage systems helps to avoid their creation during the development of new systems, as well as in case of modernization of existing ones [12–13].

If we presents the degree of confidence increasing MB of hypothesis h on base of output e supervision in the form of

$$\ln(I/a), \quad (3)$$

where $P(h|e)$ – conditional probability h under known e , and $P(h)$ – expert evaluation of probability for the specified time interval, than degree of confidence increasing MD relatively h may be presented as

and the factor uncertainty CF may be presented as

$$I = \dots, \quad (4)$$

$$I = \dots \quad (5)$$

The values MB, MD and CF, obtained for the every specific event are placed in base also. The base may be used for formation of system control heuristics for operation under uncertainty conditions. These heuristics make it possible to improve the quality of water basin management under conditions of uncertainty and action under factors which are poor evaluated.

Decision about control action should be made on the base of selection (by Monte-Carlo approach) some contamination strates (bounds of existence, which in linguistic form may be presented as "Great value" (G), "Medium value" (M), "Low value" (L) and "Natural value" (N) when no control actions are required) with accounting the possibility of probability its realization. The spectrum of virtual contaminants thus obtained allows for appropriate regulatory action to be taken to minimize these contaminants.

The system's model of the water basin status management should be based on the cumulative data, the knowledge base, set of rules of production, logical deduction gear and conclusion building gear by means of uncertain and incomplete input data. In other words such model would be an Expert System (ES). Cumulative data or Data base (DB) as a rule is formed as the some quintets: context – parameter – value – attendant factors – comments. The context may be presented as the point with fixed spatial coordinates and attendant data (number of point, the date of measurement, the measurement procedure); parameter – defines the general activity of specimen and radionuclides' spectrum; value – defines α - β - and γ -activity of each spectrum component (absolute or comparative); attendant factors define the routine monitoring results or the results caused by force-majeure (earthquake, flood, man-caused and so on); comments define the presence and nature of changes in comparison with the previous measurements, other peculiarities.

Knowledge base (KB) should save the behaviour's alternative models of all system components and the system as a whole under the various conditions of functioning, various external factors and conditions, various forms and processes of effluents transference.

The rules of production (RP) or heuristics are formed per next sample:

IF (precondition), THEN (action) [index of distinctness ID]. (6)

As the preconditions the quintets conjunctions and action which includes the quintet's parameters

value definition may be used. For the action's quintet ID computation there are used the rule's ID together with the ID of those quintets that are related to rule in question.

The rules may be used on the base of relative precondition for action quintet's parameters values awarding (the direct sequence of deduction guided by data) or proceed from action's quintet for ascertainment those precondition quintets which should be defined (inverse sequence of deduction guided by the goal).

The main goal is the accumulation of possible preconditions and possible actions. Index of distinctness may be computed by ID precondition, ID rule and output quintet's ID.

ID precondition is determined by the least of the ID statements which are compose the precondition.

Obtained values are multiplied by rule's ID (for the part which meets for action) and then the resulting index (RI) is arrived. If the quintet is not shaped for this moment, RI may play the role of quintet's ID. If the last exists with the output index (OI) the values of ID are found by next procedure:

$$ID = OI + RI(1 - OI), \quad RI, OI > 0$$

$$ID = - (|RI|/(1 - |OI|)), \quad RI, OI < 0 \quad (7)$$

$$ID = \frac{|OI| + |RI|}{1 - \min\{|OI|, |RI|\}}, \quad RI, OI < 0.$$

In case of an accident in water basin with pollution spread dynamics let's consider several heuristics:

IF ([the water basin pollution WBP spot dynamics is within the 2σ limits (SPOTSTAB)] AND [natural and/or man-made accidents during the previous measurements' cycles are absent (NMMA=0)]), THEN [monitoring procedure is routine (MONROUT)].

IF [SPOTSTAB] AND [NMMA=1], THEN [together with MONROUT the causal monitoring MONCAUS for the points which are laid on the direction from accident epicenter (AEC) should be provided, i.e. MONROUT + MONCAUS AEC].

IF [SPOTSTAB] AND [it is a tendency to increase of average monotonous displacement of WBP spot in the same direction within 2σ limits (TMD 2σ)], THEN [MONROUT + MONCAUS MD] (MONCAUS MD – extra causal monitoring in monotonous RAW spot displacement's direction).

IF [SPOTSTAB] AND [NMMA=0] AND [NONSTABSPOTNOCR], THEN [check the RAW expansion model conformity CHECKEXPMODCONF] (NONSTABSPOTNOCR – RAW spot dynamics is not critical).

Checking the model may be realized by definition of its sensitivity to parameters' deviations and

adjustment of certain parameters for the purpose of accordance the predicted on the time of extrapolation and real measured at that time values of WBP. After this adjustment the WBP spot dynamics modeling is realized along the all period of functioning of depository. There is also another permissible step (if there are several models of WBP spot dynamics): implementation of concurrent modeling by several models and using the model which has the minimal metrics of predicted distribution of WBP spot relative to the real distribution.

IF ([SPOTNSTABn-1] AND [SPOTNSTABn] AND [NMMA=0] AND [NONSTABSPOTNOCR] AND [the vectors of WBP spot shifts are situated in different quadrants – VECTSPOTSHIFTDIFQUAD]), THEN [CHECKEXPMODCONF]. The [SPOTNSTABn-1] and [SPOTNSTABn] correspond to the WBP spot dynamics detection in (n-1)-th and n-th measurement cycles.

IF ([SPOTNSTABn-1] AND [SPOTNSTABn] AND [NONSTABSPOTNOCR] AND [NMMA=0] AND [the vectors of WBP spot shifts are situated in the same quadrant – VECTSPOTSHIFTSAMQUAD]), THEN [CHECKEXPMODCONF] AND [check the density of separate blocks or containment as a whole – CHECKCONTDENS].

IF ([NONSTABSPOTCRIT] AND [NMMA=1] AND [VECTSPOTSHIFTDIFQUAD]), THEN ([it is necessary to change MONROUT at the critical procedures of monitoring MONCRITIC] AND [use the WBP expansion critical models WBPEXPCRITMOD]. MONCRITIC assumes the changing of range, changing of parameters' measuring frequency in the all points around WBP spot with the selective measurements in the points in which the parameters have the largest values. WBPEXPCRITMOD – the models concerned with formation of the channels along which the WBP expansion is realized more strongly.

IF ([NONSTABSPOTCRIT] AND [NMMA=1] AND [VECTSPOTSHIFTSAMQUAD]), THAN [MONCRITIC] AND [WBPEXPCRITMOD] AND [man-made protective barrier establishing across the WBP spot movement path PROTBAR if the movement is directed to the settlements, the water supply points and so on].

Reliable assessment of the state of wastewater biochemical treatment facilities. One of the main problem of WBP dynamics is the seismic resistance which is realized by design monitoring (with the aid of direct and mediate methods) for the exposure and elimination the danger of wastewater treatment facilities destruction, the great landslides

data collection, knowledge level increasing about deviations in the main direction of subterranean waters redistribution, drawing up the seismic dangerous maps connected with the treatment facilities influence zone. Mentioned monitoring in routine process periodically analyzes the facilities conditions but in the cases of natural or man-made, war accidents which may influent on the facilities conditions the code of causal monitoring is activated.

For the easing of mentioned types of monitoring procedures there are recommended the accelerometers setting in separate assemblies of facilities structure for the recording of vibrations caused by possible landslide sources. Similar action promotes the analysis and interpretation of appeared situation. Seismic landslides and landslips, which challenge the soil vibration, generate the destructive waves in the reservoirs and rivers, dangerous for the installations and soil structure. On the maps characterized the prospective surface movements (for example, natural frequency and intensity of earthquakes) facilities in-situ it is necessary to insert the instructions related to possible damages, local geological structure, probability of steady landslides, landslips and soil rarefactions inside of every seismic zone and immediately in zone of wastewater treatment facilities location.

Analysis and interpretation of information about hypothetic results of each landslide or earthquake are very difficult because of lack the precise and single meaning data. Therefore these facts should be taken into account in process of decision making. After the significant burst or earthquake the installations may be damaged but as a rule the results of these injuries are difficultly observed – there may be microcracks, changes in internal facilities bearing structures and so on. The results may be observed later, for example by increasing of BWP components concentration in subsoil waters in wells drilling around of facilities. Index of BWP components leakage may be represented as “summary area of microcracks – to summary area of facilities” relation (or “summary area of microcracks – to area of facilities bottom” relation). As a facilities damage scale it may be used the next categories of status:

- A – Damages are absent or immaterial;
- B – The slight or medium damages;
- C – The significant damages;
- D – Entire damage of facilities when its functioning is not possible.

The monolithic constructions of the facilities theoretically may be checked by their reaction on the external vibrations. Their natural frequency and

Table 1

Class	WBP limits (max)	Facilities condition evaluation	Overall performance of technical condition
0	$< 2\sigma$	Good	Damages are absent. The all processes are flow under license
1	$\leq 2\sigma$	Satisfactory	Damages are absent or immaterial
2	$> 2\sigma$	Non satisfactory	Approximately uniform expansion of WBP spot evidence of overall marginal damage of compaction which may be compensated by drainage
3	$\gg 2\sigma$	Breakdown	Monotonous growth of WBP spot along the direction on the accident's epicentre evidence of essential damage of facilities. It is necessary to build the artificial barrier between facilities and important zones near them which are on the way of WBP spot movement. If the WBP spot movement stopping is impossible it should be considered the question of these zones evacuation or alternation of their activity

external source vibration's absorption factor may be used for evaluation. As the several authors claims [11]: the more damages – the less (droningly) natural frequency but external source vibration's absorption factor from the beginning arises and then – decreases. Hence the alternations in constructions' inflexibility and especially vibrations may be used as indexes of structural damages. Such investigations should be carry out after each earthquake which is fixed in-situ of facilities. It is necessary also to fulfill some analytical inspection which supposes the careful study of initial constructive calculations, designed specifications, and implementation of extra structural analysis combined with field observations and test data.

The first step in containment's evaluation procedure (CEP) consists of status scale definition (for example – four):

“0” – the absence of whatever problem (during the several previous years there were no natural or man-made accidents which may influence on soil, subsoil waters and facilities' installations structures; the monitoring results witness that level of WBP components pollution in the points being periodically controlled is not characterized by monotonous changes and registered deviations out of natural background in limits of doubled error of measuring methods or measuring instruments.

“1” – presence of negligible problems (during the previous routine monitoring cycle it was a certain accident epicenter of which was remote from facilities but in controlled zone the some small shocks were observed; during the previous and current routine monitoring cycles the monotonous changes of WBP components pollution distribution were not revealed but the marginal coming out of 2σ limits in one or several controlled points were observed).

“2” – presence of increased filtration of WBP components (during the previous and current routine monitoring cycles and causal parameter measurement

in points which are positioned along over direction to the meaningful accident epicenter – although this epicenter is substantial remote from the facilities influence zone – the monotonous movement of WBP components spot is found out and it oversteps the limits 2σ in every direction).

“3” – presence of essentially damaging of facilities (during the previous and especially current routine monitoring cycles and causal parameter measurements the important parameter changes ($\gg 2\sigma$) are found out first of all in the points joined along the considerable accident't epicenter direction and this epicenter is relatively close to facilities.

The wastewater treatment facilities containment status scale definition may be presented as in the Table 1.

The containment status scale evaluation has some uncertainty and that fact may have influence upon the decision-making procedure. If the wastewater facilities containment status is represented in digital form as a belonging function μ_d then for the above-mentioned stated cases the next table may be arranged (Table 2). Here [0] – absolute non true, [0,1–0,3] – the poor level of truth, [0,4–0,5] – essentially level of truth, [0,6–0,7] – the high level of verity, [0,8–0,9] – almost the verity, [1,0] – well-defined truth.

Table 2

Class	Membership function	d = 0	d = 1	d = 2	d = 3
“0”	μ_d	0,9	0,8	0,4	0,1
“1”	μ_d	0,8	0,9	0,6	0,2
“2”	μ_d	0,2	0,9	0,9	0,8
“3”	μ_d	0	0,5	0,8	0,9

The belonging to status which corresponds to classes “0”, “1”, “2” or “3” is derived from equation

$$\mu = \max \{\mu_0, \mu_1, \mu_2, \mu_3\}. \quad (8)$$

The real facilities status may be found out by taking into account the accumulated effect of seismic

stresses (landslides, fractures, shocks) influence. For that it is necessary to:

- Determine the frequency and strength of shocks in-situ of facilities over the all observations period and on the base of these data formulate the forecast in advance.

- Simulate the influence of accumulated landslides, fractures and shocks on the facilities constructions from point of view the probability of structure changes in facilities walls and bottom which may stipulate the formation of microcracks net, summary area of which promote the WBP components departure (migration).

- Determine the threshold pollution exceeding of which guarantees the more than 50% probability of microcracks net rise.

After listed steps it is necessary to equip the stations for the facilities status monitoring by accelerometers connected with automated monitoring system (AMS). The accelerometers data should be accumulated in the next format: [date, shocks amount, integrated value of shocks strain, the maximal acceleration in succession, series duration].

It is necessary to bring in heuristics the data listed in the format and at the same time transmit them to the Facts Base, where possible – with the comments (if it is connected with subsequent WBP spot dynamics detection, which is correlate with the fact).

At the same time the heuristics 1–8, presented above, may be formulated as following:

1-a. IF ([SPOTSTAB] AND [NMMA=0] AND [TLS=0]), THEN [MONROUT] (here TLS=0 means that tectonic landslides [TLS] are absent or $ATLS \leq THR1$ where $ATLS$ – the accumulated TLS, $THR1$ – threshold for the case when the maximal shock value is within limits of average minimal shock during the all time of observations).

2-a. IF ([SPOTSTAB] AND [NMMA=1] AND [TLS=1]), THEN ([MONROUT + MONCAUS AEC]) (here TLS=1 means that tectonic landslides occurs but their values are small, although exceed the $TRH1$).

3-a. IF ([SPOTSTAB] AND [TMD2 σ] AND [TLS=2]), THEN ([MONROUT] AND [MONCAUS MD]) (here TLS=2 means that tectonic landslides are noticeable and accumulated landslides ALS are within limits $THR1 < ALS < 0,2 THR$).

4-a. IF ([SPOTSTAB] AND [NMMA=0] AND [NONSTABSPOTNOCR] AND [TLS=2]), THEN [CHECKEXPMODCONF].

5-a. IF ([SPOTNSTAB $n-1$] AND [SPOTNSTAB n] AND [NMMA=0] AND [NONSTABSPOTNOCR] AND [VECTSPOTSHIFTDIFQUAD] AND [TLS=2]), THEN [CHECKEXPMODCONF].

6-a. IF ([SPOTNSTAB $n-1$] AND [SPOTNSTAB n] AND [NMMA=0] AND [NONSTABSPOTNOCR]

AND [VECTSPOTSHIFTSAMQUAD] AND [TLS=3]), THEN [CHECKCONTDENS]. (here TLS=3 means that tectonic landslides are noticeable and accumulated landslides ALS are within limits $0,2 THR < ALS \leq 0,4 THR$).

7-a. IF ([NONSTABSPOTCRIT] AND [NMMA=1] AND [TLS=3] AND [VECTSPOTSHIFTDIFQUAD]), THEN [MONCRITIC].

8-a. IF ([NONSTABSPOTCRIT] AND [NMMA=1] AND [TLS=4] AND [VECTSPOTSHIFTSAMQUAD]), THEN ([MONCRITIC] AND [RAWEXPCRITMOD] AND [PROTBAR]). (here TLS=4 – tectonic landslides within ALS limits $0,4THR \leq ALS \leq 0,7 THR$).

In case of breach of the treatment process, each operating rule for choosing the method of regulating the wastewater biochemical treatment [14-15] can be presented in the form of the heuristics as follows:

IF {(VWS_A) AND (WPC_A) AND (ASC_A) AND (ASI_A)},

OR {(VWS_S) AND (WPC_B) AND (ASC_B) AND (ASI_B)}, THEN {NIT_B},

IF {(VWS_A) AND (WPC_A) AND (ASC_B) AND (ASI_A)}, THEN {NIT_A},

IF {(VWS_B) AND (WPC_A) AND (ASC_A) AND (ASI_B)}, THEN {NIT_B},

where VWS – velocity of the wastewater stream, WPC – pollutants concentration in wastewater, ASC – active sludge concentration, ASI – active sludge index (reflects its properties), NIT – necessity for intensification of treatment process, and A, G, S, – relevant estimates (average, big and small) [14–15].

In addition to the procedures given above after reconstruction of the damaged biotechnological wastewater treatment facilities for the successful functioning of the bioreactor it should be paid attention to:

1. The content of wastewater:

- it should be acceptable for the microorganisms activity: pH, temperature, loading by COD, toxic elements availability etc.

The results of the standard analyses made may be insufficient, because wastewater may contain heavy metals, oils, acids, Caprolactam, Formaldehyde, HMD etc.

2. The properties of the active sludge immobilizing material:

- the influence of the material on treated water and microorganisms: it may be extraction of toxic elements (HMD, acids etc.) into water;

- exclusion of fibres getting into water from immobilizing material; providing the strength of the filter for exclusion of getting into water the materials of filter.

3. The type of microorganisms: will it be clean culture (or 2–3 cultures), or active sludge, which may be adopted to such type of water. Work with clean culture is always more difficult, because some, even little changes in wastewater can kill all the culture, but active sludge is able to adopt to the new conditions.

4. Possibility of the immobilizing material regeneration: the culture should grow and it should be the regime for the optimal young, not old cells of microorganisms. Some pollutants, such as heavy metals etc., will be agglomerated at the elements of the biofilter, so there should be a system for cleaning filters.

For the aim of environmental safety ensuring utilisation of the worked out immobilizing material and old cells of microorganisms. The disinfection of treated water from microorganisms is also required.

Conclusions. The organization of monitoring these and other indicators (permanent or selective, including those organized on the basis of risk models) helps to monitor the dynamics of the state of the water basin and provide a forecast of its possible state at a given point in time. And this optimizes both the quality of water and the processes of its biochemical treatment.

Bibliography:

1. V. Subouri, P. Femenias, in *Sustainability in energy and buildings* (Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013)
2. D. Powell et al. *Testing the Input Timing Robustness of Real-Time Control Software for Autonomous Systems (EDCC'12. Proceedings of the 2012 Ninth European Dependable Computing Conference*. IEEE Computer Society, USA, May 2012. DOI:https://doi.org/10.1109/EDCC.2012.16)
3. N.M. Okasha, D.M. Frangopol. *Redundancy of structural systems with and without maintenance: An approach based on lifetime functions* (Reliability Engineering and System Safety, **95**, 5 (2010))
4. A. Dychko, I. Yeremeyev, N. Remez, et al. *Structural redundancy as robustness assurance of complex geoengineering systems (E3S Web of Conferences, 166*. (EDP Sciences, 2020)
5. Z.X. Fang, H.T. Fan *Redundancy of Structural Systems in The Context of Structural Safety* (Procedia Engineering, **14**, (2011))
6. M. Ram, *Modeling and simulation based analysis in reliability engineering* (CRC PRESS, 2018)
7. I. H. Witten, E. Frank, M. Hall. *Data Mining. Practical Machine Learning Tools and Techniques* (Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier, 3-d ed., 2011)
8. R. W. Scholz. *Environmental literacy in science and society: from knowledge to decisions* (Cambridge University Press, 2011)
9. G.A. Statiuha. Sustainable development – concepts, approaches and models. *Systems Proceedings and Information technologies*, **4** (2011)
10. A. Hinrichs et al. Algorithms and Complexity for Continuous Problems. *Dagstuhl Reports 2016*, **5**, 9 (Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2016)
11. N.V. Karadimos, V. Loumos, A. Orsoni. Municipal Solid Waste Generation Modeling based on Fuzzy Logic. *Proceedings 20th European Conference on Modelling and Simulation*, (2006)
12. S. Plunge. *Risks versus Costs: A New Approach for Assessment of Environmental Systems Analysis* (Chalmers University of Technology, Diffuse Water Pollution Abatement. Department of Energy and ironment Division of Goteborg, Sweden, ESA Report No. 2009:12, 2009). ISSN 1404-8167
13. R. Brouwer, C. Blois. Integrated modelling of risk and uncertainty underlying the cost and effectiveness of water quality measures. *Environmental Modeling and Software*, **23** (2008)
14. Дичко, А. О., Євтеєва, Л. І., & Ополінський, І. О. Інтенсифікація процесу біоенергетичної трансформації біомаси у біогаз. Управління розвитком складних систем, **22** (1) (2015).
15. A. Dychko et al. Monitoring and biochemical treatment of wastewater. *Journal of Ecological Engineering*, **21.4** (2020)

Єремєєв І.С., Дичко А.О., Ремез Н.С., Кисельов В.Б., Мінаєва Ю.Ю., Омецинська Н.В. ВИМІРЮВАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГ СТІЙКОСТІ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД У ВОЄННИЙ ПЕРІОД

У дослідженні представлена шкала оцінки стійкості комплексів біохімічних очисних споруд у разі техногенних, природних або воєнних катастроф. Для прогнозування аварій на очисних спорудах та поширення забруднення пропонується застосовувати базу знань з метою оцінки результатів впливу або наслідків аварії та врахування можливого забруднення водного басейну та екосистеми. Встановлені індикатори стану об'єктів дозволяють прийняти обґрунтоване рішення про оптимізацію біохімічних процесів через їх можливі порушення та низьку якість очищених стічних вод внаслідок природних або техногенних аварій. Достовірний моніторинг таких показників за змінних умов навколишнього

середовища включає виявлення приросту евклідової відстані між парами реально спостережуваних станів, визначення ймовірності переходу від стану до стану та динаміки, та оцінку його ймовірності та впливу на функціонування системи. Запропонований підхід дозволяє включити неспостережувані стани в оцінену невизначеність. Аналіз та інтерпретація даних про гіпотетичні наслідки зсувів внаслідок війни чи терористичного акту також мають бути включені до системи моніторингу інженерних об'єктів, оскільки такі зсуви ініціюють пошкодження, мікротріщини, зниження якості біохімічного очищення тощо, які можуть не спостерігатись вчасно. Розроблено методику оцінки захисної оболонки з масштабним визначенням стану монолітних конструкцій об'єктів, що можна перевірити за їх реакцією на зовнішню вібрацію. Особливу увагу при аварії необхідно звернути на стан активного мулу, його здатність до біотрансформації забруднюючих речовин стічних вод, сприятливі умови в біореакторах тощо.

Ключові слова: біохімічне очищення стічних вод, стійкість, невизначеність.

УДК 338.3:662.749.2
DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/30>

Кравченко С.О.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Мірошниченко Д.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Чеботарьов А.М.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Туркіна О.В.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Чаплянко С.В.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Приплюцький С.І.

ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Лебедєв В.В.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Грушецький В.О.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ВИЗНАЧЕННЯ КАПІТАЛЬНИХ ВКЛАДЕНЬ НА РЕКОНСТРУКЦІЮ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА З ПОРІВНЯННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ГАСІННЯ КОКСУ

У рамках розробки науково-технічної документації з реконструкції коксохімічного виробництва одного з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України виконано аналіз доцільності впровадження технологій сухого і мокрого гасіння коксу. Основними питаннями, що підлягали вирішенню за рахунок реконструкції, були: збільшення об'єму та ефективності виробництва коксу, покращення якості коксу, розширення сировинної бази зі збільшенням частки слабкоспікливого вугілля українського походження у вугільній шихті, стабілізація і збільшення надійності роботи коксохімічного виробництва за рахунок відновлення основних фондів, зменшення шкідливих викидів у навколишнє природне середовище. За даним комплексним проектом до основних об'єктів нового будівництва у коксовому цеху відносилися: вугільна вежа, об'єкти коксової батареї (із впровадженням технології транспортування вугільної шихти), об'єкти установки безпиллової видачі коксу, об'єкти комплексу гасіння коксу, об'єкти розсієву коксу, вентустановка подачі повітря в тунелі коксових батарей, насосна гідроінжекція. Показано економічну доцільність впровадження технології сухого гасіння коксу, незважаючи на більшу (на 20,6 %) суму капітальних вкладень (за рахунок будівництва додаткових об'єктів, впровадження додаткових супровідних процесів і використання додаткового обладнання/устаткування) завдяки значній майбутній економії (збільшення доходу від утилізації тепла виробництва коксу, отримання пари енергетичних параметрів і реалізації товарного коксу, зниження витрат коксу та тепла у доменному виробництві, витрат на ремонт устаткування і металоконструкцій, транспортних витрат на перевезення коксу, тощо) і врахуванням фактору рівня впливу на навколишнє природне середовище.

Ключові слова: капітальні вкладення, коксохімічне виробництво, нове будівництво, реконструкція, коксова батарея, гасіння коксу, УСГК.

Постановка проблеми. Розвиток і ефективність діяльності промислових підприємств у значній мірі залежать від їх загальної інвестиційної активності. Капітальні вкладення у збільшення виробничих потужностей, впровадження інноваційних технологій, покращення енергозбереження та зниження рівня шкідливого впливу на навколишнє середовище сприяють забезпеченню розвитку та конкурентоспроможності окремих підприємств, що, у свою чергу, забезпечує стабільність економічного розвитку держави у цілому [1–4]. Слід зазначити, що першочерговою задачею замовника будівництва було збільшення об'єму виробництва металургійного коксу в середньостроковій перспективі на ~30 %.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз роботи коксохімічних підприємств показав, що при застосуванні технології сухого гасіння коксу ефективність використання енергоресурсів становить 90 %. Разом з тим, відповідно до стратегічного плану розвитку підприємств коксо-хімічної галузі України досліджуються питання збільшення ефективності виробництва коксу, покращення якості коксу, розширення сировинної бази зі збільшенням частки слабкоспівливого вугілля українського походження, що використовується в коксуванні, стабілізації і збільшення надійності роботи коксохімічного виробництва за рахунок відновлення основних фондів, зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище відповідно до вимог екологічних норм [5, 6]. Досвід ДП «ГИПРОКОКС» із сумісного використання технологій трамбування вугільної шихти й сухого гасіння коксу свідчить про покращення якості коксу (у середньому: механічна міцність M25 більша на 1,7 %, M10 нижча на 0,6 %, реакційна здатність CRI нижча на 4,5 %, післяреакційна міцність CSR більша на 5,5 %). Покращення якості коксу відображається на його вартості: відпускна ціна 1 т металургійного коксу визначається з урахуванням надбавок до ціни за якість (при збільшенні міцності коксу за показником M25 на 1 % – надбавка до ціни 0,6 %; при зниженні показника M10 на 1 % - надбавка до ціни 2,6 %). Гранулометричний склад коксу сухого гасіння також відрізняється вищою рівномірністю. Вміст крайніх класів крупності коксу зменшується: на 2,5–3,5 % для фракції >80 мм, на 0,1–0,2 % для фракції <25 мм. Вологість коксу сухого гасіння коливається у значно менших межах, що також важливо для стабільної роботи доменних печей. При використанні коксу сухого

гасіння через менший вміст вологи знижуються витрати на ремонт коксовозних вагонів і транспортні витрати на перевезення коксу, не потрібні витрати тепла на випаровування вологи в доменних печах.

Метою даної статті є визначення і порівняння доцільності впровадження технологій сухого і мокрого гасіння коксу при реконструкції коксохімічного виробництва, у тому числі – при новому будівництві промислових об'єктів, в умовах одного з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Задля отримання намічених результатів у коксовому цеху передбачено нове будівництво двох коксових батарей із технологією трамбування вугільної шихти, установки безпиллової видачі коксу (надалі УБВК), установки гасіння коксу, об'єктів розсіву коксу, вентустановка подачі повітря в тунелі коксових батарей, насосної гідроінжекції, тощо.

До складу основних об'єктів для кожної коксової батареї входять:

- коксова батарея з боровами та примиканням спільного борову до димової труби;
- кінцевий майданчик;
- обслуговуючі майданчики вздовж батареї з коксової та машинної сторін;
- димова труба;
- фундаменти та шляхи ТЗВМ;
- фундаменти та шляхи коксогасильного (коксозного) вагона;
- естакада установки УБВК.

Спільними об'єктами для двох коксових батарей є:

- вугільна вежа;
- проміжний майданчик;
- об'єкти мокрого гасіння коксу або УСГК;
- вентустановка безпиллової видачі коксу.

УБВК включає: стаціонарний колектор із газоперепускним візком, що прокладається вздовж фронту батарей і призначений для прийому пилоповітряної суміші, яка утворюється при видачі коксу з печі; парасольку спеціальної конструкції, яка встановлюється на коксонапрямній дверізійомній машині; пилоочисну установку з димососами й обладнанням сухого очищення від пилу (циклонами та рукавними фільтрами); з'єднувальний трубопровід від колектора до вентустановки.

До складу об'єктів мокрого гасіння коксу входять:

- гасильна вежа (висотою 40 м) із системою пилепарозаглушення та зрошувальним пристроєм;
- насосна;
- відстійне господарство з естакадою та грейферним візком.

УСГК складається з трьох блоків «камеракотел» (продуктивність кожної 70 т/год) із індивідуальними підйомниками та має підземну частину галереї транспортування погашеного коксу з двома конвеєрними лініями. Передбачено для УСГК і заходи щодо зниження викидів коксового пилу: система аспірації із окремою пилоочисною установкою УСГК (двоступінчасте очищення), очищення від пилу надлишкових циркулюючих газів УСГК (сухі високоефективні пиловловлювачі).

До об'єктів розсіву коксу за технологією мокрого гасіння входять:

- коксова рампа (довжиною 90 м) з бункером зворотного коксу та натяжними станціями;
- перевантажувальні вузли (3 од.);
- коксортувальня з вбудованими бункерами;
- конвеєрні тракти.

До об'єктів розсіву коксу за технологією сухого гасіння входять:

- УСГК (низ);
- установка знеплення коксу;
- перевантажувальні вузли (2 од.);
- коксортувальня з вбудованими бункерами;
- пилоосаджувальна станція з вакуумним пневмотранспортом коксового пилу;
- конвеєрні тракти.

Розрахункова проектна продуктивність хімічних цехів по коксовому газу складе $186540 \text{ м}^3/\text{год.}$, максимальна продуктивність обладнання по коксовому газу цехів уловлювання та сіркоочищення – до $200000 \text{ м}^3/\text{год.}$

Слід окремо зазначити, що у цеху уловлювання передбачено, у тому числі, нове будівництво сульфатної установки (із використанням на стадії кристалізації солі вдосконаленої технології безсатураторного способу очищення коксового газу), а у цеху очистки коксового газу від сірководню – реконструкцію об'єктів уловлювання сірководню (доведення продуктивності скрубєрів обох черг (газових потоків) до $80000 \div 90000 \text{ м}^3/\text{год.}$ по коксовому газу та встановлення нових для другого ступеня очищення по одному на кожен чергу продуктивністю до $100000 \text{ м}^3/\text{год.}$). Для технології сухого гасіння коксу в енергетичному господарстві передбачено нове будівництво котельні УСГК з котлом утилізації надлишків циркулюю-

чих газів, деаераційно-живильною установкою та допоміжним корпусом, а також машинного залу УСГК із конденсаційною турбіною. Котли-утилізатори вироблятимуть пару високого тиску, що створить можливість вироблення електроенергії на задоволення власних потреб у кількості $69,04 \cdot 106 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ на рік (без урахування витрат на УСГК і машинний зал УСГК).

Як зазначалося вище, при розробці науково-технічної документації з реконструкції коксохімічного виробництва визначали доцільність впровадження технологій сухого і мокрого гасіння коксу.

Технологія сухого гасіння коксу, порівняно з мокрим, має наступні переваги [7]:

- утилізація від 40 до 50 % тепла, що витрачається на виробництво коксу;
- отримання пари енергетичних параметрів у кількості $0,45\text{--}0,50 \text{ т}$ на одну тону погашеного коксу (використовується для технологічних потреб у системі паротеплопостачання підприємства або для виробництва електроенергії);
- скорочення шкідливих викидів в атмосферу;
- зниження витрати коксу в доменному процесі та підвищення продуктивності доменних печей за рахунок поліпшення показників якості металургійного коксу по механічній міцності, реакційній здатності, гранулометричному складу, зменшенню вмісту вологи;
- виключення корозії устаткування і металоконструкцій, яка виникає в зоні впливу краплинного виносу при мокрому гасінні;
- збільшення виходу коксу з камери коксування.

Таким чином, при визначенні та порівнянні доцільності технологій сухого і мокрого гасіння коксу слід також враховувати переваги сухого гасіння з майбутньої економії за рахунок: збільшення доходу від реалізації товарного коксу, зниження витрат коксу у доменному виробництві, реалізації додаткової кількості товарного коксового газу (в еквіваленті умовного палива від пари енергетичних параметрів), тощо. Для виконання розрахунків використали відомості, зазначені у звітних даних замовника. Закладено для обох розглянутих технологій гасіння коксу використання вугільної шихти однакового складу.

Вихідні дані для розрахунку наведено у табл. 1, річний об'єм виробництва продукції на коксових батареях – у табл. 2, відомості щодо очищення коксового газу – у табл. 3.

Таблиця 1
Вихідні дані для коксових батарей 1-БІС та 2-БІС

Найменування показника	Значення показника
Кількість коксових батарей, шт.	2
Кількість коксових печей, шт.: у батареї усього	57 114
Об'єм камери коксування, м ³	35,8
Об'єм вугільного пирога, м ³	32,2
Щільність вугільного пирога за сухою шихтою, т/м ³	1,017
Кількість газозбірників на одну батарею, од.	2
Час обороту печей, год.	25,05
Вихід сухого валового коксу з 1 т сухої шихти, %	72,0
Вихід коксу по фракціям, %: кокс доменний (>25 мм), коксівий горішок (10 – 25 мм), коксівий дрібняк (0 – 10 мм)	92,5 2,0 5,5
Вихід коксового газу, приведеного до калорійності 4000 ккал/м ³ , із 1 т сухої шихти, м ³	440
Витрати коксового газу на опалення коксівих батарей, млн.м ³ /рік.	206,9

Таблиця 2
Річний об'єм виробництва продукції коксових
батарей 1-БІС та 2-БІС

Найменування показника	Значення показника
Потреба у сухій шихті для коксування, тис. т	1305,5
Виробництво валового коксу 6 % вологості, тис. т	1000,0
Виробництво сухого валового коксу, тис. т	940,0
Виробництво коксового газу, приведеного до калорійності 4000 ккал/м ³ , тис.м ³ /год.	65,6
Валові ресурси коксового газу, приведеного до калорійності 4000 ккал/м ³ , млн.м ³ /рік	574,4
Виробництво хімічних продуктів*:	
– смола кам'яновугільна безводна, т	48422
– бензол сирий, т	12249
– сульфат амонію, т	22500

* – обсяг виробництва продукції в хімічних цехах розраховано виходячи з кількості використаної для виробництва коксу сухої шихти і прийнятих виходів хімічних продуктів з однієї тонни сухої шихти.

Результати розрахунку капітальних вкладень наведено у табл. 4, з якої видно, що сума капітальних вкладень у реконструкцію коксохімічного виробництва (із врахуванням нового будівництва і демонтажу промислових об'єктів) при використанні технології

сухого гасіння коксу більша на 63,8 млн. доларів США (на 20,6 %) без врахування ПДВ.

Таблиця 3
Відомості щодо очищення коксового газу

Найменування показника	Значення показника
Вміст сірководню у коксовому газі, г/м ³ :	
– до очищення	5÷12
– після очищення	0,5
Вміст аміаку у коксовому газі, г/м ³ :	
– до очищення	12
– після очищення	0,03

Таблиця 4
Результати розрахунку капітальних вкладень

Найменування показника	Різниця у значенні показника** за технологією сухого гасіння коксу
Сума капітальних вкладень без врахування ПДВ, млн. доларів США*,	63,8
у тому числі:	
– вартість будівельних робіт	35,5
– вартість обладнання	24,2
– вартість будівництва УСГК	49,1
Сума капітальних вкладень із врахуванням ПДВ, млн. доларів США*.	76,5

* – наведено за валютним курсом НБУ на дату виконання розрахунків

** – наведено різницю при порівнянні впровадження технологій сухого й мокрого гасіння коксу

Більша сума капітальних вкладень переважно пояснюється вартістю будівництва УСГК і необхідністю: будівництва додаткових об'єктів, впровадження супровідних процесів і використання додаткового обладнання/устаткування за даною технологією. Незважаючи на це, використання технології сухого гасіння коксу дозволить з пари, що виробляється на УСГК, отримувати на рік $69,04 \cdot 10^6$ кВт·год більш дешевої і дефіцитної, станом на сьогодні, електроенергії власного виробництва для задоволення потреб підприємства (замість купівлі дорогої зовнішніх джерел). Тому, незважаючи на більшу вартість, впровадження технології сухого гасіння коксу є виправданим, враховуючи усі вищенаведені переваги даної технології.

Висновки. Таким чином, при реконструкції коксохімічного виробництва одного з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України, наведеними результатами розрахунку суми капітальних вкладень, враховуючи значну майбутню економію від інших переваг (збільшення доходу від утилізації тепла виробництва коксу, отримання

пари енергетичних параметрів і реалізації товарного коксу, зниження витрат коксу та тепла у доменному виробництві, витрат на ремонт устаткування і металоконструкцій, транспортних витрат на перевезення коксу, тощо) і фактор рівня впливу на навколишнє природне середовище показано доцільність впровадження технології сухого гасіння коксу.

Список літератури:

1. Партин Г.О., Дідух О.В. Капітальні інвестиції: сутність, сучасні тенденції та вплив на зростання обсягів ВВП. *Ефективна економіка*. 2021. № 3. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/3_2021/88.pdf
2. Голян В.А., Лучечко Ю.М. Капітальні вкладення в економіку України: стимулювання залучення інвестиційних потоків у сферу переробки сільськогосподарської сировини. *Економіка та держава*. 2019. № 1. С. 15-22.
3. Майорова Т.В., Крук В.В., Шевчук Я.В. Капітальні інвестиції: сутність та проблеми реалізації в кризових умовах. *Інвестиції: практика та досвід*. 2015. № 21. С. 12–16.
4. Гринчуцький В.І., Гринчуцький В.І., Карапетян Е.Т., Погріщук Б.В. Економіка підприємства: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 304 с.
5. Наказ Мінприроди України від 30.05.2014 № 184 «Про внесення змін до Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин від коксових печей».
6. Розпорядження КМУ від 30.07.2021 № 868-р «Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди».
7. Rejdak M., Wasielewski R. Mechanical compaction of coking coals for carbonization in stamp-charging coke oven batteries. *Physicochem. Probl. Miner. Process.* 2015. Vol. 51 (1). P. 151–161.

Kravchenko S.O., Miroshnichenko D.V., Chebotaryov A.M., Turkina O.V., Chaplianko S.V., Priplotskiy S.I., Lebedev V.V., Hrushetsky V.O. DETERMINATION OF CAPITAL INVESTMENTS FOR RECONSTRUCTION OF COKE CHEMICAL PRODUCTION WITH COMPARISON OF COKE EXTINGUISHING TECHNOLOGIES

The study considered the direction of non-fuel use of lignite for the production of hybrid materials using its derivatives in the form of humic acids and substances. The purpose of the article is to study the peculiarities of the hybrid functionality of humic acids and lignite substances. It was established that carboxyl and phenolic groups prevail in the humic acids of lignite, and carbonyl and hydroxyl groups are also present in significant quantities. Carboxyl groups have the potential to bind to the corresponding ionic points of a variety of biodegradable materials, which also happens with hydroxyl phenolic groups. The carboxyl groups of lignite humic acids are of great interest because they are the groups that confer the main chemical properties of lignite humic acids and because they can form electrostatic bonds, although it is difficult to determine the points at which bonds form between the carboxyl groups of humic acids. Lignite acids and various biodegradable materials. In addition, these groups mostly coordinatively bind to non-ionized points of various biodegradable materials, as in the case of -CONH- bonds of peptide groups. The result of these connections is, on the one hand, a multitude of binding points, which ensures the stability of various biodegradable materials obtained as a result of interaction with lignite humic acids. As a result of the research, it was found that the presence of various reactive functional groups is an indicator of the reactivity of lignite humic acids in the direction of their hybrid functional modification with respect to various biodegradable materials: biopolymers, cellulose derivatives, bioplastics and composites based on them. Groups that are able to react with amine and carbonyl groups of various biodegradable materials are the most important. It was also established that dry humic substances of lignite of all studied types are characterized by a polydisperse particle size ranging from 52 to 380 nm. As part of the development of scientific and technical documentation on the reconstruction of coke chemical production of one of the largest enterprises of the mining and metallurgical complex of Ukraine, an analysis of the feasibility of introducing dry and wet coke quenching technologies was performed. The main issues that had to be solved at the expense of the reconstruction were: increasing the volume and efficiency of coke production, improving the quality of coke, expanding the raw material base with an increase in the share of low-firing coal of Ukrainian origin in the coal charge, stabilizing and increasing the reliability of coke chemical production due to the restoration of the main funds, reduction of harmful emissions into the

natural environment. According to this complex project, the main objects of new construction in the coke shop included: coal tower, coke battery objects (with the introduction of coal charge tamping technology), objects of the dust-free coke delivery installation, objects of the coke extinguishing complex, object coke spreading devices, vent installation of air supply in the tunnel of coke batteries, pump hydroinjection. The economic feasibility of the introduction of dry coke quenching technology is shown, despite a larger (by 20.6%) amount of capital investments (due to the construction of additional facilities, the implementation of additional accompanying processes and the use of additional equipment/equipment) due to significant future savings (increase in income from utilization of coke production heat, obtaining a pair of energy parameters and sale of commercial coke, reducing coke and heat costs in blast furnace production, equipment and metal structure repair costs, transport costs for coke transportation, etc.) and taking into account the factor of the level of impact on the surrounding natural environment.

Key words: *capital investments, coke chemical production, new construction, reconstruction, coke battery, extinguishing coke, USGK.*

Мовчанюк О.М.

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

ТЕХНОЛОГІЯ БАШМАЧНОГО ПРЕСУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ

Стаття присвячена розвитку технології башмачного пресування у світовій целюлозно-паперовій галузі. Технологія башмачного пресування стала однією з головних інновацій у виробництві паперу в 20 столітті. Сьогодні вона набула широкого розповсюдження як у виробництві картону, для якого власне і розроблялася, так і багатьох видів паперу, включаючи тисью. Розробником першої конструкції башмачного преса відкритого типу стала компанія Beloit, після чого, впродовж десяти років й інші провідні виробники картоноробних машин – Voith, Escher Wyss, Valmet – розробили і впровадили свої конструкції башмачних пресів. Всі вони були закритими. Нерухомий сердечник з башмаком і опорними елементами були поміщені в гнучку синтетичну оболонку, в результаті вся конструкція зовні стала нагадувати звичайний пресовий вал. Завдяки герметичному з'єднанню еластичної оболонки з бічними фланцями вдалося запобігти втраті мастила і забрудненню паперу, сукон, валів та станини. Конструкція преса закритого типу компанії Beloit вперше була встановлена у середині 1990-х.

Підвищення сухості паперу (картону) під час мокрого пресування є прямо пропорційним питомому тиску і часу пресування і обернено пропорційним квадрату маси 1 м^2 паперу, квадрату питомої поверхні волокон і в'язкості води за певної температури. Отже подовження зони пресування є одним з найважливіших напрямків підвищення сухості полотна. Модернізація пресової частини із встановленням башмачного преса замість звичайного валкового дозволяє збільшити продуктивність машини на 10–20%, заощадити до 2 ГДж на тонну готової продукції, покращити її характеристики. Встановлення такого преса на новій машині дозволить скоротити сушильну частину, зменшуючи капітальні витрати.

Ключові слова: пресування, подовжена зона пресування, башмачний прес, розроблення конструкції, підвищення сухості картону.

Постановка проблеми. Однією з важливих світових тенденцій сучасності можна вважати постійний розвиток інноваційних технологій, що спрямовані на зменшення парникового ефекту [1, 2]. Процес сушіння паперу та картону має негативний вплив на навколишнє середовище. Враховуючи це, а також високу вартість та енергоємність цього процесу, скорочення витрат енергії на сушіння шляхом посиленого пресування є критичною метою промисловості [2, 3]. Тому підвищення ефективності процесу пресування залишається актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При виробленні більшості видів паперу та картону головним шляхом підвищення сухості після преса є збільшення тривалості пресування. Спочатку для цієї мети почали застосовувати преси з валами великого діаметра [3–6]. Застосування валів діаметром 1,5–1,8 м, м'якого покриття і двох сукон подовжує зону пресування до 100 мм (у звичайних валкових пресах вона складає 40–60 мм). Але велика маса валів вимагає додаткових витрат на створення потужних стійких фундаментів, ускладнює транспортування та заміну валів. Значно більш ефектив-

ними є преси з подовженою зоною пресування башмачного типу [4, 7, 8].

Метою роботи є аналіз розвитку технології башмачного пресування у світовій целюлозно-паперовій промисловості та огляд конструкцій башмачних пресів.

Виклад основного матеріалу. Основним аргументом для розробки технології башмачного пресування була можливість збільшення продуктивності існуючих і зниження капіталомісткості нових картоноробних машин. Хоча не одна провідна компанія проводила роботи у цьому напрямку, першим розробником башмачного преса стала американська компанія Beloit. Для цього їй знадобилося близько 13 років (1967–1980) [2].

Перший прес Extended Nip Press (ENP) з подовженою зоною пресування башмачного типу, що був розроблений компанією Beloit [4, 9–11] (рис. 1), складається з верхнього приводного вала 1 з регульованим прогином і нижнього опорного башмака 7 шириною 250 мм, що притискається до верхнього вала за допомогою гідроциліндрів. Між валом і башмаком, поверхня якого оброблена з відповідною кривизною, рухається нескінченна стрічка 8, що є синтетичною сіткою, пори якої методом напилення

заповнені поліуретаном. Пресування здійснюється між двома сукнами 4 і 5. Для зниження тертя між башмаком та стрічкою подається мастило. Спеціальна система мастила забезпечує створення на поверхні стрічки плівки масла товщиною 0,1 мм. За ширини башмака 250 мм середній тиск у зоні пресування досягає 4 МПа, а лінійний – 1000 кН/м [4].

У таблиці 1 наведено, коли конкурентам Beloit, компаніям Voith, Escher Wyss і Valmet, вдалося реалізувати свої перші башмачні преси [2]. Всі конструкції башмачних пресів, що були розроблені конкурентами Beloit, були закритими. Нерухомий сердечник з башмаком і опорними елементами були поміщені в гнучку синтетичну оболонку, в результаті вся конструкція зовні стала нагадувати звичайний пресовий вал. Завдяки герметичному з'єднанню еластичної оболонки з бічними фланцями вдалося запобігти втраті мастила і забруднення паперу, сукон, валів та станини [4].

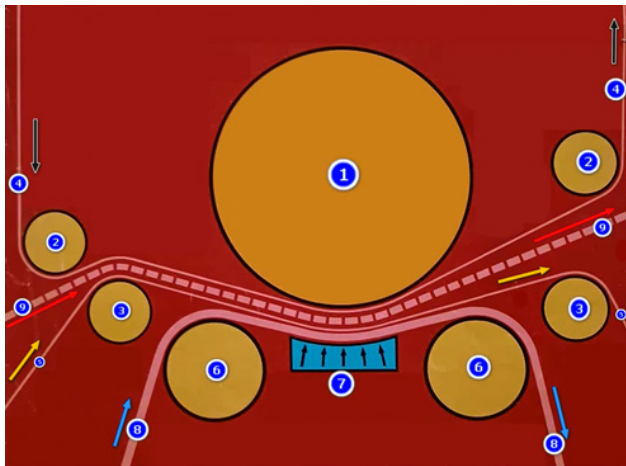


Рис. 1. Схема башмачного преса ENP [4]:
 1 – верхній пресовий вал; 2 і 3 – сукноведучі валики верхнього і нижнього сукна відповідно; 4 і 5 – верхнє і нижнє пресові сукна; 6 – сітковедучі валики; 7 – башмак; 8 – синтетична стрічка; 9 – паперове полотно

Таблиця 1

Перші башмачні преси, що впроваджені конкуруючими компаніями [2]

Рік	Компанія-виробник	Модель	Компанія-замовник
1980	Белойт, США	ENP-O	Weyerhaeuser, Спрінгфілд, США
1984	Фойт, Німеччина	Flexonip	Nettingsdorfer Papierfabrik, Нетінгсдорф, Австрія
1986	Ешер Вісс, Німеччина	Intensa-S	Model AG, Вайнфельден, Швейцарія
1990	Валмет, Фінляндія	Symbelt	Billerud Paper, Грувьон, Швеція

Beloit розпочав розробку закритого ENP (ENP-C) у 1985 році. Перший прес ENP-C був встановлений у середині 1990-х [2]. Сучасну конструкцію преса ENP-C представлено в інформаційних джерелах компанії Valmet, що пізніше придбала Beloit (рис. 2) [12].

Підвищення сухості паперу під час мокрого пресування є прямо пропорційним питомому тиску і часу пресування і обернено пропорційним квадрату маси 1 м² паперу, квадрату питомої поверхні волокон і в'язкості води за певної температури [4, с. 9]:

$$B = \log, I - \log, a$$

де P – питомий тиск пресування; t – час пресування; q – маса 1 м² паперу; s – питома поверхня волокон; η – в'язкість води за температури пресування.

З огляду на це, подовження зони пресування є одним з найважливіших напрямків підвищення сухості полотна [3, 4].

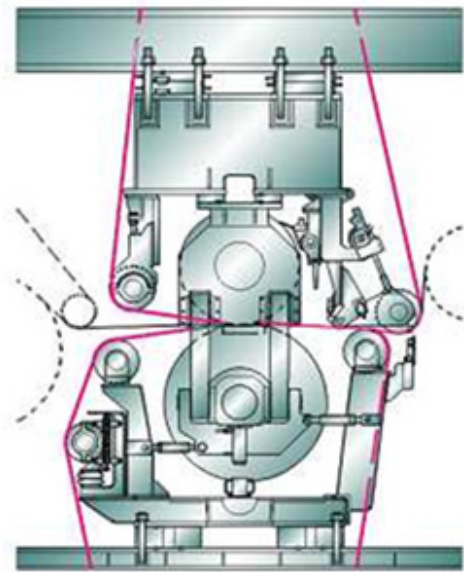


Рис. 2. Конструкція преса ENP-C [12]

З часом конструкцію відкритого преса ENP було удосконалено (рис. 3). Це підвищило його ефективність і дозволило зменшити знос захисного покриття та втрату мастила, покращити змащування, подовжити термін служби покриття і поршневого блоку. Додавання мастильного сплиску та щіткових ущільнювачів є двома основними оновленнями конструкції, що допомагають збільшити термін служби стрічки. Шар мастила, який запобігає контакту стрічки з поверхнею башмака, перешкоджає зношенню стрічки внаслідок тертя та тепла. Щіткові ущільнювачі, що оточують башмачний модуль і зони нанесення масла,

є бар'єром для потрапляння сміття. Оскільки масло стає чистішим, його можна використовувати довше. Крім того, ущільнювачі значно зменшують втрати масла, утримуючи його. Втрату масла та масляне запотівання ще більше зменшено додаванням серветок для стрічки [12].

Інші конструктивні зміни стосуються завантажувального поршневого блоку та радіуса башмака, що забезпечують рівномірне навантаження преса. Радіус башмака має великий вплив на профіль тиску в зоні пресування. Якщо радіус занадто великий, прес працює як валковий із високим піком на профілі тиску. Якщо радіус башмака занадто малий, прес працює як два валкові преси з двома профілями високого тиску. В обох випадках властивості паперу і термін служби одягу погіршуються, що призводить до низької продуктивності. Правильний аналіз геометрії радіуса та модифікації башмака значно покращують властивості аркуша і термін служби одягу [12].

Злиття Voith і Escher Wyss у 1994 р. призвело до симбіозу двох успішних конструкцій башмачних пресів. В результаті чого найкращі характеристики преса Flexonip та преса Nipco-Intensa-S були інтегровані в новий башмачний прес – NipcoFlex (рис. 4, 5) [2]. Перший башмачний прес для машини з виробництва паперу для друку став доступним у 1994 році. Він був встановлений Voith. А у 1999 році вперше башмачний прес Voith почав використовувати для виробництва санітарно-гігієнічного паперу [2, 14].

NipcoFlex вирізняється своєю нескладною, але надійною конструкцією. Башмак змащується гідродинамічно, забезпечуючи оптимальний профіль силового зусилля (див. рис. 4), що характеризується швидким початковим підвищенням тиску, потім дуже плавним його зростанням упродовж процесу зневоднення і різким спадом на виході із зони пресування. Такий різкий кінцевий перепад тиску запобігає повторному зволоженню полотна.

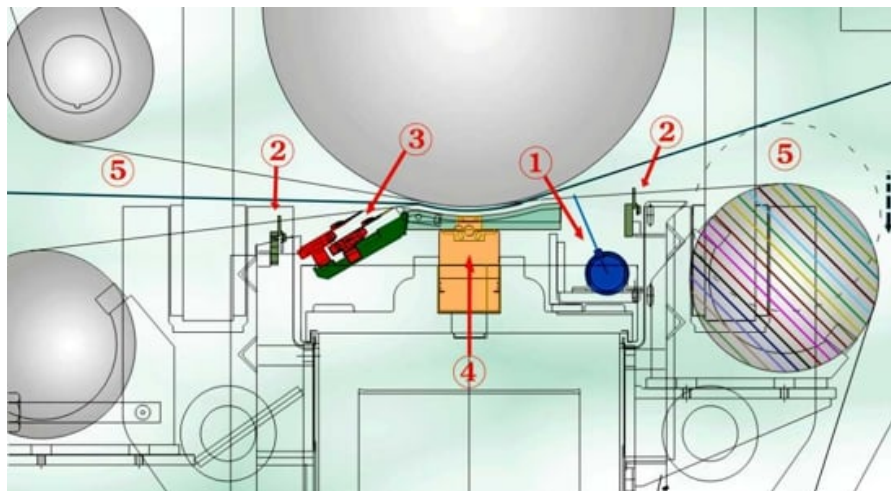


Рис. 3. Удосконалена відкрита конструкція ENP [12]: 1 – сприск мастила; 2 – щітки стрічки; 3 – серветки для стрічки; 4 – навантажувальний поршневий блок; 5 – оптимізація геометрії

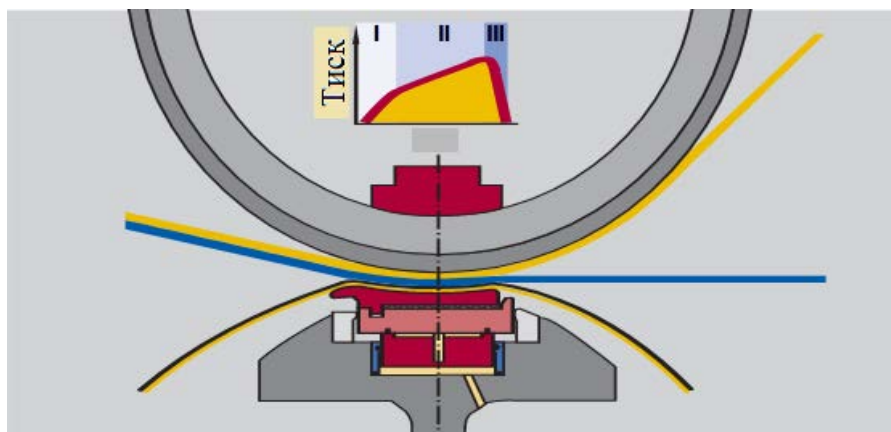


Рис. 4. Схема роботи преса NipcoFlex і розподіл тиску у зоні пресування [13]

Башмак притискається до валика за допомогою одного ряду гідростатичних елементів і зміщується у напрямку входу полотна в зону пресування. Виникає ідеально рівномірне зусилля на ширині зони пресування. Результатом є абсолютно рівномірний профіль вологості полотна у поперечному напрямку. Практичний досвід показав, що для пресів NipcoFlex зональна корекція не потрібна [13].

Основною перевагою технології башмачного пресування є підвищення сухості на виході з пресової частини. Залежно від виду паперу приріст сухості становить 5–10% порівняно зі звичайним валковим пресом, що призводить до збільшення продуктивності приблизно на 10–20%, коли башмачний прес встановлюється на існуючу машину. Коли ж такий прес встановлюється на нову папероробну машину, сушильна частина може бути

скорочена, таким чином зменшуються капітальні витрати [2].

За даними компанії Voith [13] результатом використання башмачних пресів NipcoFlex останніми у пресових частинах папероробних машин з виготовлення пакувального паперу є збільшення сухості полотна до 15% або навіть в деяких випадках і вище. А використання таких пресів на картоноробних машинах забезпечує кінцеву сухість 51–54%, при цьому значно підвищується щільність, міцність на розрив та жорсткість картону. Тому для виробництва крафтлайнера та тестлайнера була спеціально розроблена пресова частина Tandem-NipcoFlex (рис. 6), яка, окрім збільшення сухості, також забезпечує перевагу закритого та надзвичайно надійного руху полотна від формувальної частини машини до сушильної [13]. Пресові частини для виробництва картону, що складаються з двох башмачних пресів, пропонують й інші компанії [4, с. 63, 12].

Другою перевагою башмачних пресів є зниження потреби пари в секції сушіння. Башмачний прес дозволяє заощадити від 0,5 до 2,0 ГДж на тону паперу. Це може призвести до підвищення енергоефективності, незважаючи на збільшення споживання електроенергії на додаткову потужність привода та підвищену потужність насоса для очищення сукна [2].

Третя перевага – покращені характеристики готової продукції. Пресування є важливим для формування її властивостей, оскільки більшість фізичних і поверхневих характеристик певним чином пов'язані з щільністю аркуша. А пресування ущільнює папір та картон. Встановлення башмачного преса на картоноробну машину підвищує міцнісні властивості картону. Це дозволяє економити на рафінуванні та обробленні, використовувати меншу кількість добавок для зміцнення [2].

У звичайних валкових пресах імпульс пресування (добуток тиску та часу перебування в зоні тиску) є обмеженим. Тиск не можна збільшувати необмежено, оскільки папір може бути пошкоджений, особливо на високих швидкостях. Час перебування в зоні тиску зменшується зі збільшенням швидкості машини. Ці обмеження були подолані технологією башмачного пресування (табл. 2) [2].

Висновки. Таким чином, технологія башмачного пресування стала однією з головних інновацій у виробництві паперу в 20 столітті [2] і сьогодні широко використовується не лише у виробництві картону, для якого спочатку розроблялася, а й для багатьох видів паперу, включаючи тисью.

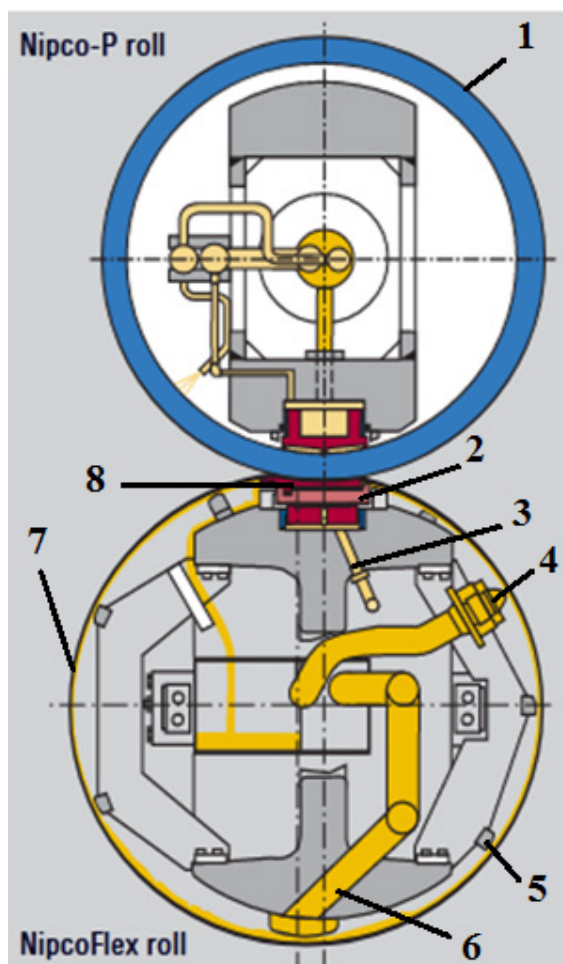


Рис. 5. Поперечний переріз NipcoFlex [13]:
 1 – вал з регульованим прогином; 2 – притискний елемент; 3 – подача масла під тиском;
 4 – розподільвач масла; 5 – направляючі планки сорочки; 6 – зворотний злив; 7 – гнучка оболонка;
 8 – башмак

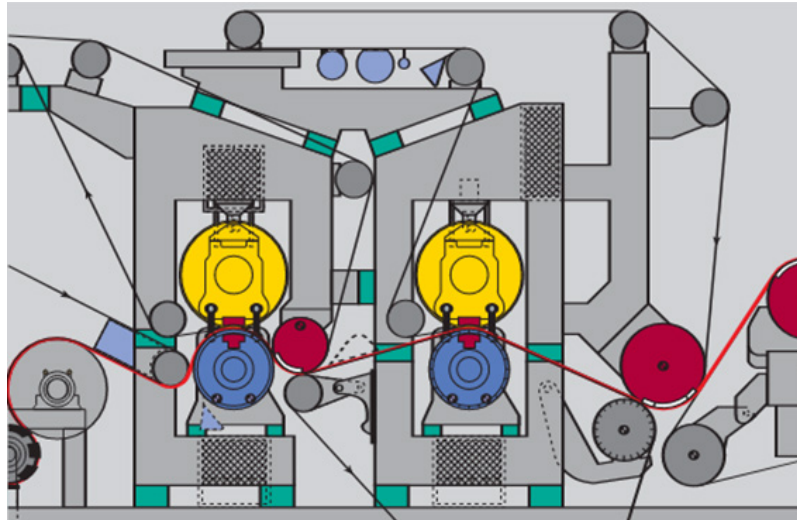


Рис. 6. Пресова частина Tandem-NipcoFlex для картоноробної машини [13]

Таблиця 2

Порівняння параметрів звичайного валкового та башмачного пресів [2]

Найменування параметра	Валковий прес	Башмачний прес
Довжина зони пресування, см	4–7	25–30
Лінійний тиск (кН/м)	150–450	1000–1500
Імпульс пресування (кН·с/м ²)	3,0–5,0	15–21

Розробником першої конструкції башмачного преса стала компанія Beloit, після чого, впродовж десяти років й інші провідні виробники картоноробних машин – Voith, Escher Wyss, Valmet – розробили і впровадили свої конструкції башмачних пресів. Модернізація пресової частини із встановленням

башмачного преса замість звичайного валкового дозволяє збільшити продуктивність машини на 10–20%, заощадити до 2 ГДж на тону готової продукції, покращити її характеристики. Встановлення такого преса на новій машині дозволить скоротити сушильну частину, зменшуючи капітальні витрати.

Список літератури:

- McDonald, J.D. and Kerekes, R. J., Estimating limits of wet pressing on paper machines. *Tappi Journal*. 2017. v.16. № 2. P. 81–87.
- Shoe press technology <https://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/746/c3.pdf?sequence=17>.
- Мовчанюк О.М., Остапенко А.А., Дажук О.О., Куниця Ю.Б., Кривошеев А.О. Підвищення ефективності пресування у виробництві флутинг. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2022. №15.
- Мовчанюк О.М., Гомеля М.Д. Пресування паперового полотна: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського. 2018. 140 с.
- Press a haute pression Overpress HL a la Cartiera Momo. *Papier, Carton et Cellulose*. 1985. № 11. P. 32.
- Rubenis D. High-impulse pressing. *TAPPI Journal*. 1984. V. 67. № 11. P. 78–80.
- Halsall S. Shoe Press-Design And Applications. *Ippta Journal*. 2012. V. 24, № 3. P. 131–135.
- Cocero J.A., Vega I J., Azad M.K. Advantages of Shoe Presses VIs. Roll Presses// *Ippta Journal*. 2007. V. 19, № 1. P. 117–119.
- Papermaking. Papermachine – Pressing. URL: <https://www.fibrelab.ubc.ca/files/2013/01/Topic-14-Papermaking-Pressing-text.pdf>.
- Beloit Extended Nip Press. Pima. 1981. V. 63. № 12. P. 9–12.
- Smith K. E., Cody H. M. Extended Nip Press operating at liner mills in U.S., Sweden, Japan. *Pulp and Paper*. 1983. № 10. P. 114–117.
- Valmet. Improving extended nip press (ENP) performance and blanket life. URL: <https://www.valmet.com/insights/articles/up-and-running/performance/FRENPUgrades/> (дата звернення 30.07.2023).
- Schuwert W. «Pole position» for Voith Sulzer shoe presses. *Twogether*. 2004. № 4. P. 34–40.

14. Ronneberger M. Shoe press technology from Voith: a worldwide success for tissue production. *Perini Journal*. № 43. <http://www.perinijournal.it/Items/en-US/Articoli/PJL-43/Shoe-press-technology-from-Voith-a-worldwide-success-for-tissue-production>. (дата звернення 30.07.2023).

Movchaniuk O.M. SHOE PRESS TECHNOLOGY IN THE PAPER AND CARDBOARD MANUFACTURING

The article is devoted to the development of shoe pressing technology in the global pulp and paper industry. Shoe press technology became one of the main innovations in paper production in the 20th century. Today, it has become widespread both in the production of cardboard, for which it was actually developed, and in many types of paper, including pulp. The Beloit company developed the first design of an open-type shoe press, after which, over the course of ten years, other leading manufacturers of cardboard machines - Voith, Escher Wyss, Valmet - developed and implemented their designs of shoe presses. All of them were closed. A fixed core with a shoe and support elements were placed in a flexible synthetic shell, as a result, the entire structure externally began to resemble an ordinary press shaft. Thanks to the hermetic connection of the elastic shell with the side flanges, it was possible to prevent loss of lubricant and contamination of paper, cloth, shafts and bed. Beloit's closed press design was first installed in the mid-1990s.

The increase in the dryness of paper (cardboard) during wet pressing is directly proportional to the specific pressure and pressing time and inversely proportional to the square of the mass of 1 m² of paper, the square of the specific fiber surface and the viscosity of water at a certain temperature. Therefore, lengthening the pressing zone is one of the most important directions for increasing the dryness of the fabric. Modernization of the press part with the installation of a shoe press instead of a regular roll press allows you to increase the productivity of the machine by 10-20%, save up to 2 GJ per ton of finished products, and improve its characteristics. Installing such a press on a new machine will reduce the drying part, reducing capital costs.

Key words: *pressing, extended pressing zone, shoe press, design development, increasing the dryness of the cardboard.*

Пилипенко Т.М.

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

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНІКА КОСМЕТИЧНОГО ДЛЯ ОБЛИЧЧЯ

Тонік для обличчя – косметичний засіб, призначений для догляду шкіри, її очищення, нормалізації кислотно-лужного балансу, підвищення тону, пружності та еластичності.

У статті проведено аналіз композиційних складників тоніка косметичного для обличчя, представленого на споживчому ринку України. Згідно з рекламою та етикеткою пакування відібраний засіб виконує очищення та тонізування шкіри. Досліджено косметичний продукт, тонік для обличчя українського бренду Sane з РНА, АНА кислотами та вітаміном С (РНА + АНА + Vitamin С 2%), композиційного складу, який зазначено на пакуванні виробу:

– Aqua, Gluconolactone, Glycerin, 3-Glycerol Ascorbate, Capryloyl/Caproyl Methyl Glucamide, Phenoxyethanol, Ethylhexylglycerin, Malic Acid, Parfum, Alpha-Isomethyl Ionone, Benzyl Salicylate, Limonene, Hydroxycitronellal.

За аналізом композиційних складників дослідженого тоніка для обличчя в ньому виявлено дієві та достатньо безпечні компоненти. Наявність у косметичному засобі не дуже корисних складників, феноксиетанолу, бензил саліцилату та гідроксицитронеллю, небажана для алергіків та людей з чутливою шкірою.

Встановлено, що органолептичні та основні фізико-хімічні показники якості відібраного косметичного засобу (водневий показник (рН), об'ємний вміст етилового спирту, стабільність, масова частка сухої речовини) знаходяться в межах допустимої норми. Досліджений косметичний засіб є однорідною однофазною рідиною без сторонніх домішок, прозорий, має приємний легкий запах.

Тонік для обличчя українського бренду Sane з РНА, АНА кислотами та вітаміном С можна рекомендувати до використання як косметичний засіб для очищення та тонізування шкіри.

Ключові слова: тонік для обличчя, косметичні засоби, композиційні складники, органолептичні та фізико-хімічні показники, якість та безпечність.

Постановка проблеми. На споживчому ринку України представлено досить широкий асортимент тоніків косметичних, призначених для догляду шкіри, її очищення, нормалізації кислотно-лужного балансу, підвищення тону, пружності та еластичності. Аналіз композиційних складників, визначення органолептичних та фізико-хімічних показників таких засобів є важливим етапом при загальному оцінюванні їх якості та безпечності використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінювання якості та безпечності використання тоніків косметичних проводять за різними показниками [1; 2]. Особлива увага при цьому приділяється хімічним, мікробіологічним, токсикологічним і клінічним дослідженням. Оцінюють якість та безпечність використання засобів різного призначення [3–14].

Косметичні тоніки з кислотами для обличчя [11; 12] здатні надавати шкірі сяння, освітлювати чорні цятки, усувати пігментні плями і постакне.

Засоби з АНА-кислотами працюють на поверхні шкіри, стимулюють синтез колагену, вирівнюють мікрорельєф, борються з ознаками фотостаріння. Найбільш популярні тоніки з фруктовими кислотами (лимонною, яблучною, виноградною). Вони оновлюють шкіру, підвищують її пружність та еластичність.

РНА-кислоти підходять для догляду за гіперчутливою, реактивною шкірою. Такі кислоти мають великий розмір молекул, тому поступово проникають у шкіру та не викликають її подразнень. Тоніки з глюконовою, лактобіоною кислотою та глюконолактоном освітлюють шкіру, нейтралізують дію вільних радикалів і звожують [10; 14].

Постановка завдання. Зважаючи на широкий асортимент тоніків косметичних, представлених на споживчому ринку України, аналіз композиційних складників, визначення органолептичних та фізико-хімічних показників є необхідним завданням при оцінюванні та порівнянні якості й безпечності їх використання.

Виклад основного матеріалу дослідження.

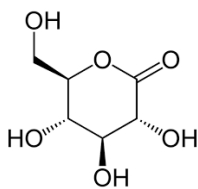
Для дослідження відібрано тонік для обличчя українського бренду Sane з РНА, АНА кислотами та вітаміном С (РНА + АНА + Vitamin С 2%), призначений для очищення та тонізування шкіри.

Склад тоніка, зазначений на пакуванні, – Aqua, Gluconolactone, Glycerin, 3-Glyceryl Ascorbate, Capryloyl/Caproyl Methyl Glucamide, Phenoxyethanol, Ethylhexylglycerin, Malic Acid, Parfum, Alpha-Isomethyl Ionone, Benzyl Salicylate, Limonene, Hydroxycitronellal.

Визначення органолептичних та фізико-хімічних показників косметичного засобу проведено у відповідності до стандартизованих методик [1; 2]. Водневий показник (рН) тоніка для обличчя визначено потенціометрично безпосередньо у виробі, масова частка сухої речовини – гравіметрично.

Характеристика основних композиційних складників дослідженого тоніка наведена нижче.

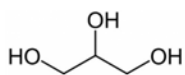
Gluconolactone (Глюконолактон).



Полігідроксикислота (РНА) – складник, який підтримує необхідний рівень зволоження, є природним антиоксидантом. Має невисоку дратівливу здатність,

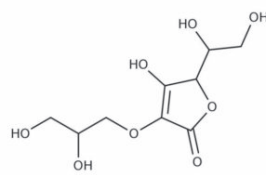
потрапляння на шкіру не викликає печіння. Дратівливий ефект дає можливість використовувати глюконолактон у разі вкрай чутливої шкіри. Хороше зволоження, м'яка кератолітична («розчинення») ороговілих клітин обличчя) та деяка антиоксидантна дія – оптимальне поєднання для догляду за дуже сухою та чутливою шкірою. Не підвищує чутливість шкіри до сонячного світла, може використовуватись у комплексній дії. Сприяє відновленню цілісності шкірного бар'єру та м'яко знижує рН. Здатний транспортувати на собі молекули води та через механізм регуляції концентрації кальцію у шкірі сприяє стимуляції процесів відновлення ліпідного бар'єру шкіри. Коригує симптоми фотостаріння, покращує еластичність шкіри шляхом зміцнення колагену та еластину. Має легкі консервуючі властивості [12].

Glycerin (Гліцерин).



Триатомний спирт – зволожувач [11], який природно пом'якшує шкіру. Допомагає зберегти здоровий зовнішній вигляд шкіри, захищає від сухості та допомагає підтримувати рівень її зволоження та утримання вологи всередині клітин. Працює в поєднанні з іншими відновлюючими і пом'якшуючими складниками. Використовується практично у всіх косметичних засобах.

3-Glyceryl Ascorbate, 3GA (Вітамін С).

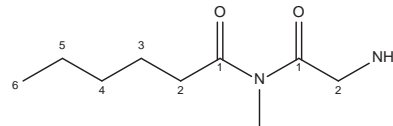


Вітамін С – один із дієвих активних складників у косметиці [10; 12]. Бере участь у синтезі колагену. Сприяє трансформації лізину в оксілізін, який

формує поперечні зшивання еластину та колагену. Якщо в організм надходить недостатньо вітаміну С, є ймовірність формування атипового колагену. Завдяки суттєвій ролі в синтезі колагену, вітамін С відносять до найпотужніших антивікових складників. Це – сильний антиоксидант, здатний вирівнювати тон шкіри, надавати їй здорового вигляду. Освітлює пігментні плями, сліди від постакне, так як може пригнічувати фермент тирозинази, що бере участь в утворенні меланіну. Перешкоджає фотостарінню шкіри, захищає від сонячної активності та зменшує її наслідки. Зміцнює капіляри, так як впливає на синтез колагену І і ІІІ типів. Має протизапальну дію, покращує засвоєння інших складників.

У дослідженому косметичному засобі вітамін С представлений у формі його похідної, інноваційного зволожуючого складника 3GA. Він добре освітлює та вирівнює колір обличчя, проникає вглиб шкіри [5].

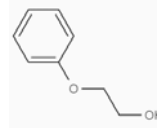
Capryloyl/Caproyl Methyl Glucamide (Капрілоіл/Капроіл метил глюкамід).



М'яка активна речовина. Пом'якшує, зволожує шкіру, використовується як ароматизатор.

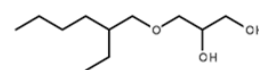
Допомагає жирним кислотам розчинятися в композиційних системах косметичних засобів, які характеризуються антиоксидантними і омолоджуючими властивостями [8].

Phenoxyethanol (Феноксіетанол).



Феноксіетанол використовується як консервант. Має антисептичну, легку зволожуючу дію [13]. Існують суперечливі дані щодо його безпеки [12].

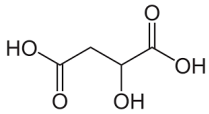
Ethylhexylglycerin (Етилгексилгліцерин).



Етилгексилгліцерин надійно протидіє росту та розмноженню бактерій, посилює ефективність дії інших консервантів. Виступає як протимікробний стабілізатор у поєднанні з іншими композиційними складниками. Це – емомент середнього ступеня розтікання.

Підсилює, фіксує запах віддушки у складі косметичного засобу [7].

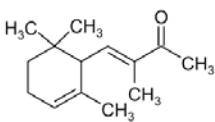
Malic Acid (Яблучна кислота).



Яблучна кислота – стимулюючий і відлущуючий складник. Класифікують як альфа-гідроксикислоту (АНА). Використовується в косметиці для

регулювання рН засобу [1; 12].

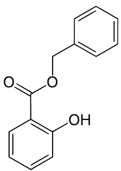
Alpha-Isomethyl Ionone (Альфа-ізометил іонон).



Сполука є ізомером метиліонону. Використовується як ароматизатор. Його основний аромат – квітковий, вторинний – фіалковий. Також може

мати деревний або ірисовий запах [11].

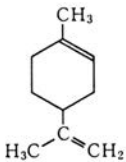
Benzyl Salicylate (Бензил саліцилат).



Летючий ароматичний складник із солодким квітковим запахом. Використовується для надання аромату косметичним засобам. Є підсилювачем та фіксатором. Не має прямого сприятливого впливу на шкіру. Використання бензил саліцилату інколи

пов'язано з алергічними проявами на шкірі [12].

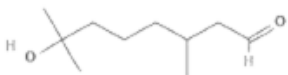
Limonene (Лимонен).



Лимонен – запашна речовина, яка використовується в косметичних засобах завдяки приємному аромату, можливості проникнення в шкіру та протизапальним властивостям. Має легкий запах. Його називають «підсилювачем». Підсилююча здатність лимонену дозволяє

використовувати його як носія для інших складників, що не здатні долати епітеліальні бар'єри [6].

Hydroxycitronellal (Гідроксицитронеллаль).



Гідроксицитронеллаль є синтетичним ароматизатором. Широко використовується в багатьох

косметичних засобах. Може бути дерматологічним подразником і алергеном [12].

Безпечність композиційних складників [11] дослідженого тоніка для обличчя представлена діаграмою (рис. 1).

Таким чином, до складу тоніка косметичного входять дієві та достатньо безпечні компоненти. Із 13 складників засобу, цілком безпечними є 4, безпечними – 3, допустими – 4, середньої безпеки – 2 складники (рис. 1).

Наявність у тоніку косметичному таких композиційних складників як феноксиетанол, бензил

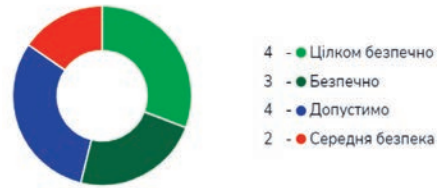


Рис. 1. Діаграма безпечності складників дослідженого тоніка для обличчя

саліцилат, гідроксицитронеллаль небажана для алергіків та людей з чутливою шкірою [11; 12].

За органолептичними показниками досліджений тонік для обличчя є однорідною однофазною рідиною без сторонніх домішок, прозорий, має приємний легкий запах.

Аналіз результатів експериментальних досліджень по визначенню основних фізико-хімічних показників якості відібраного косметичного засобу показав, що їх значення знаходяться в межах допустимої норми [1; 2]. Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Визначене рН дослідженого тоніка для обличчя відповідає значенню 3.5, яке вказано на пакуванні косметичного засобу. Косметичний засіб має стабільну консистенцію.

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники тоніка косметичного для обличчя

Назва показника / Норма	Характеристика для тоніка
рН, од. / 3.0 – 8.5	3.5
Об'ємна частка етилового спирту, % / 0.0 – 8.0	0.0
Колоїдна стабільність / Стабільний	Стабільний
Термостабільність / Стабільний	Стабільний
Масова частка сухої речовини, % / до 1.5	0.5

Висновки. За аналізом композиційних складників дослідженого тоніка для обличчя, представленого на споживчому ринку України, у ньому виявлено дієві та достатньо безпечні компоненти. Наявність у косметичному засобі не дуже корисних складників, феноксиетанолу, бензил саліцилату та гідроксицитронеллю, небажана для алергіків та людей з чутливою шкірою.

Встановлено, що органолептичні та основні фізико-хімічні показники якості відібраного косметичного засобу знаходяться в межах допустимої норми.

Тонік для обличчя українського бренду Sane з РНА, АНА кислотами та вітаміном С можна рекомендувати до використання як косметичний засіб для очищення та тонізування шкіри.

Список літератури:

1. ДСТУ 4093:2002. Лосьйони та тоніки косметичні. Технічні умови. Київ, 2002. Держспоживстандарт України. 7 с.
2. ДСТУ 5009:2008. Вироби парфумерно-косметичні. Правила приймання, відбирання проб, методи органолептичних випробувань. Київ, 2009. Держспоживстандарт України. 4 с.
3. Вишнікіна О.В., Лихолат О.А. Хімічна експертиза якості косметичних засобів, що імпортуються в Україну. *Вісник Академії митної служби України. Серія: Технічні науки*. 2009. № 1. С. 55–62.
4. Хребтань О.Б., Кучинська А.М. Дослідження якості та безпечності косметичних кремів для рук. *Вісник Чернігівського державного технологічного ун-ту. Серія: Технічні науки*. 2012. № 3 (59). С. 55–62.
5. Прокопенко В.П., Кіркова М.С. Дослідження хімічного складу косметичних засобів. *Імідж сучасного педагога*. 2013. № 6. С. 35–36.
6. Пилипенко Т.М., Чигиринець О.Е., Воробйова В.І., Єфімова В.Г. Дослідження фізико-хімічних показників якості піномийних косметичних засобів. *Технічні науки та технології*. 2016. № 1 (3). С. 222–228.
7. Пилипенко Т.М., Рябчун Ю.В., Єфімова В.Г. Дослідження якості косметичних кремів для рук. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4 (10). С. 210–216.
8. Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М., Нікора О.В., Невпряга П.Ю. Розробка рецептури емульсійного косметичного продукту на основі колоїдних закономірностей. *Технічні науки та технології*. 2018. № 1 (11). С. 178–187.
10. Пилипенко Т.М., Єфімова В.Г., Денисюк І.В. Дослідження фізико-хімічних характеристик косметичних рідин для обличчя. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Том 30 (69). № 4. Частина 2. С. 67–71.
11. Пешук Л.В., Бавіка Л.І., Демідов І.М. Технологія парфумерно-косметичних продуктів. К.: Центр учбової літератури, 2007. 376 с.
12. Башура О. Г., Половко Н.П., ... Ковальова Т.М. Технологія косметичних засобів: Навчальний посібник для студ. фармац. спец. вищих навчальних закладів. Вінниця: Нова книга, 2007. 360 с.
13. Пилипенко Т.М., Невпряга, П.Ю. Основні діючі речовини та застосування екстракту зеленої кави. *Хімічні проблеми сьогодення: XX Міжнародна (XII Українська) наукова конференція студентів, аспірантів і молодих учених (Вінниця, 19–21 березня 2019р.)*. Вінниця, 2019. С.
14. Мансурова А.В., Пилипенко Т.М. Зволожувачі у складі композиційних систем. *Динаміка, рух та розвиток сучасної науки: матеріали міжнародної студентської наукової конференції (Луцьк, 05 березня 2021р.)*. Луцьк, 2021. С. 46–47.

Pylypenko T.M. PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COSMETIC FACIAL TONIC

Facial tonic is a cosmetic product designed for skin care, cleansing, normalizing the acid-alkaline balance, increasing tone, firmness and elasticity.

The article analyzes the compositional components of cosmetic face tonic presented on the consumer market of Ukraine. According to the advertisement and the packaging label, the selected product cleanses and tones the skin. A cosmetic product, a face tonic of the Ukrainian brand Sane with PHA, AHA acids and vitamin C (PHA + AHA + Vitamin C 2%), with a composition indicated on the product packaging, was studied:

– Aqua, Gluconolactone, Glycerin, 3-Glyceryl Ascorbate, Capryloyl/Caproyl Methyl Glucamide, Phenoxyethanol, Ethylhexylglycerin, Malic Acid, Parfum, Alpha-Isomethyl Ionone, Benzyl Salicylate, Limonene, Hydroxycitronellal.

Based on the analysis of the compositional components of the investigated facial tonic, effective and sufficiently safe components were found in it. The presence of not very useful ingredients in the cosmetic product, phenoxyethanol, benzyl salicylate and hydroxycitronella, is undesirable for allergy sufferers and people with sensitive skin.

It was established that the organoleptic and main physico-chemical quality indicators of the selected cosmetic product (hydrogen index (pH), volume content of ethyl alcohol, stability, mass fraction of dry matter) are within the permissible norm. The studied cosmetic product is a homogeneous single-phase liquid without foreign impurities, transparent, with a pleasant light smell.

Face tonic of the Ukrainian brand Sane with PHA, AHA acids and vitamin C can be recommended for use as a cosmetic product for cleaning and toning the skin.

Key words: *face tonic, cosmetic products, compositional components, organoleptic and physicochemical indicators, quality and safety.*

УДК 543.3:546.134

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/33>**Спасьонова Л.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Бондарчук О.Ю.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Мокієнко А.В.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМБІНОВАНОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ ТА ГІПОХЛОРИТОМ НАТРІЮ

У статті розглянуто один із аспектів проблеми якості питної води шляхом впровадження у практику водопідготовки комбінованих методів знезараження води. Мета роботи полягала у ретроспективному аналізі ефективності впровадження технології комбінованого знезараження питної води діоксидом хлору та гіпохлоритом натрію. В аналітичній довідці представлено характеристику технології знезараження води централізованого водопостачання діоксидом хлору. Надано характеристику джерела централізованого водопостачання м. Горішні Плавні. Встановлено, що значення ClO_2 -поглинання річкової води складає $0,75 \pm 0,05$ мг/дм³ і є постійним в інтервалі введених доз діоксиду хлору 1,0 – 2,5 мг/дм³. Показано, що в результаті передокиснення річкової води діоксидом хлору знижуються значення кольоровості, каламутності, перманганатної окиснюваності, нітритів, мангану. Встановлено, що передокиснення річкової води діоксидом хлору, коагуляція, фільтрування, постзнезараження хлором є ефективною технологією при традиційних очисних спорудах і високому вмісті органічних речовин у воді. Застосування діоксиду хлору на стадії передокиснення усуває утворення ТГМ у питній воді, гарантує мікробіологічну якість води, не призводить до перевищення ГДК хлоритів. Показано, що наступне хлорування води частково окиснює хлорити, які утворилися, до діоксиду хлору. Це підвищує ефективність знезараження; забезпечує видалення хлоритів та пролонговану дію у водорозподільчих мережах. Обґрунтовано, що комплексна послідовна дія діоксиду хлору та хлору має гігієнічний (утворюється мінімальна кількість побічних продуктів) та економічний (витрати окиснювачів зменшуються) ефекти. Результати моніторингу вмісту діоксиду хлору та хлоритів свідчать про відповідність якості питної води чинним вимогам щодо вмісту хлоритів у питній воді. Обґрунтовано доцільність подальшого впровадження технології комбінованого застосування діоксиду хлору та хлору (гіпохлориту натрію) для знезараження води.

Ключові слова: питна вода, річкова вода, очищення, знезараження, діоксид хлору, гіпохлорит натрію, комбінування, технологія, ефективність, аналіз.

Постановка проблеми. Забезпечення населення України питною водою є для багатьох регіонів України однією з пріоритетних проблем, розв'язання якої необхідно для збереження здоров'я, поліпшення умов діяльності і підвищення рівня життя населення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для покращення якості води в мережах централізованого питного водопостачання необхідно забезпечити належне фінансування та здійснення в повному обсязі заходів, передбачених державними і регіональними програмами охо-

рони водних ресурсів, розвитку водного господарства та підвищення якості питної води; розроблення та своєчасне впровадження нових та удосконалення існуючих технологій очищення та знезараження води, сучасного обладнання, ефективних реагентів, фільтруючих матеріалів, сорбентів тощо [1, 2].

Використання хімічних окиснювачів для знезараження питної води (здебільшого хлору) призводить до інактивації патогенних мікроорганізмів; дезодорації води, зниження забарвленості, концентрацій органічних та неорганічних сполук

тощо, але негативними факторами цього процесу є утворення побічних продуктів знезараження, поява таких властивостей питної води як токсичність та мутагенна активність, можливість негативного впливу на довкілля (віддалені біологічні ефекти), поява нових резистентних та/чи високо-вірулентних штамів мікроорганізмів.

Отже, назріла необхідність у новій стратегії знезараження, яка направлена на досягнення рівноваги ризиків зараження водними патогенами і ризиків впливу хімічних дезинфектантів та їх побічних продуктів.

Одним із шляхів розв'язання цієї проблеми є дослідження та подальше впровадження у практику водопідготовки комбінованих методів знезараження води, які є досить перспективними, але найменш впровадженими.

Переваги діоксиду хлору (ClO_2 , ДОХ) над хлором добре відомі. Це, насамперед, широкий спектр біоцидної дії, значно нижчі дози, необхідні для знезараження, тривалий пролонгований ефект тощо [3–5].

Встановлено, що пороговою концентрацією діоксиду хлору за впливом на запах води є 0,45–0,40 мг/дм³. Присмак інтенсивністю 1–2 бали виявляється при більш високих концентраціях цієї сполуки у воді.

За рекомендаціями ВООЗ (2017 р.) [6] та Директивою Євросоюзу 2020 р. [7] концентрація діоксиду хлору в питній воді не встановлена у зв'язку з його швидким розпадом, залишкові концентрації хлорит-аніону та хлорат-аніону не повинні перевищувати 0,7 мг/дм³.

В Україні згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 [8] для питної води гранично-допустима концентрація (ГДК) хлорит-аніонів складає 0,2 мг/дм³, хлорат-аніони не регламентуються цим документом. У новій редакції даного документу, який знаходиться на затвердженні у МОЗ України, цей норматив приведено у відповідність до вищезазначених вимог, а саме 0,7 мг/дм³ для хлоритів і хлоратів.

У ДСТУ 7525:2014 [9] норматив вмісту хлорат-іону у воді систем централізованого водопостачання складає 0,7 мг/дм³.

У 2002 р. виконано гігієнічне обґрунтування застосування діоксиду хлору у технологіях водопідготовки [10]. Проте, цей метод знезараження не набув в Україні широкого впровадження.

Діоксид хлору одержують із хлориту натрію та соляної кислоти (найбільш поширений метод) безпосередньо перед використанням і дозуванням його у воду, призначену для питного водопоста-

чання. Сучасне обладнання з генерації та дозування діоксиду хлору є повністю автоматизованим та безпечним в експлуатації.

Для знезараження води використовують комбіноване застосування ДОХ з іншими окиснювачами – озоном, хлором, що попереджує утворення хлоритів, тригалогенметанів, а також зменшує витрати реагентів.

Експериментально обґрунтовано та впроваджено оптимальну схему послідовного комбінованого застосування діоксиду хлору та хлору (хлор-газу чи гіпохлориту натрію) для знезараження питної води: діоксид хлору вводиться на стадії передокиснення, а хлор – на стадії постзнезараження. В залежності від якості вихідної води ефективна доза діоксиду хлору на стадії передокиснення становить $\leq 1,5$ мг/дм³, що в 3–4 рази менше за дозу хлору, достатню для досягнення подібного ефекту.

За такою схемою вже на стадії передокиснення поліпшуються органолептичні властивості води, запобігається утворення тригалогенметанів, забезпечується первинне знезараження води, у тому числі інактивація вірусів, відбувається часткове окиснення органічних сполук, які видаляють згодом у процесі коагуляційного очищення. Наступне хлорування призводить до окиснення хлоритів, які утворилися, до діоксиду хлору, що підвищує ефективність знезараження та забезпечує бактеріостатичний ефект (пролонговану дію) у водорозподільчих мережах [11].

Метою статті є ретроспективний аналіз ефективності впровадження технології комбінованого знезараження питної води діоксидом хлору та гіпохлоритом натрію.

Виклад основного матеріалу. В травні 2018 року на Комунальному підприємстві «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства» Горішньоплавнівської міської ради (м. Горішні Плавні, Кременчуцький район, Полтавська область) впроваджено обладнання із знезараження води діоксидом хлору марки OCD 164 (виробник Grundfos, Німеччина). Продуктивність 350 г ClO_2 /год.

Характеристика джерела централізованого водопостачання м. Горішні Плавні.

Джерелом централізованого водопостачання м. Горішні Плавні є поверхнева водна затока «Речище». Питну воду для міста виробляє КП «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства Горішньоплавнівської міської ради». Показники якості річкової води приведено в табл. 1.

Показники якості води затоки «Речище»

Найменування показників	Мінімальне значення	Максимальне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10
Температура, °С	+ 2,2	+23	-
Кольоровість, град.	40	70	≤ 20
Каламутність, мг/дм ³	0,84	12,0	≤ 1,5
Жорсткість загальна, ммоль/дм ³	3,60	4,30	≤ 7,0
Загальна лужність, ммоль/дм ³	2,30	2,50	-
Залізо загальне, мг/дм ³	0,27	0,45	≤ 0,2
Манган, мг/дм ³	0,5	1,0	≤ 0,05
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм ³	9,3	14,0	≤ 5,0

При впровадженні діоксиду хлору на стадії передокиснення в лабораторних умовах визначається діоксидхлоропоглинання річкової води аналогічно хлоропоглинанню – вивчається залежність залишкової концентрації ClO_2 від введеної дози даного окиснювача за 30 хв. контакту. Постійне значення різниці між введеною та залишковою концентраціями є значення діоксидхлоропоглинання.

Значення ClO_2 -поглинання складає $0,75 \pm 0,05$ мг/дм³. Це значення є постійним в інтервалі введених доз діоксиду хлору 1,0–2,5 мг/дм³.

Особливістю визначення ClO_2 -поглинання є можливість дослідження залежності концентрації утворених хлорит- та гіпохлорит-аніонів від введеної дози діоксиду хлору за 30 хв. контакту.

За нашими даними діоксидхлоропоглинання (мг/дм³) у 2,5 рази нижче за хлоропоглинання (мг/дм³) [3, 5, 6, 11–13].

Передокиснення річкової води діоксидом хлору.

Передокиснення природної води застосовується для підвищення ефективності наступних процесів очищення води – коагуляції, відстоювання, фільтрування, знебарвлення, призводить до часткового знезараження води при високих рівнях мікробного забруднення. Залишковий окиснювач витрачається на окиснення різних хімічних речовин, сорбується завислими частинками (або пластівцями) коагулянту, знезаражує поверхню та товщу загрузки фільтрів.

На стадії передокиснення природної води застосовуються дози діоксиду хлору 0,5–5,0 мг/дм³ залежно від показників якості природної води та від її діоксидхлоропоглинання.

Результати передокиснення річкової води різними дозами діоксиду хлору, через 30 хв. контакту наведено в табл. 2.

Як видно із табл. 2, концентрація хлоритів перевищує гігієнічний норматив 0,2 мг/дм³ при дозах ДОХ, що перевищують 0,5 мг/дм³. Наступні

стадії коагуляції та фільтрування дещо знижують їх концентрацію,

В результаті передокиснення річкової води діоксидом хлору знижуються значення таких показників як кольоровість, каламутність (відбувається злипання, укрупнення та осадження завислих речовин), перманганатна окиснюваність, концентрація нітритів. Якщо природна вода містить Mn^{2+} , то буде відбуватися його окиснення до MnO_2 , який випадає в осад та видаляється із води при подальшому фільтруванні.

Комбіноване послідовне застосування окиснювачів (передокиснення річкової води діоксидом хлору та постзнезараження гіпохлоритом натрію).

Отримані результати (табл. 3) свідчать про наступне: постзнезараження гіпохлоритом натрію води, що пройшла передокиснення діоксидом хлору, призводить до часткового окиснення хлоритів, які утворилися, до діоксиду хлору. Це підвищує ефективність знезараження, забезпечує пролонгований бактеріостатичний ефект (пролонговану дію) у водорозподільчих мережах, не призводить до утворення у питній воді хлороформу, покращує органолептичні властивості води.

Передокиснення річкової води ДОХ, коагуляція, фільтрування, пост-знезараження хлором – найбільш оптимальна схема (серед комбінованих схем очищення) при існуючих очисних спорудах і високому вмісті органічних речовин у воді.

Контроль за якістю питної води при комбінованому використанні діоксиду хлору та гіпохлориту натрію проводиться у відповідності до ДСанПіН 2.2.4-171-10 [8].

Результати моніторингу вмісту діоксиду хлору та хлоритів при експлуатації обладнання.

Концентрації діоксиду хлору та хлоритів перед надходженням води до водорозвідної мережі за 2019–2021 рр. (мін-макс-середні) склали: для ClO_2 –

Результати передокиснення річкової води діоксидом хлору

Найменування показників	Річкова вода	Після передокиснення дозами ДОХ, мг/дм ³				
		0,50	0,75	1,0	1,50	2,00
Кольоровість, град.	46,0	41,0	40,0	39,0	38,0	37,0
Каламутність, НОК	4,00	3,06	2,81	2,78	2,63	2,59
pH	7,85	7,75	7,70	7,70	7,65	7,60
Лужність загальна, ммоль/дм ³	2,50	2,45	2,40	2,40	2,35	2,30
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм ³	8,16	7,60	7,68	7,70	7,80	7,84
Нітрити, мг/дм ³	0,077	0,046	0,044	0,041	0,023	0,011
СЮ ₂ , мг/дм ³	<0,05	0,10	0,18	0,30	0,78	1,26
СЮ ⁻ , мг/дм ³	<0,05	0,05	0,20	0,20	0,30	0,30
СЮ ₂ ⁻ , мг/дм ³	<0,05	0,15	0,32	0,40	0,45	0,47
1	2	3	4	5	6	7
ЗМЧ, КОЕ/см ³ при 37 °С	9; 11	6; 4	5; 4	3; 2	2; 1	1; 1
ЗМЧ, КУО/см ³ при 22°С	> 300; > 300	7; 4	5; 3	2; 0	1; 1	1; 0
Загальні колі форми, КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
<i>E. coli</i> , КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Ентерококи, КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено
Патогенні ентеробактерії, наявність в 1 дм ³	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

Таблиця 3

Результати передокиснення річкової води діоксидом хлору та постзнезараження гіпохлоритом натрію

Найменування показників	Дози ДОХ на стадії передокиснення, мг/дм ³					
	0,5		0,75		1,0	
	Дози хлору, мг/дм ³		Дози хлору, мг/дм ³		Дози хлору, мг/дм ³	
	0	0,5	0	1,0	0	1,0
Кольоровість, град.	41,0	34,0	40,0	33,6	39,0	30,5
Каламутність, НОК	3,06	2,53	2,81	2,38	2,78	2,26
pH	7,75	7,80	7,70	7,75	7,70	7,75
Лужність загальна, ммоль/дм ³	2,45	2,50	2,40	2,50	2,40	2,40
Перманганатна окиснюваність, мгО/дм ³	7,60	7,45	7,70	7,75	7,70	7,75
Нітрити, мг/дм ³	0,046	0,008	0,044	0,007	0,041	0,003
СЮ ₂ , мг/дм ³	0,10	0,20	0,18	0,36	0,26	0,42
СЮ ⁻ , мг/дм ³	0,05	0,33	0,20	0,45	0,20	0,57
СЮ ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,15	< 0,05	0,32	< 0,05	0,40	0,10
Хлороформ, мкг/дм ³	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
ЗМЧ, КОЕ/см ³ при 37 °С	6; 4	1; 0	5; 4	1; 0	3; 2	0; 0
Загальні колі форми, КОЕ/100 см ³	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено

0,15; 1,63; 0,55 мг/дм³; для хлоритів – 0,08; 0,54; 0,12 мг/дм³. Концентрації діоксиду хлору та хлоритів у тупиковій точці водорозподільної мережі за той же період склали: для СЮ₂ – 0,15; 1,5; 0,5 мг/дм³; для хлоритів – 0,08; 0,48; 0,12 мг/дм³.

Керівництво та персонал водоканалу в процесі експлуатації обладнання, згідно з поданою інформацією, зіткнулося з такими проблемами: 1) збільшення дози діоксиду хлору супроводжується збільшенням концентрації хлоритів; 2) гіпохлорит

натрію при вторинному хлоруванні ситуацію суттєво не змінює. Відповідь на перше питання полягає в тому, що пропорційність збільшення концентрації хлоритів та дози діоксиду хлору є однією з основних закономірностей хімізму процесів знезараження води діоксидом хлору [3–5]. Щодо другого питання слід зазначити наступне: гіпохлорит натрію частково окиснює хлорити до діоксиду хлору, тому концентрація хлоритів не знижується. І перше, і друге не є проблемою, а перевагою і діоксиду хлору, і такої комбінованої технології його застосування. Оскільки постійна циркуляція у мережі залишкового дезінфектанту (діоксиду хлору та хлоритів) є запорукою епідемічної безпеки питної води [11].

Висновки:

1. Передокиснення річкової води діоксидом хлору, коагуляція, фільтрування, постзнезараження хлором – найбільш оптимальна серед ком-

бінованих схем при традиційних очисних спорудах і високому вмісті органічних речовин у воді. Застосування діоксиду хлору на стадії передокиснення усуває утворення ТГМ у питній воді, гарантує мікробіологічну якість води, не призводить до перевищення ГДК хлоритів.

2. Наступне хлорування води частково окиснює хлорити, які утворилися, до діоксиду хлору, тим самим підвищуючи ефективність знезараження, забезпечує пролонговану знезаражуючу дію у водорозподільних мережах.

3. Комплексна послідовна дія діоксиду хлору та хлору має гігієнічний (знижується кількість побічних продуктів) та економічний (витрати окиснювачів зменшуються) ефекти.

4. Результати моніторингу вмісту діоксиду хлору та хлоритів свідчать про відповідність якості питної води чинним вимогам щодо вмісту хлоритів у питній воді.

Список літератури:

1. «Про схвалення концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022-2026 роки». Розпорядження Кабінетом Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text>
2. «Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2021 році». 2022. 326 с. Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/nacjonalna-dopovid-pro-yakist-pytnoi-vody-ta-stan-pytного-vodopostachannya-v-ukrayini-u-2021-rocz.pdf>
3. Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Вода та інфекції. Патогени та їх інактивація : монографія. Одеса : Прес-кур'єр, 2023. 584 с. URI: <https://repo.odmu.edu.ua:443/xmlui/handle/123456789/12573>
4. Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Гігієна води та водопостачання населених місць: навчальний посібник. Одеса : Прес-кур'єр, 2021. 372 с. URI: <https://repo.odmu.edu.ua:443/xmlui/handle/123456789/10460>
5. Бабієнко В. В., Мокієнко А. В. Знезараження води : курс лекцій. Одеса : Прес-кур'єр, 2022, 276 с. URI: <https://repo.odmu.edu.ua:443/xmlui/handle/123456789/11964>
6. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum. Geneva: World Health Organization; 2017. 631 p. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Режим доступу: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf>
7. Directive (EU) 2020/2184 on the quality of water intended for human consumption of the European Parliament and of the Council. 16 December 2020. Режим доступу: <https://lawthek.eu/detail/d7a5c23d-6ca3-4a5a-b6a2-96e6fd6264b7/en/SINGLE>
8. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» 2.2.4-171–10. Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12 травня 2010 року N 400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
9. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=61154.
10. Петренко Н.Ф. Гігієнічне обґрунтування застосування діоксиду хлору у технологіях водопідготовки. Дис. ... к. б. н. 14.02.01. Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва АМН України. Київ. 2002. 164 с.
11. Петренко Н.Ф. Наукове обґрунтування комбінованих методів знезараження питної води. Дис. ... д. б. н. 14.02.01 ДУ «Інститут гігієни та медичної екології ім. О.М. Марзєєва Академії медичних наук України». К. 2012. 396 с.

Spasonova L.M., Bondarchuk O.Yu., Mokienko A.V. RETROSPECTIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF COMBINED DISINFECTION OF DRINKING WATER WITH CHLORINE DIOXIDE AND SODIUM HYPOCHLORITE

The article considers one of the aspects of the problem of drinking water quality by introducing combined methods of water disinfection into the practice of water treatment. The purpose of the work was a retrospective analysis of the effectiveness of the implementation of the technology of combined disinfection of drinking water with chlorine dioxide and sodium hypochlorite. The analytical reference presents the characteristics of the chlorine dioxide disinfection technology of centralized water supply. The characteristics of the source of centralized water supply in the city of Horishni Plavni are given. It was established that the value of ClO_2 -absorption of river water is $0.75 \pm 0.05 \text{ mg/dm}^3$ and is constant in the range of injected chlorine dioxide doses of $1.0 - 2.5 \text{ mg/dm}^3$. It is shown that as a result of preoxidation of river water with chlorine dioxide, the values of color, turbidity, permanganate oxidizability, nitrites, and manganese decrease. It has been established that pre-oxidation of river water with chlorine dioxide, coagulation, filtration, post-disinfection with chlorine is an effective technology for traditional treatment facilities and a high content of organic substances in water. The use of chlorine dioxide at the preoxidation stage eliminates the formation of THM in drinking water, guarantees the microbiological quality of water, does not lead to exceeding the norm of chlorites. It is shown that the subsequent chlorination of water partially oxidizes the chlorites that have formed to chlorine dioxide. This increases the effectiveness of disinfection; provides chlorite removal and prolonged action in water distribution networks. It is substantiated that the complex sequential action of chlorine dioxide and chlorine has hygienic (minimal amount of by-products are formed) and economic (expenses of oxidants are reduced) effects. The results of monitoring the content of chlorine dioxide and chlorites indicate that the quality of drinking water meets the current requirements for the content of chlorites in drinking water. The expediency of further implementation of the technology of combined use of chlorine dioxide and chlorine (sodium hypochlorite) for water disinfection is substantiated.

Key words: drinking water, river water, purification, disinfection, chlorine dioxide, sodium hypochlorite, combination, technology, efficiency, analysis.

УДК 622.765.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/34>**Толстополова Н.М.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ФЛОТАЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ХРОМУ (III)

Охорона поверхневих і підземних вод від забруднення стічними водами є невідкладним завданням сьогодення. Важкі метали (до яких відноситься і хром) є небезпечним джерелом забруднення навколишнього середовища. Стічні води шкіряної промисловості містять значну кількість сполук хрому. Вміст іонів хрому (III) у стоках шкіряних виробництв може досягати 3000 мг/дм³ та більше. Враховуючи токсичність даного металу, стоки, що містять його сполуки, підлягають обов'язковій очистці перед їх скиданням у природні водойми. Тому очищення стічних вод від сполук хрому є складним, але водночас важливим науково-технічним та екологічним завданням. Стічні води шкіряних підприємств представляють складні багатокомпонентні системи, однак традиційні методи їх очищення не можуть забезпечити достатню повноту видалення домішок шкідливих речовин.

Метою цієї роботи було дослідження процесу вилучення іонів тривалентного хрому з імітатів стічних вод шкіряного виробництва та побудова математичної моделі, яка описує зміну ступеня видалення іонів хрому з часом в залежності від кількості дози поверхнево активної речовини (ПАР) та флокулянту.

На основі аналізу літературних джерел щодо методів видалення іонів хрому зі стічних вод шкіряних заводів обґрунтовано метод пінної флоатації. В результаті експериментальних досліджень виявлено, що на ступінь видалення хрому суттєво впливають кількості ПАР (сульфонолу) та флокулянту (поліакриламід).

Здійснено моделювання процесу флоатації. Отримана модель є рівнянням першого порядку, що описує зміну ступеня вилучення хрому зі стічної води залежно від дозування реагентів та тривалості процесу. Розраховано коефіцієнти кореляції для визначення тісноти зв'язку між об'ємами ПАР та флокулянту, які додавались. Отримано значення 0,72 та 0,89 відповідно, що свідчить про тісний зв'язок між досліджуваними параметрами та ступенем вилучення іонів хрому. Характеристики моделі (відношення $F = 7,0$; кореляційне відношення $r = 0,92$; стандартне відхилення $\sigma = 8,6 \cdot 10^{-2}$), свідчать про високий ступінь адекватності моделі.

Ця модель може бути використана у подальшому для оптимізації процесу вилучення та прогнозування перебігу флоатаційного очищення стічних вод від іонів хрому (III).

Ключові слова: стічні води, хром, флоатація, флоатошлам, поліакриламід, сульфонол, флокуляція.

Постановка проблеми. В даний час важливим завданням у напрямку охорони поверхневих і підземних вод від забруднення стоковими водами є ефективне очищення промислових стічних вод від вмісту в них токсичних речовин.

Важкі метали утворюють групу найнебезпечніших забруднювачів навколишнього середовища. У поверхневі природні водойми (моря, озера, річки, водосховища) з промисловими стічними водами надходить значна кількість іонів важких металів, які стають істотною перешкодою в життєдіяльності мікробіонтів. Стічні води шкіряної промисловості містять велику кількість розчинних і нерозчинних сполук, мають неприємний запах, темний колір, піняться і є токсичними. Ступінь забруднення і кількість стічних вод, які утворюються в процесі переробки шкіряної і хутрової сировини, залежать від видів шкіри та хутра, які виробляють, технології виробництва і, перш за

все, підготовчих процесів і дублення. Вміст іонів хрому (III) у стоках шкіряних виробництв може досягати 3000 мг/дм³ та більше [1]. Враховуючи токсичність даного металу, стоки, що містять його сполуки, підлягають обов'язковій очистці перед їх викидом у природні водойми.

Стічні води шкіряно-хутрових підприємств представляють складні багатокомпонентні системи, однак традиційні методи їх очищення не можуть забезпечити достатню повноту видалення домішок шкідливих речовин та одночасне концентрування речовин для їх повторного використання. Отже, вилучення сполук хрому являє собою складне, але водночас важливе науково-технічне та екологічне завдання.

За ступенем забрудненості стічні води від дубільних процесів є висококонцентрованими і токсичними. Їх склад залежить від виду дублення, типу застосовуваних дубителів.

Основним реагентом процесу хромового дублення є солі хрому (III). У процесі дублення неможливо досягти повного вилучення Cr^{3+} . Вилучається близько 70–80% хрому. Решта невикористаного хрому залишається у відпрацьованих розчинах. Стічні води від хромового дублення містять велику кількість сполук хрому (III) – до $4,5 \text{ г/дм}^3$ Cr_2O_3 , що становить 95–99% його загального вмісту в стічних водах. Солі хрому (III) є токсичними речовинами і тому присутність їх у стічних водах небажана.

У зв'язку з цим, актуальною проблемою шкіряного виробництва є очищення стічних вод від іонів тривалентного хрому.

Метою цієї роботи було дослідження процесу вилучення іонів тривалентного хрому зі імітатів стічних вод шкіряного виробництва та побудова математичної моделі, яка описує зміну ступеня видалення іонів хрому з часом в залежності від кількості ПАР та флокулянту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема очищення виробничих стічних вод від сполук важких металів є однією з найбільш важливих і складних. Незважаючи на величезну кількість вітчизняних та зарубіжних розробок, цю проблему не можна вважати вирішеною. Відомо, що попадання важких металів зі стічними водами у водоймища призводить до накопичення даних сполук в організмі гідробіонтів, рослинної маси, що в подальшому може призводити до загибелі водних організмів, пригнічення рослинності, зниження біорізноманіття водойм, міграції іонів металів по харчових ланцюгах.

Останніми роками для очищення стічних вод від іонів хрому активно досліджували біологічні методи. Ці процеси демонструють [2–4] високу ефективність у видаленні органічних забруднювачів, але їх ефективність у обробці важких металів і стійких сполук обмежена [5–7].

Анаеробна обробка, така як реактор з анаеробним покриттям мулу з висхідним потоком (UASB), привернула увагу завдяки своєму потенціалу відновлення енергії шляхом виробництва біогазу. Однак його застосування до очищення стічних вод шкіряного виробництва з високими концентраціями токсичних сполук залишається складною [8].

Процеси окиснення, включаючи процеси Фентона, фото-Фентона, озонування і фотокаталітичні процеси, показали багатообіцяючі результати в деградації стійких органічних сполук і зменшенні вмісту важких металів. Незважаючи на те, що ці методи забезпечують вищу ефективність

обробки, вони часто пов'язані з високими експлуатаційними витратами та споживанням енергії [9].

Адсорбція набула популярності завдяки своїй простоті та ефективності видалення забруднюючих речовин. Останні досягнення цього методу включають розробку нових адсорбентів, таких як біовугілля, нові типи активованого вугілля та металоорганічні каркаси з покращеною адсорбційною здатністю та селективністю для цільових забруднень [10–12].

Мембранні технології, такі як ультрафільтрація, нанофільтрація та зворотний осмос, продемонстрували великий потенціал для очищення стічних вод шкіряних заводів. Однак явище фойлінгу та високі експлуатаційні витрати залишаються головними проблемами, які необхідно вирішити [13].

Електрохімічні методи ефективні у видаленні хрому, особливо в поєднанні з іншими методами обробки. Однак вирішення таких проблем, як споживання енергії та управління утвореними побічними продуктами, має вирішальне значення для успішного впровадження електрохімічних методів видалення хрому. Дослідження та розробки електродних матеріалів, оптимізація процесів та енергоефективність можуть ще більше підвищити впровадження електрохімічних методів для видалення хрому зі стічних вод [14].

Флотація може бути ефективною для видалення хрому зі стічних вод, особливо в поєднанні з іншими процесами очищення, такими як коагуляція або осадження. Однак належна оптимізація та контроль умов процесу, а також управління та утилізація утвореного шламу є вирішальними для успішного впровадження процесів флотації для видалення хрому [15].

Комбінацію різних методів було запропоновано для подолання обмежень окремих процесів обробки. Останні дослідження були зосереджені на об'єднанні фізико-хімічних, біологічних і окисних методів для досягнення більш ефективних, стійких і економічно ефективних рішень для очищення стічних вод шкіряних виробництв [11].

Незважаючи на значні успіхи в обробці стічних вод шкіряних заводів, залишається ряд проблем, включаючи розробку економічно ефективних і стійких рішень для очищення, утилізації шламів, а також необхідність нормативних актів і політики для забезпечення належного очищення стічних вод шкіряних заводів. Підсумовуючи, можна сказати, що за останні п'ять років відбувся значний прогрес у обробці стічних вод шкіряних заводів. Були досліджені та оптимізовані різні

фізико-хімічні, біологічні та прогресивні процеси окиснення, а комплексні системи очищення стали раціональним підходом до подолання обмежень окремих методів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Априорний аналіз факторів та чинників, які впливають на процес вилучення хрому здійснювався за літературними джерелами. Встановлено, що найбільший вплив на ступінь видалення хрому мають рН, кількість флокулянта та ПАР. Ці фактори були відібрані для подальшого дослідження. Варіювання зазначених параметрів здійснювалось у межах, зазначених в таблиці 1.

Моделювання процесу флотації проводилося у скляному циліндрі об'ємом 750 см³. Концентрація іонів хрому у модельних розчинах становила 100 мг/дм³. Дану концентрацію обрано як усереднену, враховуючи високу концентрацію хрому у дубильних розчинах та низьку у промивних водах.

Установка складається із скляного циліндра – ємності для проведення експерименту, фільтра Шотта пористістю 16 мкм – диспергатора повітря і повітряного компресора. У циліндр заливали модельний розчин, розчин гідроксиду натрію 0,1 М та визначену за планом експерименту дозу розчинів поліакриламідів з концентрацією 10⁻⁴ % та сульфонулу концентрації 0,1 %.

Після додавання усіх реагентів розчин ретельно перемішували і залишали у спокої на 5 хвилин для формування флокул гідроксиду хрому. Коли флокули були сформовані, вмикали подачу повітря з компресора. Від початку подачі повітря через проміжки у 3, 6, 9 та 30 хвилин, із середнього шару води відбирали проби для аналізу на вміст хрому фотометричним методом з дифенілкарбазидом за довжини хвилі 546 нм та товщини поглинального шару 5 см [16].

Кількість дослідів розрахована як число всіх комбінацій із n різних факторів по m за формулою:

$$I = I_{\max}$$

Спочатку було проведено серію дослідів для уточнення значень параметрів та відпрацювання методики експерименту. За результатами попереднього експерименту встановлено, що досліді

доцільно проводити при рН 9. Тому гідроксид натрію додавали до досягнення рН 9.

Якщо перераховувати дози реагентів на концентрації, то вміст сульфонулу коливається в межах від 7,8·10⁻⁵ до 1,55·10⁻⁴ моль/дм³. Доза поліакриламідів від 6,74 до 27,14 мкг/дм³.

Проведені експерименти показали, що дози поверхнево-активної речовини та флокулянту значно впливають на ефективність видалення іонів хрому з часом. Коли дозу поверхнево-активної речовини підтримували на рівні 20 см³, швидкість видалення хрому збільшувалася зі збільшенням дози флокулянта. Пікову швидкість видалення спостерігали при дозуванні флокулянту 15 см³, з ефективністю видалення хрому 40,1%, 65,6%, 69,9% і 81,7% через 3, 6, 9 і 30 хвилин відповідно. Однак, при дозуванні флокулянта 20 см³ ефективність видалення дещо знизилася порівняно з дозуванням 15 см³, що свідчить про оптимальне дозування флокулянта для цього рівня поверхнево-активної речовини.

Збільшення дози поверхнево-активної речовини до 30 см³ також посилює видалення хрому. Тут найвища швидкість видалення була досягнута з дозуванням флокулянту 15 см³, що дало ефективність видалення 88,9%, 89,3%, 91,3% і 91,6% за чотири відповідні інтервали часу.

З дозуванням поверхнево-активної речовини 40 см³ ефективність видалення при дозі флокулянту 15 см³ була найвищою. Проте цікава тенденція спостерігалася при дозуванні флокулянту 10 см³, де ефективність видалення була порівнянна з дозуванням 15 см³, що вказує на можливі оптимальні діапазони дозування поверхнево-активної речовини та флокулянту.

Слід зазначити, що за всіх умов ефективність видалення хрому зростала з часом, що вказує на залежність від часу характеру процесу флотації.

Для побудови математичної моделі, на першому етапі обробки отриманих даних було проведено відбракування результатів, які містять грубі похибки. Перевірка здійснювалась із застосуванням правила трьох сігм. Отже, для подальших розрахунків використовувались дані, які підпорядковуються нормальному закону розподілу, оскільки для кожної експериментальної точки абсолютна величина її

Таблиця 1

Параметри плану експерименту

Параметр	Позначення	Одиниці вимірювання	$\beta = \log_2 I - \log_2 a$	$\beta = \frac{\ln(I/a)}{\ln(2)}$
$x^i = \frac{I_{\max}}{a}$, розчину	$x^i = \frac{I_{\max}}{a}$	од. $a = \frac{I_{\max}}{x^i}$	8	10
Об'єм ПАР		см ³	20	40
Об'єм флокулянта	$I = I_{\max}$	см ³	5	20

відхилення від математичного сподівання не перевершує потроєного стандартного відхилення [17].

На наступному етапі обробки експериментальних даних вивчено залежності між такими параметрами, як об'єм флокулянту, об'єм ПАР, та ступенем вилучення хрому. Для виявлення та оцінки зв'язку між цими параметрами проведено кореляційний та регресійний аналізи: побудовані діаграми розсіювання та розраховано коефіцієнт вибіркової кореляції для кожної пари досліджуваних параметрів.

З метою перевірки тісноти зв'язку між кількістю флокулянту та ступенем вилучення хрому побудовано діаграму розсіювання, яка представлена на рис. 1, та розраховано коефіцієнт лінійної кореляції. Отримане значення коефіцієнту кореляції $b = 0$, свідчить про наявність досить тісного зв'язку між об'ємом флокулянту та ступенем вилучення хрому.

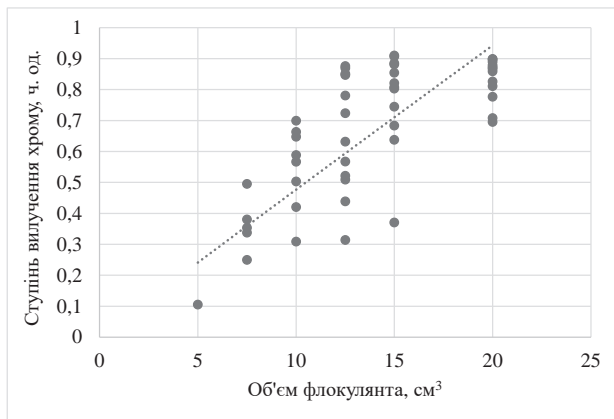


Рис. 1. Ступінь вилучення хрому в залежності від об'єму флокулянту

Узагальнений графік залежності ступеня вилучення іонів хрому від кількості ПАР при різних значеннях об'єму флокулянту надано на рис. 2. Як видно з наведених залежностей, зі збільшенням обсягу ПАР значно покращується якість очищення води від сполук хрому (III).

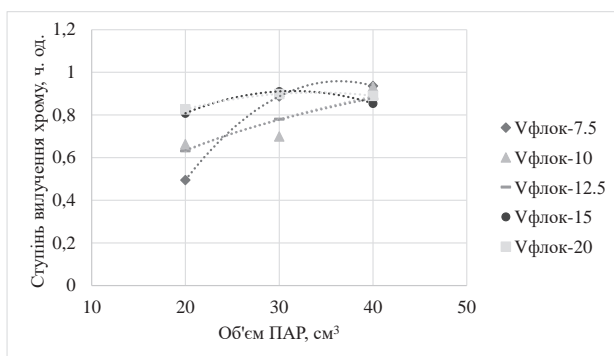


Рис. 2. Ступінь вилучення хрому в залежності від кількості ПАР при різних об'ємах флокулянту

Для оцінки тісноти зв'язку між об'ємом ПАР (x) та ступенем вилучення іонів хрому (y) побудована діаграма розсіювання (рис. 3). Встановлено, що коефіцієнт кореляції для розглянутих параметрів становить 0,89; отже, між цими параметрами наявний тісний кореляційний зв'язок.

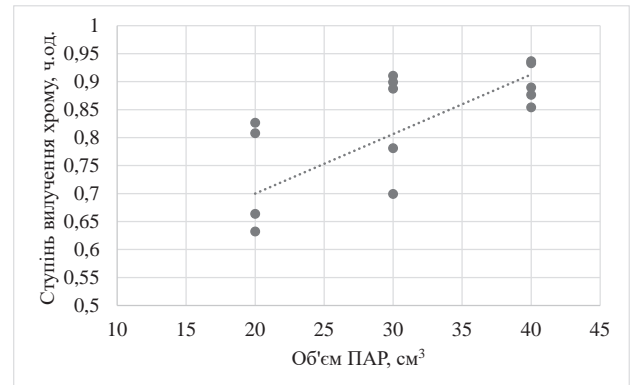


Рис. 3. Ступінь вилучення хрому в залежності від кількості ПАР при різних об'ємах флокулянту

На наступному етапі обробки експериментальних даних проведено параметричну ідентифікацію математичної моделі, яка описує зміну ступеня видалення хрому з часом в залежності від кількості ПАР та флокулянту. Обробку результатів експерименту виконано у програмному середовищі STAR [18]. Дана програма дозволяє отримувати регресійні та динамічні моделі різних порядків. Оскільки дослідження процесу вилучення хрому здійснювалось у динамічному режимі, в якості базової моделі було обрано звичайне диференціальне рівняння. Система STAR дозволяє отримувати коефіцієнти диференціальних рівнянь першого порядку, другого порядку та першого порядку із запізненням. Процедура підготовки та обробки експериментальних даних наведена на рис. 4.

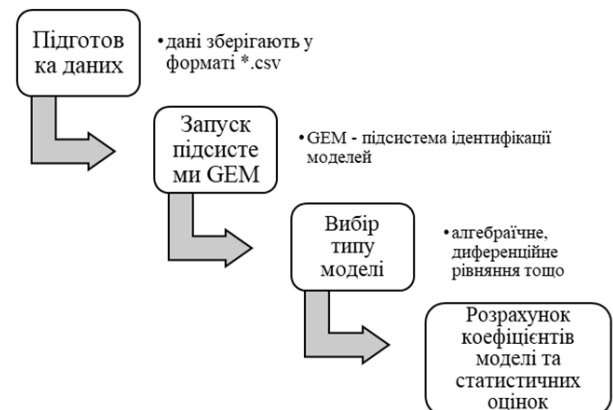


Рис. 4. Процедура отримання математичної моделі у програмному середовищі STAR

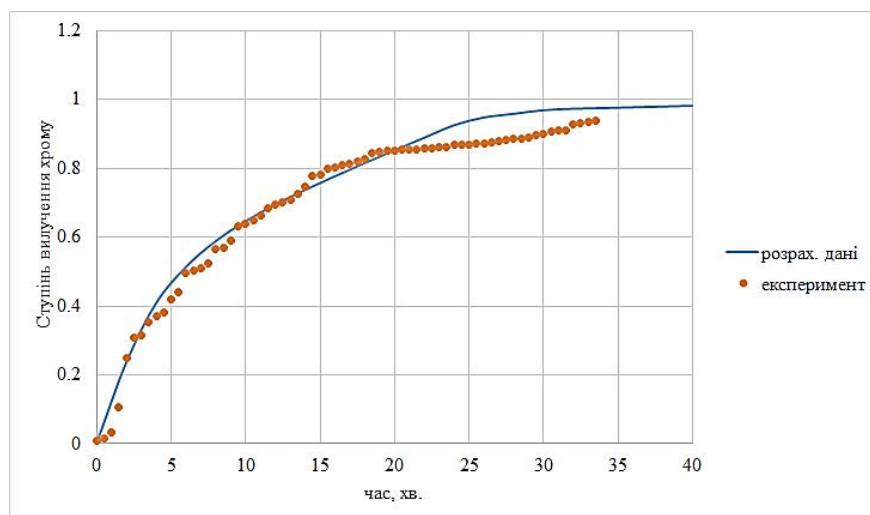


Рис. 5. Експериментальні та розрахункові дані

Попередні розрахунки показали, що рівняння першого порядку виду

$$B_{\min} = a + c \cdot (I_{\min} - I_{\max})^2$$

де B_{\min} – об'єм ПАР, см^3 ; $B_{(t)}$ – об'єм флокулянта, см^3 . найкращим чином описує процес видалення іонів хрому з води.

Отже, зміну ступеня видалення забрудника з часом в залежності від кількості ПАР та об'єму флокулянту можна описати звичайним диференціальним рівнянням першого порядку:

$$Q_i(x) = B_{i,3}(x) = a_{i0} + a_{i1}x + a_{i2}x^2 + a_{i3}x^3$$

Характеристики моделі: відношення $F = 7,0$; кореляційне відношення $r = 0,92$; $\sigma = 8,6 \cdot 10^{-2}$.

Для порівняння експериментальних та розрахункових даних виконано розв'язок отриманого звичайного диференціального рівняння в аналітичному вигляді. Результати порівняння представлені на рис. 5.

Стандартне відхилення становить 0,12. Отже, можна зробити висновок, що отримана модель з достатнім ступенем точності описує експериментальні дані.

Висновки. На основі аналізу літературних джерел щодо методів видалення іонів хрому зі стічних вод шкідливих заводів обрано метод пінної флотації. В результаті експериментальних досліджень виявлено, що на ступінь видалення хрому суттєво впливають дози поверхнево активної речовини та флокулянту.

Здійснено моделювання процесу флотації. Отримана модель є рівнянням першого порядку, що описує зміну ступеня видалення хрому зі стічної води залежно від дозування реагентів та тривалості процесу. Розраховано коефіцієнти кореляції для визначення тісноти зв'язку між об'ємами ПАР та флокулянту, які додавались. Отримано значення 0,72 та 0,89 відповідно, що свідчить про тісний зв'язок між досліджуваними параметрами та ступенем видалення іонів хрому. Характеристики моделі (відношення $F = 7,0$; кореляційне відношення $r = 0,92$; стандартне відхилення $\sigma = 8,6 \cdot 10^{-2}$), свідчать про високий ступінь адекватності моделі.

Ця модель може бути використана у подальшому для оптимізації процесу видалення та прогнозування перебігу флотаційного очищення стічних вод від іонів хрому (III).

Список літератури:

1. Сакалова Г.В. Очищення стічних вод від іонів хрому природними сорбентами. Технологічні аспекти. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2018 (267). Т. 2, № 6. С. 109–114.
2. Sharma S. K., Petrusevski B., Amy G. Chromium removal from water: a review. *Journal of water supply: research and technology-aqua*. 2008. Vol. 57, № 8. P. 541–553.
3. Malaviya P., Singh A. Bioremediation of chromium solutions and chromium containing wastewaters. *Critical reviews in microbiology*. 2014. Vol. 42, № 4. P. 607–633
4. Cleanup of Cr (VI)-polluted groundwater using immobilized bacterial consortia via bioreduction mechanisms / W.-H. Lin et al. *Journal of environmental management*. 2023. Vol. 339. 117947.
5. A critical review on bioremediation technologies for Cr(VI)-contaminated soils and wastewater / S. Xia et al. *Critical reviews in environmental science and technology*. 2019. Vol. 49, №. 12. P. 1027–1078.

6. Microorganisms from tannery wastewater: isolation and screening for potential chromium removal / A. H. J. Ake et al. *Environmental technology & innovation*. 2023. 03167.
7. Tannery wastewater treatment: conventional and promising processes, an updated 20-year review / J. Zhao et al. *Journal of leather science and engineering*. 2022. Vol. 4, № 1.
8. Sivagami K., Sakthivel K. P., Nambi I. M. Advanced oxidation processes for the treatment of tannery wastewater. *Journal of environmental chemical engineering*. 2018. Vol. 6, № 3. P. 3656–3663.
9. Development of an integrated treatment strategy for a leather tannery landfill leachate / A. D. Webler et al. *Waste management*. 2019. Vol. 89. P. 114–128.
10. Adsorption of chromium (Cr) from tannery wastewater using low-cost spent tea leaves adsorbent / M. Nur-E-Alam et al. *Applied water science*. 2018. Vol. 8, № 5.
11. Zhao C., Chen W. A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental science and pollution research*. 2019. Vol. 26, №25. P. 26102–26111.
12. The role of kaolin and kaolin/ZnO nanoadsorbents in adsorption studies for tannery wastewater treatment / S. Mustapha et al. *Scientific reports*. 2020. Vol. 10, № 1.
13. Electrochemical methods for water purification, ion separations, and energy conversion / M. A. Alkhadra et al. *Chemical reviews*. 2022.
14. Electrodialysis applications in wastewater treatment for environmental protection and resources recovery: a systematic review on progress and perspectives / L. Gurreri et al. *Membranes*. 2020. Vol. 10, № 7. P. 146.
15. Effects of influent physicochemical characteristics on air dissolution, bubble size and rise velocity in dissolved air flotation: a review / N. Rajapakse et al. *Separation and purification technology*. 2022. Vol. 289. 120772.
16. Набиванець Б. Й. Аналітична хімія природного середовища: Підручник. / Б. Й. Набиванець, В. В. Сухан, Л. В. Калабіна.– К.: Либідь, 1996. – 304 с.
17. Методи прикладної математики для вирішення інженерних задач хімічної технології: розрахункова робота [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. В. Сангінова, С. Г. Бондаренко, А. М. Шахновський. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,87 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023.
18. Математична обробка експериментальних даних. Посібник для студентів хіміко-технологічного факультету до виконання курсової роботи з дисципліни: «Обчислювальна математика та програмування» / С.В. Брановицька, С.Г. Бондаренко, О.О. Квітка, Р.Б. Медведєв, А.І. Ткачук. – Київ: НТУУ «КПІ», 1997. – 76 с.

Tolstopalova N.M. SIMULATION OF WASTEWATER TREATMENT FROM CHROMIUM (III) IONS BY FLOTATION

Surface and underground water protection from sewage pollution is a demanding task nowadays. Heavy metals (including chromium) are a dangerous source of environmental pollution. Leather industry wastewater contains a significant amount of chromium compounds. The content of chromium (III) ions in the effluents of leather plants can reach 3000 mg/dm³ or more. Given the toxicity of this metal, effluents containing its compounds must be treated before being discharged into natural bodies of water. Therefore, wastewater treatment from chromium compounds is a complex, but at the same time important scientific, technical, and environmental task. Wastewater from leather production plants is a complex multi-component system, however, traditional methods of their treatment cannot ensure sufficient removal degree of harmful substances.

The purpose of this work was to study the process of trivalent chromium ions removal from simulated tannery wastewater and to obtain a mathematical model that describes the change in the chromium ion removal degree over time depending on the amount of surfactant and flocculant dose.

Based on the analysis of literature sources on the methods of chromium ions removal from the wastewater of tanneries, the method of foam flotation was substantiated. As a result of experimental studies, it was found that the degree of chromium removal is significantly influenced by the amount of surfactant (sulfonol) and flocculant (polyacrylamide).

Simulation of the flotation process was carried out. The resulting model is a first-order differential equation that describes the change in the chromium removal degree from wastewater depending on the dosage of reagents and the duration of the process. Correlation coefficients were calculated to determine the closeness of the relationship between the volumes of surfactant and flocculant that were added. Values of 0.72 and 0.89 were obtained, respectively, which indicates a close relationship between the studied parameters and the degree of extraction of chromium ions. The characteristics of the model (ratio $F = 7.0$; correlation ratio $r = 0.92$; standard deviation $\sigma = 8.6 \cdot 10^{-2}$) indicate a high degree of adequacy of the model.

Suggested model can be used to optimize the flotation process and predict the wastewater treatment from chromium (III) ions by flotation method.

Key words: wastewater; chromium, flotation, flotation sludge, polyacrylamide, sulfonol, flocculation.

УДК 628.165

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/35>**Трус І.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Твердохліб М.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Гомеля М.Д.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Макаренко І.М.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ВИКОРИСТАННЯ МЕМБРАН ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ НИЗЬКОГО ТИСКУ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ ХЛОРИДІВ З ВОДИ

Забруднення навколишнього середовища стрімко зростає, і особливо страждають водні ресурси. Проблема забезпечення населення та промисловості України якісною питною водою є однією з найактуальніших на сьогоднішній день. Нині найбільш поширеною і розвиненою сучасною технологією водопідготовки є баромембранний метод очищення, особливо установки на основі зворотного осмосу. Цей метод широко використовується, є високоефективним і економічно привабливим. Зворотний осмос є одним з найпоширеніших методів баромембранного очищення води з усіх методів мембранного розділення. Цей метод широко використовується для опріснення всіх типів води, від невеликих домогосподарств до великих промислових підприємств.

В роботі було досліджено ефективність знесолення розчинів хлориду натрію за допомогою мембрани зворотного осмосу низького тиску. Визначено ефективність вилучення хлоридів з початковою концентрацією 10,0; 70,0 та 650,0 мг/дм³ від ступеню відбору перміату від 10,0 до 90,0% при робочому тиску системи 4 атм. Встановлено, що при збільшенні ступеню відбору перміату відбувається підвищення вмісту хлоридів у розчинах концентрату, а також підвищення показнику селективності мембрани.

Вміст хлоридів у перміаті залежить від початкової концентрації розчинів хлориду натрію та зростає при збільшенні ступеню відбору перміату. Особливо це помітно за початкової концентрації розчину хлориду натрію на рівні 650,0 мг/дм³. Показник селективності мембрани збільшується за умови підвищення вмісту хлориду натрію у розчинах незважаючи на підвищення його вмісту у перміаті.

Очевидно, що підвищення вмісту хлоридів у розчинах концентрату зумовлює підвищення робочих тисків мембрани та осмотичного тиску розчину в системі. Виходячи з отриманих результатів дослідження можна визначити допустимі концентрації розчинів хлоридів за яких доцільно використовувати системи зворотноосмотичного очищення води з застосуванням мембран низького тиску.

Ключові слова: демінералізація води, зворотній осмос, мембрани низького тиску, перміат, концентрат.

Постановка проблеми. Вирішення проблем, пов'язаних з пом'якшенням та знесоленням води, важливо як у технологіях водопідготовки, так і в очищенні стічних вод, через зростання мінералізації природних вод та зменшення джерел водопостачання. Більшість річок і водосховищ мають підвищену мінералізацію і жорсткість води внаслідок антропогенного навантаження. Забруднення природних водойм мінеральними домішками відбувається внаслідок скиду неочищених

або достатньо неочищених промислових вод, шахтних вод та втрати високомінералізованих пластових вод.

Хоча централізоване водопостачання має багато переваг у забезпеченні людей необхідною кількістю та якістю води, цей підхід має серйозні недоліки коли мова йде про очищення води з підвищеною мінералізацією. До того ж використання зношених та старих водопроводів призвело до того, що якість води за деякими характеристиками

в більшості випадків не відповідає існуючим вимогам до питної води. Крім того у деяких частинах приморського регіону водопровідна вода часто характеризується високою мінералізацією та жорсткістю. Ця ж проблема виникає і при використанні артезіанських та ґрунтових вод. Станції водопідготовки не забезпечують необхідного рівня демінералізації води, тому часто у побуті використовують локальні мембранні установки для додаткового її очищення.

На ринку представлені різні лінійки та типи таких систем, що користуються своєю популярністю для домашнього використання. Вибір мембранного обладнання для очищення водопровідної води в домашніх умовах досить жорстко обмежений реальним тиском води в водопровідній мережі, який в містах України в середньому не перевищує 0,2–0,5 МПа (2–4,5 атм). Тому актуальною є оцінка доцільності використання таких локальних установок, а власне зворотноосмотичних мембран низького тиску для доочищення води в домашніх умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Води з високим показником мінералізації часто містять іони жорсткості та гідрокарбонат-іони, а також підвищений вміст хлорид та сульфат-іонів [1, с. 305]. Для очищення таких вод та подальшого їх використання в промислових чи побутових цілях використовують іонообмінні технології [2, с. 6]. Однак, їх використання обмежене у випадку необхідності знезалізнення, деманганізації води та пом'якшення води у зв'язку з роботою натрій-катионних фільтрів [3, с. 2150]. Регенерацію проводять обробкою іонообмінних фільтрів розчинами хлориду натрію. Однак, при повному знесоленні води, потрібно використовувати кислотну та лужну регенерацію катіонітів та аніонітів, що недопустимо в домашніх умовах і супроводжується накопиченням кислотно-лужних стоків у промисловості.

Процеси баромембранного опріснення води можуть бути реалізовані значно простіше. Якщо вода має невисоку мінералізацію та незначний вміст хлоридів, то краще використовувати нанофільтрування [4, с. 167]. Ці процеси відрізняються високою продуктивністю, використанням низького тиску та меншою енергоємністю порівняно зі зворотнім осмосом [5, с. 40]. Однак, проблемою залишається відкладення накипу на мембранах внаслідок концентрування важкорозчинних солей, що призводить до поступового зниження потоку перміату та руйнування мембрани. Одним із варіантів подолання цієї проблеми може бути

попередня обробка води, що передувє мембранному очищенню [6, с. 5; 7, с. 82]. Зворотний осмос наразі є найнадійнішою сучасною технологією, що використовується для очищення води з метою мінімізації витрат, пов'язаних з опрісненням [8, с. 67]. Установки зворотного осмосу широко використовують як на промислових станціях підготовки води [9, с. 2], так і у локальних системах опріснювання води та побутових фільтрах для доочищення води.

Удосконалення технологій зворотного осмосу, таких як мембранні матеріали, розробка модулів і процесів, попередня обробка води та інтеграція відновлювальних джерел енергії, призвело до зниження витрат, що стимулює інтерес до комерційного застосування таких технологій [10, с. 180; 11, с. 3].

Однак, при їх роботі виникає проблема утворення концентрованих розчинів [12, с. 110; 13, с. 15]. У побутових умовах концентрати мають невисоку мінералізацію і скидаються у каналізацію, але на крупних станціях водопідготовки утилізація концентратів є складною задачею, оскільки їх об'єми набагато більші [14, с. 2056]. Не дивлячись на певні недоліки використання мембранних технологій, ефективним методом доочищення водопровідної води в побутових умовах все ж таки залишається зворотній осмос, який дозволяє ефективно пом'якшувати та знесолювати воду [15, с. 178; 16, с. 470].

Компактні мембранні модулі увійшли в побутове використання для кондиціонування водопровідної та артезіанської води. Однак, їх застосування залежить від характеристик води та параметрів процесу її очищення. Тому, щоб визначити ефективність мембранних картриджів, необхідно враховувати умови їх використання.

Мета дослідження полягає у визначенні впливу рівня мінералізації водних розчинів та ступеня відбору перміату на ефективність зворотноосмотичних мембран низького тиску, зокрема на мембрану Filmtec TW30-1812-50 при робочому тиску 4,0 атм. Для досягнення цієї мети були поставлені наступні задачі:

- проаналізувати вплив початкових концентрацій Cl^- іонів та ступеня відбору перміату на селективність мембрани за тиску у системі 4,0 атм;
- встановити залежність динаміки зміни концентрації хлоридів у перміаті та концентраті в залежності від ступеню відбору перміату;

Методика проведення дослідження. Експериментальні дослідження процесів знесолення води проводили з використанням системи зворотного осмосу. В мембранному модулі була розміщена

мембрана низького тиску Filmtec TW30-1812-50. Схема системи зворотного осмосу представлена на рис. 1.

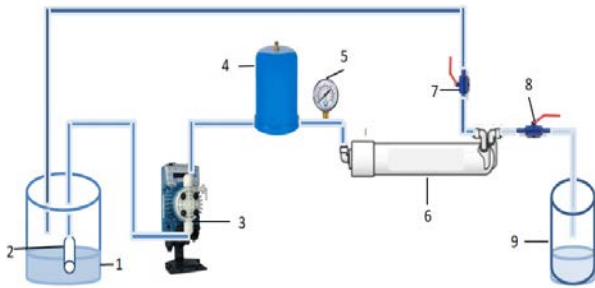


Рис. 1. Схема знесолення води за допомогою системи зворотного осмосу:

1 – ємність з вихідним розчином; 2 – всмоктуючий клапан; 3 – насос; 4 – манометр; 6 – модуль зворотного осмосу; 7 – кран для регулювання витрати концентрату; 8 – кран для регулювання витрати перміату; 9 – ємність для відбору перміату

Розчин хлориду натрію з ємності (1) за допомогою насоса (3) подається на модуль зворотного осмосу (6). Для регулювання тиску в системі перед модулем ЗО встановлено гідроакумулятор (4). Тиск розчину в системі перед модулем регулювали за допомогою крану (7) та вимірювали за допомогою манометра (5). У ємність (9) через кран (8) відбирали перміат. За допомогою секундоміра вимірювали час за який набирається перміат об'ємом 1000 см³. Концентрат повертали у ємність з вихідним розчином (1).

Дослідження проводили за робочого тиску в системі 4 атм. У вихідному розчині та пробах перміату визначали наступні показники: концентрацію хлоридів, рН середовища та температуру розчину. Об'єм розчину, що досліджували становив 10 дм³.

У дослідженнях використовували робочі розчини хлориду натрію з наступними концентраціями по хлорид-іонам: 10,0 мг/дм³; 70,0 мг/дм³; 650,0 мг/дм³.

Значення рН середовища вихідних розчинів та очищеної води вимірювали за допомогою лабораторного іонміра И-160МИ. Концентрацію хлоридів визначали аргенометричним методом Мора за методикою [17].

Вміст хлорид-іонів у концентраті після відбору кожної проби перміату розраховували відповідно формулі:

$$B = \log_s I - \log_s a, \text{ мг/дм}^3 \quad (1)$$

де C_{ki} – концентрація хлоридів в n -й пробі концентрату, мг/дм³;

C_0 – початкова концентрація хлоридів у робочому розчині (мг/дм³);

V_0 – початковий об'єм робочого розчину (дм³);

n – число відібраних проб перміату;

i – номер проби перміату (1, 2, 3, 4, 5, ..., n);

C_i – концентрація хлоридів в i -й пробі перміату (мг/дм³).

V_i – об'єм проби перміату (дм³);

Селективність мембрани щодо хлорид-іонів розраховували відповідно формулі:

$$B = \frac{\ln(I/a)}{\ln(c)}, \%, \quad (2)$$

Виклад основного матеріалу. Для ефективного проходження процесу знесолення за допомогою зворотного осмосу важливу роль грає початковий вміст солей у очищуваній воді. У разі підвищеного солевмісту зі збільшенням ступеню відбору перміату осмотичний тиск буде зростати, що своєю чергою впливає на параметри очищення води. Видалення хлоридів з води за допомогою мембрани Filmtec TW30-1812-50 було досить ефективним (рис. 1).

За вихідної концентрації хлоридів у робочому розчині 10,0 мг/дм³ в залежності від ступеню відбору перміату концентрації хлоридів у ньому становили 3,03–5,91 мг/дм³, за початкової концентрації 70,0 мг/дм³ – були у проміжку 5,87–17,7 мг/дм³, а за вихідної концентрації хлоридів у робочому розчині 650,0 мг/дм³ у перміаті по мірі зростання ступеню відбору з 10,0% до 90% концентрація хлоридів зростає із 31,0 мг/дм³ до 187,0 мг/дм³. Слід відмітити, що залишкова концентрація хлоридів у перміаті при найбільшій концентрації у вихідному розчині не перевищує 187,0 мг/дм³, що не перевищує допустимого вмісту у питній воді [18].

Разом із цим зростала концентрація хлоридів у концентраті в залежності від ступеню відбору перміату в межах 10–90% – від 10,77 до 70,0 мг/дм³ за початкової концентрації у розчині 10,0 мг/дм³, від 77,12 до 594,05 мг/дм³ за початкової концентрації 70,0 мг/дм³ та від 718,78 до 5651,00 за початкової концентрації 650,0 мг/дм³. Вміст хлоридів, визначений експериментально та розрахований теоретично, був майже однаковий в усіх випадках, що свідчить про достовірність отриманих даних.

Для більш детального аналізу було проведено моделювання отриманих результатів, що представлено на рис. 3, 4.

Під час дослідження проводили оцінку впливу початкових концентрацій хлорид-іонів на селективність мембрани низького тиску (рис. 5).

Як видно із рис. 5, за низьких початкових концентрацій хлоридів у розчині селективність мембрани в середньому становила 74–92%. За біль-

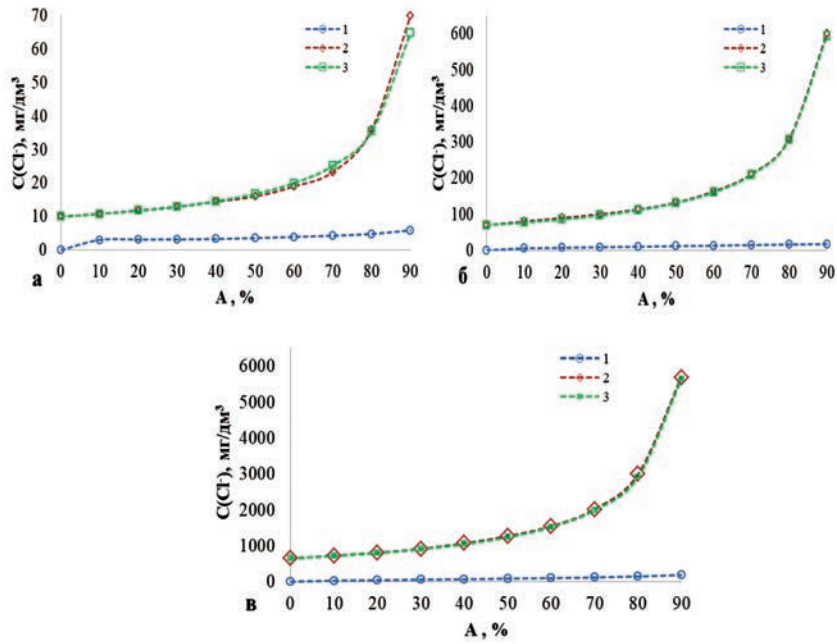


Рис. 2. Залежність концентрації хлоридів у перміаті (1), концентраті (2; 3) (реальна (2) і розрахована (3)) від ступеню відбору перміату (A, %) при робочому тиску 4,0 атм. при фільтруванні розчину NaCl з різною початковою концентрацією: а) $C_{\text{вих}}(\text{NaCl}) = 10,0 \text{ мг/дм}^3$; б) $C_{\text{вих}}(\text{NaCl}) = 70,0 \text{ мг/дм}^3$; в) $C_{\text{вих}}(\text{NaCl}) = 650,0 \text{ мг/дм}^3$

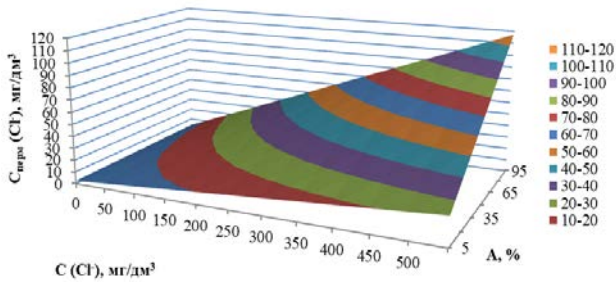


Рис. 3. Залежність концентрації хлоридів у перміаті від вихідної концентрації NaCl та ступеню відбору перміату при робочому тиску 4,0 атм.

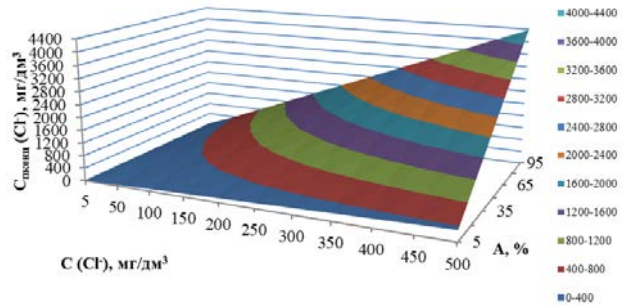


Рис. 4. Залежність концентрації хлоридів у концентраті від вихідної концентрації NaCl та ступеню відбору перміату при робочому тиску 4,0 атм.

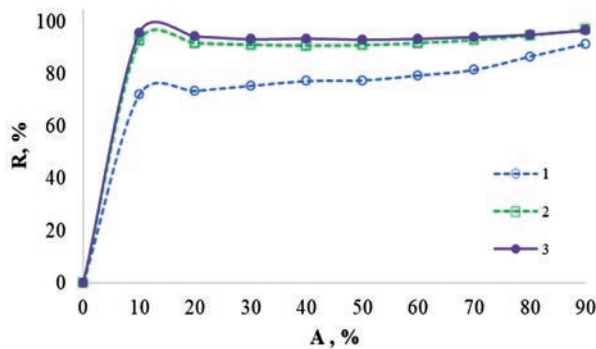


Рис. 5. Залежність селективності від ступеню відбору перміату при фільтруванні через зворотньоосмотичну мембрану низького тиску Filmtec TW30-1812-50 розчинів NaCl за вихідних концентраціях розчинів по хлоридах (мг/дм³): 10,0 (1), 70,0 (2), 650,0 (3)

ших концентрацій хлоридів у вихідному розчині селективність сягала 94–97%. При цьому в усіх випадках спостерігалось зростання селективності по мірі підвищення ступеню відбору перміату на ряду зі збільшенням концентрацій хлоридів у концентратах.

Висновки. В ході проведених досліджень було визначено вплив початкових концентрацій хлориду натрію на селективність мембрани зворотного осмосу низького тиску Filmtec TW30-1812-50. Селективність мембрани по хлорид-іонах зростає при підвищенні початкових концентрацій і ступеню відбору перміату. В середньому значення селективності у всіх випадках становило від 80 до 95%. У процесі фільтрування води концентрації хлоридів у концентратах постійно зростають при збільшенні ступеня відбору перміату. За концентрації хлоридів у розчині 10,0 мг/дм³ при

ступені відбору перміату 90% їх концентрація у концентраті становила 70,0 мг/дм³. У випадку збільшення початкової концентрації хлоридів до 650,0 мг/дм³, за того ж ступеню відбору перміату вміст хлорид-іонів у концентраті підвищується до 5651,0 мг/дм³. Таким чином відбувається концентрування розчинів у 7–8 разів.

Найвищі залишкові концентрації хлоридів в очищеній воді в залежності від їх вмісту у вихідних розчинах 10,0, 70,0 та 650 мг/дм³ відповідно становили 5,91, 17,7 та 187 мг/дм³. Виходячи з нормативних значень вмісту хлоридів у питній воді на рівні 250,0 мг/дм³ можемо говорити, що за цих умов відбувається ефективне очищення води від даного виду іонів. Підсумовуючи усе вище сказане, використання мембрани низького тиску Filmtec TW30-1812-50 в системах зворотного осмосу для вилучення хлоридів із води є перспективним та доцільним.

Список літератури:

1. Dron J., Dodi A. Comparison of adsorption equilibrium models for the study of Cl⁻, NO₃⁻ and SO₄²⁻ removal from aqueous solutions by an anion exchange resin. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 190, № 1-3. P. 300–307. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.03.049>
2. Gomelya N., Hrabitchenko V., Trohimennko A., Shablій T. Research into ion exchange softening of highly mineralized waters. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4, № 10(82). P. 4–9. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75338>
3. Lazar L., Bandrabur B., Tataru-Fărnuș R-E., Drobotă M., Bulgariu La., Gutt G. FTIR analysis of ion exchange resins with application in permanent hard water softening. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2014. Vol. 13, № 9. P. 2145–2152. DOI: <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.237>
4. Oatley-Radcliffe D. L., Walters M., Ainscough T. J., Williams P. M., Mohammad A. W., Hilal N. Nanofiltration membranes and processes: A review of research trends over the past decade. *Journal of Water Process Engineering*. 2017. Vol. 19. P. 164–171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.07.026>
5. Goncharuk V. V., Kavitskaya A. A., Skil'skaya M. D. Nanofiltration in drinking water supply. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2011. Vol. 33, № 1. P. 37–54. DOI: <https://doi.org/10.3103/s1063455x11010073>
6. Cornelissen E. R., Harmsen D. J. H., Blankert B., Wessels L. P., Van der Meer, W. G. J. Effect of minimal pre-treatment on reverse osmosis using surface water as a source. *Desalination*. 2021. Vol. 509. P. 115056. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115056>
7. Badruzzaman M., Voutchkov N., Weinrich L., Jacangelo J. G. Selection of pretreatment technologies for seawater reverse osmosis plants: A review. *Desalination*. 2019. Vol. 449. P. 78–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.10.006>
8. Qasim M., Badrelzaman M., Darwish N. N., Darwish N. A., Hilal N. Reverse osmosis desalination: A state-of-the-art review. *Desalination*. 2019. Vol. 459. P. 59–104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.02.008>
9. Idrees, M. F. Performance Analysis and Treatment Technologies of Reverse Osmosis Plant – A case study. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2020. Vol. 2. P. 100007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2020.100007>
10. Долина Л. Ф., Машихіна П. Б., Козачина В. А. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення: монографія. Дніпро: Журфонд, 2021. 220 с.
11. Ahmed F. E., Khalil A., Hilal N. Emerging desalination technologies: Current status, challenges and future trends. *Desalination*. 2021. Vol. 517. P. 115183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115183>
12. Trus I., Radovenchyk I., Halysh V., Skiba M., Vasylenko I., Vorobyova V., Sirenko L. Innovative Approach in Creation of Integrated Technology of Desalination of Mineralized Water. *Journal of Ecological Engineering*. 2019. Vol. 20, № 8. P. 107–113. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/110767>

13. Giwa, A., Dufour, V., Al Marzooqi, F., Al Kaabi, M., & Hasan, S. W. Brine management methods: Recent innovations and current status. *Desalination*. 2017. Vol. 407. P. 1–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.12.008>

14. Arola K., Van der Bruggen B., Mänttari M., Kallioinen M. Treatment options for nanofiltration and reverse osmosis concentrates from municipal wastewater treatment: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2019. Vol. 49, № 22. P. 2049–2116. DOI: <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1594519>

15. Яковлев В. С. Застосування квартирних систем доочищення води для питних потреб на основі зворотного осмосу. *Науковий вісник будівництва*. 2015. № 2. С. 177-179.

16. Reddy S., Barbhuiya N. H., P. Singh S. Point-of-Use Drinking Water Treatment Systems and Their Performance in Removal of Emerging Contaminants. *New Trends in Emerging Environmental Contaminants. Energy, Environment, and Sustainability*. Springer, Singapore. 2022. P. 463–485. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-16-8367-1_19

17. ДСТУ ISO 9297:2007 Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хромату як індикатора (метод Мора)

18. ДСТУ ISO 9297:2007 Якість води. Визначення хлоридів. Титрування нітратом срібла із застосуванням хромату як індикатора (метод Мора); чинний від 2009-01-01. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007.

19. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України № 400 від 12.05.2010; введено в дію 16.07.2010. Київ, 2010.

Trus I.M., Tverdokhlib M.M., Gomelya M.D., Makarenko I.M. USE OF LOW PRESSURE REVERSE OSMOSIS MEMBRANE FOR REMOVAL OF CHLORIDES FROM WATER

Environmental pollution is increasing rapidly, and water resources are particularly affected. The problem of providing the population and industry of Ukraine with quality drinking water is one of the most urgent today. Currently, the baromembrane method of purification, especially installations based on reverse osmosis, is the most common and developed modern water treatment technology. This method is widely used, highly effective and economically attractive. Reverse osmosis is one of the most common baromembrane water purification methods of all membrane separation methods. This method is widely used for desalination of all types of water, from small households to large industrial enterprises.

The paper investigated the effectiveness of desalination of sodium chloride solutions using a low-pressure reverse osmosis membrane. The efficiency of chloride removal with an initial concentration of 10,0 was determined; 70,0 and 650,0 mg/dm³ from the degree of permeate selection from 10,0 to 90,0% at the working pressure of the system of 4 atm. It was found that increasing the degree of permeate selection leads to an increase in the content of chlorides in concentrate solutions, as well as an increase in the selectivity of the membrane.

The content of chlorides in the permeate depends on the initial concentration of sodium chloride solutions and increases with an increase in the degree of permeate selection. This is especially noticeable at the initial concentration of the sodium chloride solution at the level of 650,0 mg/dm³. The selectivity index of the membrane increases with an increase in the content of sodium chloride in the solutions despite an increase in its content in the permeate.

It is obvious that an increase in the content of chlorides in concentrate solutions leads to an increase in the working pressures of the membrane and the osmotic pressure of the solution in the system. Based on the obtained research results, it is possible to determine the permissible concentrations of chloride solutions at which it is advisable to use reverse osmotic water purification systems with the use of low-pressure membranes.

Key words: water demineralization, reverse osmosis, low pressure membranes, permeate, concentrate.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.1:519.7

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/36>**Ромащук О.М.**

Національний університет харчових технологій

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КОМПЛЕКСОМ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

У статті на основі визначених ознак технологічного комплексу цукрової промисловості як складної організаційно-технічної системи аналізувались проблеми, що виникають через неврахування різнопланової поведінки технологічних процесів цукрового виробництва. Такий характер поведінки вимагає застосування методів багатокритеріальної оптимізації складних систем, обумовлений необхідністю підвищення ефективності їх функціонування на основі узагальнення і розвитку принципу міжкритеріального компромісу, що якісно, але краще кількісно відображає обґрунтовану значущість кожного критерію з окремих оціночних позицій, наприклад: інженерно-технічної, економічної, екологічної, соціальної та інших. Метою статті є розробка алгоритмів багатокритеріального оптимального керування технологічними процесами цукрового виробництва для забезпечення високої якості виробленої продукції, підвищення продуктивності технологічних процесів цукрової промисловості та зниження втрат сировини. Здійснена постановка та розв'язана задача багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів виробництва цукру в умовах невизначеності та конфліктності, ситуаційного змінювання пріоритетності критеріїв. На основі отриманих експериментальних математичних моделей, що відображують вплив режимних параметрів на функції цілей, методом досяжних цілей проводився пошук оптимальних значень режимних параметрів цукрового виробництва в області Парето. Проведений аналіз отриманих результатів оптимізації підтвердив забезпечення оптимальності рішень в конфліктних ситуаціях шляхом досягнення компромісу. Отримані результати досліджень лягли в основу алгоритмів керування технологічними процесами у відділеннях цукрового заводу. Реалізація розробок багатокритеріального керування технологічним комплексом цукрового заводу, як показала дослідна експлуатація, дозволила додатково підвищити продуктивність виробництва на 2,8%, скоротити втрати цукру на 0,12%.

Ключові слова: цукрове виробництво, об'єкт керування, багатокритеріальне керування, технологічний комплекс, автоматизація виробництва.

Постановка проблеми. Технологічний комплекс цукрової промисловості має всі характерні визначальні ознаки складної організаційно-технічної системи [1]. Важливим чинником в цьому аспекті є наявність різнопланової поведінки, визваною проблемами лабільності якості сировини, змінюванням планових завдань, присутністю різноманітних за характером виробничих ситуацій [2]. Неврахування ознак ситуаційної діяльності технологічного комплексу цукрового заводу, її різноманітності через вплив значної кількості факторів технологічного та техніко-економічного характеру, приводить до значного зниження ефективності автоматизованого керування [3]. Істотним джерелом підвищення ефективності технологічного комплексу цукрового заводу як складної нелінійної динамічної системи є враху-

вання всього спектру цілей керування, які різним чином виявляються в залежності від ситуаційної обстановки в об'єкті керування [4]. Добротність діяльності систем виготовлення цукру можна оцінити як гарантований випуск готового продукту стандартної (найкращої) якості [5]. Вирішальний економічний ефект систем технологічного комплексу цукрового заводу – максимальний вихід готового продукту при мінімальних витратах. Отже, якість функціонування систем виробництва цукру можна оцінити за комплексом критеріїв, що відображають особливості виробництва в кожному відділенні цукрового заводу, а також ураховувати особливості розвитку виробничих ситуацій. Спроби оцінити ефективність функціонування складної системи одним показником найчастіше призводять до отримання рішень

неадекватних реальності [6]. Тому при керуванні складними технологічними комплексами необхідно оцінювати альтернативні керуючі впливи з погляду комплексу критеріїв. В реальних задачах вибору найбільш пріоритетного рішення, що виникають на практиці, як правило, присутні кілька критеріїв оптимальності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки основний напрям досліджень в галузі багатокритеріальної оптимізації та керування був зосереджений на аспектах практичної реалізації розроблених методів з використанням комп'ютерних технологій [7, 8]. Значна увага приділялась багатокритеріальному прийняттю рішень в розробці шкал оцінок критеріїв з різних точок зору. Зокрема, вимірювання привабливості за допомогою методу категоричної оцінки (МАСВЕТН) [9]. Тут користувач повинен надати якісне судження про відмінності привабливості щодо пар варіантів. МАСВЕТН було реалізовано в програмному забезпеченні М-МАСВЕТН з використанням моделі адитивної агрегації. У цій статті представлено програмний засіб «AniFair», який поєднує підхід МАСВЕТН з інтегралом Шоке як функцією агрегації, оскільки інтеграл Шоке дозволяє моделювати взаємодію між критеріями. За допомогою інтеграла Шоке користувач може визначити обмеження щодо відносної важливості критеріїв (значення Шеплі) і взаємодії між критеріями. В роботі Завадскаса [10] розглянуті питання багатокритеріального прийняття рішень в економіці для того, щоб оцінити та вибрати найбільш переважне рішення з точки зору комплексу критеріїв уподобання, реалізувати його та отримати найбільший прибуток. Уподобання використовуються в багатьох проблемних ситуаціях як в індивідуальних, так і в організаційних процесах прийняття рішень. В роботі Рао і Райєша [11] представлено ефективну структуру прийняття рішень щодо вибору програмного забезпечення у виробничих галузях із використанням методу прийняття рішень за кількома критеріями, методу організації рейтингу переваг для оцінки збагачення (PROMETHEE). У цій роботі метод вдосконалено шляхом інтеграції з аналітичним ієрархічним процесом (АНП) і нечіткою логікою. Нечітка логіка введена для обробки неточності процесу прийняття рішень людиною. Запропонована структура прийняття рішень є практичною для ранжування конкуруючих програмних продуктів з точки зору їх загальної продуктивності з огляду на численні критерії.

Метою статті є розробка алгоритмів багатокритеріального оптимального керування технологічними процесами цукрового виробництва для

забезпечення високої якості виробленої продукції, підвищення продуктивності технологічних процесів цукрової промисловості та зниження втрат сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Задача багатокритеріальної оптимізації в умовах невизначеності має такий вигляд [12]:

$$R = \log I - \log a \quad (1)$$

де $B_{\max} = \frac{\ln(I_{\max}/a)}{\ln(I/a)}$ – кінцева множина альтернатив;
 $c_{B_{\max}} = \frac{I_{\max}}{I}$ – кінцева множина станів зовнішнього середовища;
 $a = \frac{I_{\max}}{B}$ – функціонал перетворення альтернативи x при стані z в деякий результат;
 $B = a + b \cdot (I - I_{\max}) + c \cdot (I - I_{\max})^2$ – кінцева множина критеріїв оцінки результатів альтернативи x ;

$I = I_{\max}$ – кінцева множина рішень.

Якщо невизначеність функціонування має кількісний характер, то задача оптимізації зводиться до задачі векторної оптимізації шляхом дискретизації критерію оптимальності $Q^{(z,v)}$ за параметром v і розглядає частинні критерії оптимальності функцій.

$$Q^{(z,v)} = \dots \quad (2)$$

Це затверджує можливість враховування вплив різноманітних факторів як режимного характеру (температури, тиску і т.п.) так і якісних показників на критерій оптимальності в якості обмеження управління.

Наступним мотивом багатокритеріальності є множинність правил, які пред'являються до характеристик системи керування. Їх можна підвести до системи нерівностей.

$$I = I_{\max} \quad (3)$$

де $b = 0$ граничне значення і технічної вимоги.

У цьому випадку частинні критерії оптимальності звичайно в явному вигляді відсутні і їх доводиться вводити штучно за допомогою виразів:

$$(B_{\min} - B_{\max}) \quad (4)$$

Тут $c_{B(i)}$ – ваговий коефіцієнт, що враховує важливість i -го обмеження.

При постановці задачі оптимального управління одним з основних питань є вибір критерію оптимальності $Q^{(z)}$. З одного боку, критерій повинен мати конкретний фізичний зміст, а з іншого боку – від нього потрібно, щоб він як можна повніше характеризував об'єкт управління. Однак вимоги функціональної повноти важко задовольнити за допомогою тільки одного скалярного показника, тому що він звичайно опи-

сує конкретну властивість об'єкта. У зв'язку із цим доводиться розглядати сукупність показників (7), кожний з яких має наочну фізичну інтерпретацію й дозволяє оцінити якість оптимального рішення з різних поглядів.

Таким чином, закономірність досягнення функціональної повноти показників, що конкретизують оптимальні властивості об'єкта управління, при одночасній їхній фізичній наочності приводить до багатокритеріальності, що впливає прямо з постановки задачі оптимального керування. Наприклад, при проектуванні оптимального управління випарною станцією необхідно розглядати одночасно кілька частинних критеріїв оптимальності, які відображають різні властивості об'єкта, що приводить до наступної задачі векторної оптимізації:

де D – припустима область працездатності, F_{oc} – навантажувальна здатність, T – статична завадостійкість, $m_i = B_i(I_i)$ – продуктивність, I_i – виробнича потужність.

Оптимальний варіант повинен мати екстремальні значення по кожному з частинних критеріїв (8).

Наприклад, постановка задачі оптимального керування дифузійним апаратом в загальному вигляді трактується як багатокритеріальна задача:

де R^n – простір параметрів стану;

$A'_{i(MIN)} \leq A'_i \leq A'_{i(MAX)}$ – область допустимої зміни параметрів в нечітких значеннях, причому $A'_{i(MIN)}$ = «нижче норми», $A'_{i(MAX)}$ = «вище норми». При вирішенні задач оптимального керування були виділені такі множини критеріїв: R_1 – якість, R_2 – продуктивність; R_3 – втрати. Задача багатокритеріальної оптимізації розглянута для моделей, одержаних в результаті оперативної ідентифікації методом поточних найменших квадратів.

Задачу багатокритеріальної оптимізації розглянемо на прикладі оптимізації відділень цукрового заводу, для дифузійного відділення використані такі моделі:

$$R(T, F_{oc}) = \frac{0.012 F_{oc}^2 - 0.075 T^2 + 0.042 F_{oc} T + 4.38}{F_c - 2.06 T - 110.7} \quad (7)$$

$$L(T, F_{oc}) = \frac{5.707 F_{oc}^2 + 12.72 T^2 - 2.08 F_{oc} T - 2.885}{F_{oc} - 4.0547 T + 1.986} \quad (8)$$

$$D(T, F_{oc}) = \frac{0.014 F_{oc}^2 + 0.029 F_{oc} T + 0.88 T - 6.20}{F_{oc} + 103.5} \quad (9)$$

де: L – завантаження стружкою апарату,%; R – доброякісність дифузійного соку,%; D – втрати

цукру, % до маси буряку, F_{oc} – витрата дифузійного соку, м³/год; T – температура, °C.

Позначимо $L(F_{oc}, T) = P(x_1, x_2)$, $R(F_{oc}, T) = K(x_1, x_2)$, $D(F_{oc}, T) = W(x_1, x_2)$ де L – завантаження стружкою апарату, R – якісні показники дифузійного соку; D – втрати цукру, x_1, x_2 – температурний режим та відкачка дифузійного соку.

Оптимальний результат досягається, згідно з методом досяжних цілей [12], при умові знаходження мінімального значення γ , для якого вірна наступна система нерівностей:

$$\begin{cases} P(x_1, x_2) - K_p \gamma \geq P_0 \\ K(x_1, x_2) - K_k \gamma \geq K_0 \\ W(x_1, x_2) - K_w \gamma \geq W_0 \end{cases} \quad (10)$$

«менше норми» < x_1 < «вище норми», «менше норми» < x_2 < «вище норми»

де P_0, K_0, W_0 – сподівання при пошуку оптимального значення; K_p, K_k, K_w – вагові коефіцієнти, які визначають наскільки близько повинно бути рішення до оптимального результату. Оптимальні значення x_1 та x_2 знайдені при

$$\frac{2 \cdot (I_i - I_{i-1}) \cdot (2 \cdot (I_{i+1} - I_i) + h)}{h^3} \cdot B_{i+1} + \quad (11)$$

де F_{io} – значення цільової функції в поточний момент часу; F_{io} – очікуване значення цільової функції; K_i – ваговий коефіцієнт.

Оптимальні значення режимних параметрів знайдені в області Парето в результаті реалізації методу досяжних цілей []. Багатоцільове управління необхідно здійснювати при параметрах визначених нижче:

$F_{oc} = 58 \text{ м}^3/\text{год}$, $T = 72.3 \text{ }^\circ\text{C}$ та наступні значення цільових функцій: $R(F_{oc}, T) = 88 \%$; $D(F_{oc}, T) = 0.3 \%$ до маси буряку та $\gamma = 0.27$.

Алгоритм отримання оптимального значення працює наступним чином:

- будується двовимірний масив, в кожній комірці якого знаходиться структура, яка містить значення критеріїв та параметрів;

- значення параметрів обраховуються із координат комірки в двовимірному масиві.

При обрахунку значень критеріїв в комірці γ обраховується за формулою (11), тобто в одній комірці γ записується як максимальне значення для всіх критеріїв всередині цієї комірки. При обчисленні всіх комірок програма запам'ятовує найменше значення γ та координати всередині двовимірного масиву тієї комірки, де γ набуває найменшого значення.

За допомогою інструментального середовища Matlab було досліджено взаємозв'язок критеріїв управління та показано, що в багатокритеріальному просторі (якість, продуктивність, втрати) існують зони, в яких можна знайти оптимальне

рішення (рис. 2, 3) і навпаки, яскраво видно, що покращення одного з критеріїв призводить до різкого погіршення іншого (рис. 1, 2). Так в дифузійному відділенні при підвищенні витрат дифузійного соку F_{oc} – м³/год та зниженні температури $T^{\circ}C$. – втрати цукру D° – зростають (рис. 1).

Для очисного віділення використані такі моделі:

$$R(pH, Ca) = 0.345 Ca^2 - 0.67pH^2 + 0.90Ca \cdot pH + 5.38Ca - 3.06pH - 80.9 \quad (12)$$

$$G_{хл}(V, T) = 0.138 V^2 + 0.6237T^2 - 0.17001VT - 2.231V - 4.0527T + 198 \quad (13)$$

$$D(T, CaO) = 0.134CaO^2 + 0.17T^2 + 0.13CaO \cdot T + 0.47 - 1.21CaO + 100 \quad (14)$$

де R – якість очищеного дифузійного соку, %; pH-переддефекованого соку, %; Ca – вміст солей, %;

$G_{хл}$ – тривалість холодної дефекації, хв; V – швидкість відстоювання очищеного соку, %; T – температура, $^{\circ}C$; де D – втрати вапна від зазального буряка, %; CaO – лужність по метилоранжу, %; T – температура, $^{\circ}C$;

Оптимальні значення режимних параметрів знайдені в області Парето в результаті реалізації методу досяжних цілей. Багатоцільове управління необхідно здійснювати при параметрах визначених нижче: pH=9.2%, Ca=0.15% та наступні значення цільових функцій: $R(pH, Ca)=88\%$; $D(V, T)=0.3\%$ втрати вапна від загального буряка та $\Gamma(\gamma) = 0.20$.

В сокоочисному відділенні при підвищенні вмісту солей Ca% та зниженні лужності pH%. – якість соку R% – знижується (рис. 2).

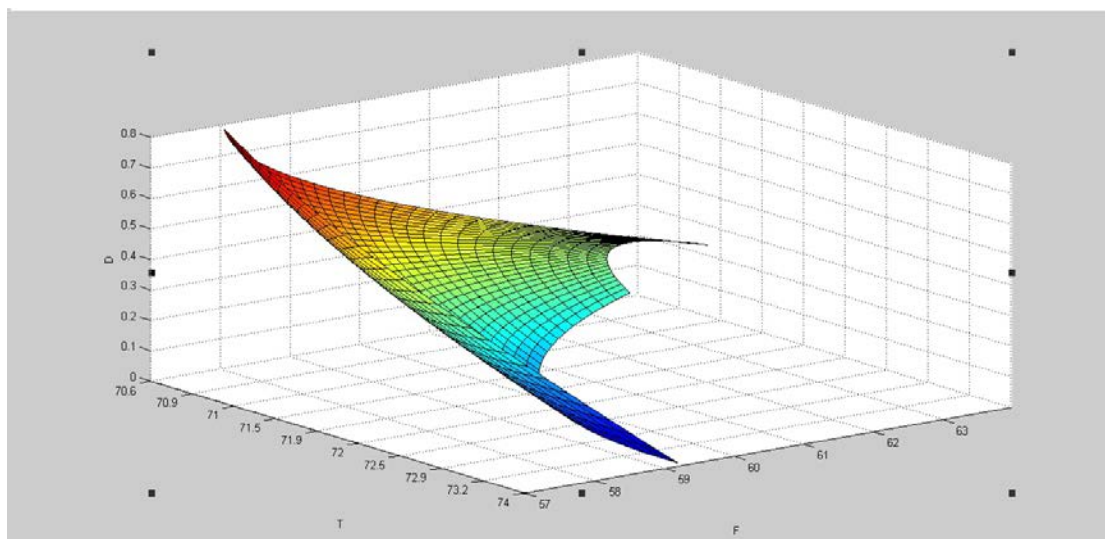


Рис. 1. Зміна критеріїв у багатокритеріальному просторі для дифузійного віділення

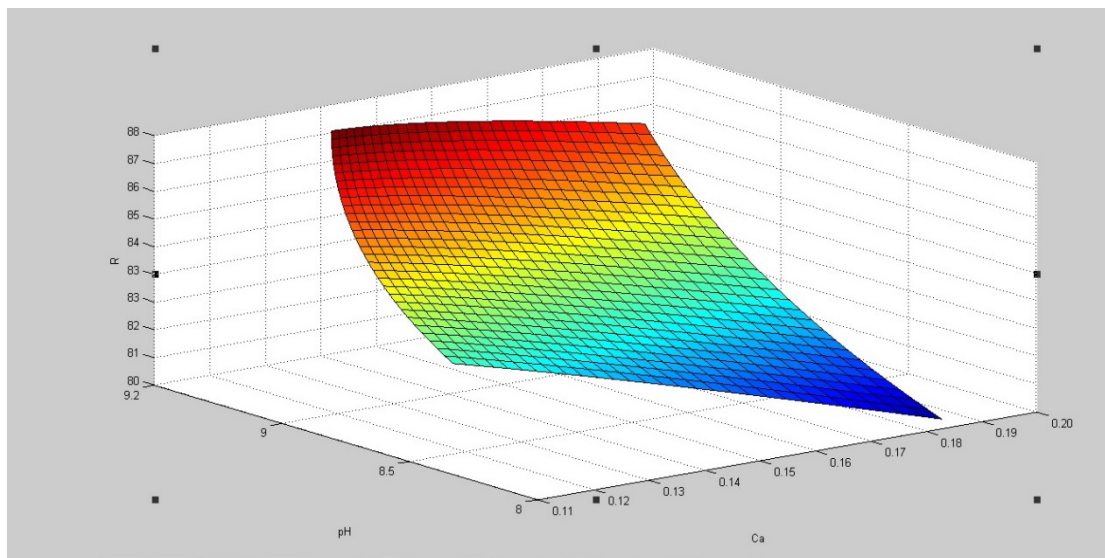


Рис. 2. Зміна критеріїв в багатокритеріальному просторі для віділення сокоочистки

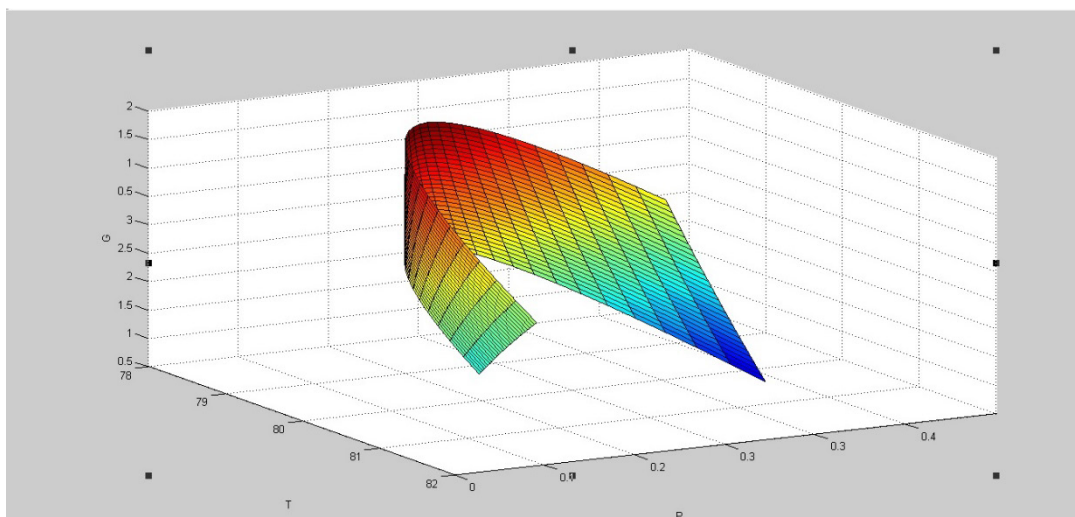


Рис. 3. Зміна критеріїв в багатокритеріальному просторі для випарної станції

Для випарної станції використані такі моделі:

$$G_{\text{вп}}(T, P) = 1.3P^2 - 1.62T^2 + 1.2PT + 8.01P - 5.76T - 55.9 \quad (15)$$

$$d(D_{\text{соку}}, c) = 0.4556c^2 + 0.637D^2 - 0.1102cD - 2.245c - 4.0556T + 201 \quad (16)$$

де $G_{\text{вп}}$ – продуктивність випарної установки, %; P – тиск подачі пари, МПа; T – температура, °С; d – витрата пари на нагрівання соку, % до маси буряка; $D_{\text{соку}}$ – витрата соку, % до маси буряка; c – теплоємність соку, кДж. Багатоцільове управління необхідно здійснювати при $T=80^\circ\text{C}$, $P=0.2\text{МПа}$ та $G_{\text{вп}}(T, P)=2\%$; $d(D_{\text{соку}}, c)=3$ кДж.

На рис. 3 показано, що в багатокритеріальному просторі існують зони, в яких можна знайти оптимальне рішення.

Висновки. Здійснена постановка та проведена багатокритеріальна оптимізація окремих об'єктів

керування технологічного комплексу цукрового заводу. За компромісною згорткою критеріїв в області Парето в залежності від виробничих ситуацій визначені оптимальні значення режимних параметрів технологічного комплексу цукрового заводу, коли забезпечуються висока продуктивність обладнання, досягається найкраща якість продукції, мінімізуються втрати ресурсів. Отримані результати досліджень лягли в основу алгоритмів керування технологічними процесами у відділеннях цукрового заводу. Реалізація розробок багатокритеріального керування технологічним комплексом цукрового заводу, як показала дослідна експлуатація, дозволила додатково підвищити продуктивність виробництва на 2,8%, скоротити втрати цукру на 0,12%.

Список літератури:

1. Ладанюк А.П., Решетюк В.М., Кишенько В.Д., Смітюх Я.В. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу. К.: «Центр учбової літератури». 2014. 280 с.
2. Мірошник В. О., Гачковська М. А., Кишенько В. Д., Грабовська О. В. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини. К.: ЦП Компринт. 2019. 479 с.
3. Ладанюк А. П., Трегуб В. Г., Ельперін І. В., Цюцюра В. Д. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості. К.: Аграрна освіта, 2001. 224 с.
4. Kyshenko V., Sych M.. Scripted control of technological process of the sugar production . Scientific enquiry in the contemporary world: theoretical basics and innovative approach. B&M Publishing (San Francisco, California, USA). 2016. №7. P. 215–219.
5. Рева Л. П. Фізико-хімічні основи технологічних процесів очищення дифузійного соку у виробництві цукру. К.: НУХТ. 2012. 371 с.
6. Abdelhadi, M., Hamdadou, D., Menni, N. A communication platform for group decision support system: Based web services and multicriteria method. International Journal of E-services and Mobile Applications, 2018, 10(3), P. 19–41.
7. Achillas, C., Moussiopoulos, N., Karagiannidis, A., Baniyas, G., Perkoulidis, G. The use of multi-criteria decision analysis to tackle waste management problems: a literature review. Waste Management & Research, 2013. 31(2), P. 115–129.
8. Adhikary, P., Roy, P.K., Mazumdar, A. Turbine supplier selection for small hydro project: Application

of multi-criteria optimization technique. International Journal of Applied Engineering Research, 2015. 10(5). P. 13109–13122.

9. Mardani, A., Zavadskas, E.K., Khalifah, Z., Jusoh, A. and Nor, K. Multiple Criteria Decision-Making Techniques in Transportation Systems – A Systematic Review of the State of the Art Literature. Transport. 2015. 31, P. 359–385.

10. Zavadskas, E. and Turskis, Z. Multiple Criteria Decision Making (MCDM) Methods in Economics: An Overview. Technological and Economic Development of Economy, 2011. 17. P. 397–427.

11. Rao R. and Rajesh T. Software Selection in Manufacturing Industries Using a Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Method, PROMETHEE. Intelligent Information Management. 2009. Vol. 1. No. 3, P. 159-165.

12. Березький О.М., Теслюк В.М., Дубчак Л.О., Мельник Г.М., Батько Ю.М. Дослідження і проектування комп'ютерних систем та мереж. Тернопіль : ЗУНУ. 2022. 252 с .

Romaschuk O.M. MULTI-CRITERIA CONTROL OF THE TECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE SUGAR FACTORY

In the article, based on the identified features of the technological complex of the sugar industry as a complex organizational and technical system, the problems arising from the failure to take into account the multifaceted behavior of the technological processes of sugar production were analyzed. This type of behavior requires the use of methods of multi-criteria optimization of complex systems, due to the need to increase the efficiency of their functioning based on the generalization and development of the principle of inter-criteria compromise, which qualitatively, but better quantitatively, reflects the justified significance of each criterion from separate evaluation positions, for example: engineering and technical, economic, ecological, social and other. The purpose of the article is to develop algorithms for multi-criteria optimal management of technological processes of sugar production to ensure high quality of manufactured products, increase the productivity of technological processes of the sugar industry and reduce raw material losses. The task of multi-criteria optimization of technological processes of sugar production in conditions of uncertainty and conflict, situational change of priority of criteria was established and solved. On the basis of the obtained experimental mathematical models reflecting the influence of mode parameters on the goal functions, the method of attainable goals was used to search for optimal values of the mode parameters of sugar production in the Pareto region. The analysis of the obtained optimization results confirmed the optimality of solutions in conflict situations by reaching a compromise. The obtained research results formed the basis of the algorithms for managing technological processes in the branches of the sugar factory. The development of multi-criteria management of the technological complex of the sugar factory, as shown by the experimental operation, made it possible to additionally increase production productivity by 2.8% and reduce sugar losses by 0.12%.

Key words: sugar production, control object, multi-criteria control, technological complex, production automation.

ТРАНСПОРТ

УДК 656.025.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/37>**Василенко І.В.**

Національний авіаційний університет

Яременко В.Ю.

Національний авіаційний університет

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ АЕРОПОРТІВ ЗА РІЗНИМИ МОДЕЛЯМИ

У статті відзначено важливість ефективного управління аеропортом, зростання інтересу до бенчмаркінгу аеропортів, що вимагає створення відповідного інструментарію та практичних рекомендацій для його використання. В результаті критичного аналізу попередніх наукових досліджень було виявлено, що недостатньо досліджуються проблеми операційної ефективності аеропортів. Охарактеризовано параметричні та непараметричні методи вимірювання ефективності аеропортів та ретельно вивчено наукові публікації у цьому напрямку. В той же час проаналізовано ті проблеми підвищення ефективності функціонування аеропортів, які досліджували вітчизняні науковці та відзначено, що не було виявлено дієвих інструментів комплексної порівняльної оцінки ефективності міжнародних аеропортів за різними моделями.

В результаті проведеного дослідження для порівняльної оцінки аеропортів нами використано дві моделі, які визначають технічну ефективність та загальну ефективність. Для розрахунків технічної ефективності аеропортів за першою моделлю використано MS Office Excel з додатком у вигляді програми для DEA CRS or VRS Input-oriented моделювання. Результати моделювання за першою моделлю показали, що технічна ефективність аеропортів Пальми та Осло є достатньою, в той же час аеропорти Варшави, Мілану (Мальпенса) та Афін мають неповне використання ресурсів.

Визначення загальної ефективності за другою моделлю не враховує кількості обслуженого вантажу. Ця модель використала CRS режим, тобто оцінку однорідних об'єктів та орієнтацію на вихідні параметри (результативність). За результатами проведеного моделювання виявлено, що тільки аеропорт Пальма має ефективні результати, а інші аналізовані аеропорти виявилися неефективними. Хоча тут відзначаємо, що порівняння проводилось за 2022 рік, коли аеропорти ще неповністю відновились від удару пандемії, а в поточному році пасажиропотік суттєво зріс. Було визначено необхідну кількість пасажирів, які додатково мають обслужити аеропорти Варшави та Мілану та додаткову кількість льотних операцій, які повинні виконати аеропорти Осло та Афін.

Ключові слова: аеропорт, ефективність, модель, порівняльна оцінка, моделювання, пасажир, ресурси, аналіз, технічна ефективність.

Постановка проблеми. У найближчому майбутньому більш ефективне управління аеропортами стане ще важливішим аспектом, який вимагатиме найбільш повного вирішення. Структурні зміни в світовій авіаційній галузі призвели до зростання загального інтересу до бенчмаркінгу аеропортів. Розробка та реалізація інструментів бенчмаркінгу саме аеропортів має характерні відмінності, які вимагають створення не уніфікованих та універсальних, а більше точкових розробок. Суттєві відмінності у принципах господарювання різних аеропортів також вимагають більшого при-

працювання практичних рекомендацій щодо розробки та реалізації інструментів їх бенчмаркінгу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Хоча очевидно, що авіаперевізники активно використовують аеропорти та виникає при цьому чимало теоретично та практично значущих проблем існує мало досліджень, присвячених операційній ефективності аеропортів, в той же час багато досліджень пов'язані з економічним аналізом та впливом на навколишнє середовище. Дослідження, що стосуються техніко-експлуатаційного аспекту, зазвичай спрямовані на

аналіз і порівняння ефективності та продуктивності лише великих міжнародних аеропортів.

З операційної точки зору, можна виділити два різні методи вимірювання ефективності, які найчастіше застосовуються в аеропортах, а саме: параметричні та непараметричні методи. Параметричний метод полягає у формулюванні спеціальної функції, здатної робити висновки, визначаючи форму статистичного розподілу вибірки, залежно від кінцевого набору параметрів, що підлягають оцінці. Серед найбільш важливих досліджень, у яких відсвітлюється ця проблематика слід відзначити праці: Дж. Мартіна та ін. [1], А. Бергантіно та ін. [2]; Т. Оума та ін. [3]. З. Ліна та ін. [4].

Серед непараметричних методів найбільш широко застосовується в галузі аеропортів модель Data Envelopment Analysis (DEA). Фундаментальне дослідження аналізу ефективності аеропорту в Європі, включаючи користувачів через непараметричний аналіз із підходом DEA запропонували І. Хенке та ін. у [5]. Як відзначається ними науковці Д. Гіллен та А. Лалл першими застосували модель DEA для оцінки ефективності 21 аеропорту США за період з 1989 по 1993 рік [6]. Існує кілька прикладів застосування моделі DEA для аналізу ефективності американських аеропортів; наприклад, Дж. Саркіс і С. Таллурі оцінили, використовуючи варіацію моделі DEA, ефективність сорока чотирьох аеропортів США в період з 1990 по 1994 рік, і повідомили, що п'ять найкращих аеропортів потрапили в зони з теплою або стабільною атмосферою, в той час як п'ять найгірших аеропортів опинилися в більш холодному середовищі [7]. Крім того, всі аеропорти з найвищими показниками були вузловими аеропортами. Оцінка технічної ефективності малих регіональних аеропортів Колумбії представлено у дослідженні Д. Монтойя-Кінтеро та ін. [8].

Окремі проблеми підвищення ефективності функціонування аеропортів досліджували вітчизняні науковці. Особливо слід відзначити наукову працю Г. Стрелкової та Г. Агєєва [9], у якій досліджується енергетична ефективність аеропортів концепції аеропорту-міста. Науковці Ю. Харазішвілі та ін. у [10] вивчають стратегічні сценарії та інституційний супровід авіаційного транспорту України. Дослідники К. Сидоренко та Ф. Ісмаїлзаде аналізують інструменти та механізми фінансового управління конкурентоспроможністю міжнародних аеропортів [11]. Регулюванню діяльності аеропортів присвячено дослідження Л. Кузьменко [12].

В результаті проведеного аналізу не виявлено дієвих інструментів комплексної порівняльної

оцінки ефективності міжнародних аеропортів за різними моделями.

Метою статті є проведення порівняльної оцінки ефективності міжнародних аеропортів за різними моделями та визначення адекватності цих моделей.

Виклад основного матеріалу. Для порівняльної оцінки аеропортів нами використано дві моделі, які визначають технічну ефективність та загальну ефективність.

Перша модель була розроблена А. Сопадангом та Т. Суванвонгом в 2016 році [13]. За її допомогою оцінено технічну ефективність 19 аеропортів ASEAN та ще 3-ох, які знаходяться поблизу регіону. Так як модель оцінює ресурси аеропортів, то вона орієнтована на вхідні дані. Для розрахунків використано MS Office Excel з додатком у вигляді програми для DEA CRS or VRS Input-oriented моделювання. Вхідними параметрами є розмір терміналу, кількість та довжина злітно-посадкових смуг, кількість геймів та стійок реєстрації. Вихідними ж параметрами є кількість пасажирів за рік. Модель, яка буде застосована в розрахунках орієнтована на вхідні дані. Тому ефективні ОПР будуть рівні 1, а неефективні будуть меншими.

У табл. 1 представлено вибірку та показники досліджуваних аеропортів за першою моделлю у 2022 році.

Вхідні та вихідні, розділені між собою, щоб програма розуміла про їх відмінність. Потрібно взяти Envelopment Model, яка оцінюватиме ефективність вхідних ресурсів, в нашому випадку технічних ресурсів аеропорту. Також є на вибір CRS та VRS режими. Вони залежать від однорідності порівнюваних об'єктів. Так як нами аналізуються хабові аеропорти Європи, то доречно взяти CRS моделювання, бо воно націлене на порівняння однорідних об'єктів. Натомість VRS робить оцінку неоднорідних об'єктів. Це можуть бути аеропорти з різними моделями розвитку. Після проведення моделювання маємо листи, які названі Efficiency, Target та Slack. Аналізуючи дані представлені на листі Efficiency (рис. 1), можемо стверджувати, що моделювання нам показує, що такі аеропорти як Варшава, Мілан (Мальпенса) та Афіни є не максимально ефективними, в той час як Пальма та Осло використовують свої технічні ресурси на 100 %.

На рис. 2 представлено дані листа Target, який відображає ефективне використання показників. Можна побачити, що дані аеропорту Пальми та Осло не змінилися від вхідних. Це відбулося через те, що ці аеропорти ефективно використовують

Таблиця 1

Вибірка та показники досліджуваних аеропортів за першою моделлю (на 2022 р.)

Аеропорт (місто)	Вхідні показники					Вихідні показники
	Розмір терміналу, м ²	Кількість злітно-посадкових смуг, од.	Довжина злітно-посадкових смуг, м	Кількість геймів, од.	Кількість стійок реєстрації, од.	Кількість пасажирів, пас.
Варшава	154 500	2	6490	45	116	14 389 143
Пальма	207 693	2	6270	83	195	28 000 000
Мілан (Мальпенса)	317 300	2	7840	93	313	21 347 652
Осло	265 000	2	6550	72	64	23 290 097
Афіни	192 000	2	7800	79	163	22 728 750

DMU No.	DMU Name	CRS Efficiency	Sum of lambdas		Optimal Lambdas with Benchmarks	
			lambdas	RTS		
1	Варшава	0,94786	0,514	Increasing	0,514	Пальма
2	Пальма	1,00000	1,000	Constant	1,000	Пальма
3	Мілан (Мальпенса)	0,76242	0,762	Increasing	0,762	Пальма
4	Осло	1,00000	1,000	Constant	1,000	Осло
5	Афіни	0,91935	0,826	Increasing	0,740	Пальма
						0,086 Осло

Рис. 1. Загальний вигляд листу Efficiency після проведення моделювання

Input-Oriented CRS Model Target		Efficient Input Target					Efficient Output Target
DMU No.	DMU Name	РТ	КЗПС	ДЗПС	КГ	КСР	КП
1	Варшава	106733,00990	1,02780	3222,14024	42,65353	100,21010	14389143,00000
2	Пальма	207693,00000	2,00000	6270,00000	83,00000	195,00000	28000000,00000
3	Мілан (Мальпенса)	158348,49596	1,52483	4780,34922	63,28054	148,67115	21347652,00000
4	Осло	265000,00000	2,00000	6550,00000	72,00000	64,00000	23290097,00000
5	Афіни	176516,08670	1,65238	5204,25783	67,62888	149,85480	22728750,00000

Рис. 2. Загальний вигляд листу Target після проведення моделювання

Input-Oriented CRS Model Slacks		Input Slacks					Output Slacks
DMU No.	DMU Name	РТ	КЗПС	ДЗПС	КГ	КСР	КП
1	Варшава	39710,77999	0,86792	2929,44680	0,00000	9,74122	0,00000
2	Пальма	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
3	Мілан (Мальпенса)	83566,14617	0,00000	1196,99334	7,62416	89,96510	0,00000
4	Осло	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	Афіни	0,00000	0,18633	1966,70820	5,00013	0,00000	0,00000

Рис. 3. Загальний вигляд листу Slack після проведення моделювання

свої технічні ресурси. Натомість аеропорти Варшави, Мілану (Мальпенса) та Афін мають неповне використання.

Загальний вигляд листу Slack після проведення моделювання, представлений на рис. 3 описує просідання за показниками. Як можна побачити, в аеропортах Варшави, Мілану (Мальпенса) та Афін є просідання по різним показникам. Це й означає неповне використання ресурсів, а також показано скільки потрібно для досягнення повної ефективності показника.

Отже, перша модель показала нам технічну ефективність п'яти аеропортів та дала зрозуміти, які показники використовуються сповна.

Друга модель ефективності спирається на модель У. Гока та С. Угурала [14], які визначали ефективність 20-ти аеропортів в Турції, але не враховуючи кількість вантажу. Вхідними параметрами є розмір терміналу та довжина злітно-посадкових смуг. Вихідними ж параметрами є кількість пасажирів та кількість прийнятих і відправлених повітряних суден. Модель, яка буде

Вибірка та показники досліджуваних аеропортів за другою моделлю (на 2022 р.)

Аеропорт (місто)	Вхідні показники		Вихідні показники	
	Розмір терміналу, м ²	Довжина злітно-посадкової смуги, м	Кількість пасажирів, пас/рік	Кількість льотних операцій, опер./рік
Варшава	154 500	6490	14 389 143	130 672
Пальма	207 693	6270	28 000 000	220 690
Мілан (Мальпенса)	317 300	7840	21 347 652	186 626
Осло	265 000	6550	23 290 097	125 428
Афіни	192 000	7800	22 728 750	106 103

застосована в розрахунках орієнтована на вихідні дані. Тому ефективні ОНР будуть рівні 1, а неефективні будуть меншими. У табл. 2 представлено вибірку та показники досліджуваних аеропортів за другою моделлю у 2022 році.

Модель використовує CRS режим, тобто оцінка однорідних об'єктів та орієнтацію на вихідні параметри (результативність). Аналізуючи загальну ефективність результату, представлена на рис. 4 можемо стверджувати, що тільки аеропорт Пальма має ефективні результати, інші ж аеропорти виявилися неефективними. Такі показники мали місце через те, що порівняння проводилось за 2022 рік, коли показники роботи відновилась лише на 60% відсотків від удару пандемії. Так як в майбутньому пасажиропотік буде рости, то від цього інші показники будуть задовольнятися.

	Efficiency	
Варшава	0.796	Inefficient
Пальма	1	Efficient
Мілан (Мальпенса)	0.676	Inefficient
Осло	0.796	Inefficient
Афіни	0.878	Inefficient

Рис. 4. Загальна оцінка ефективності результату за другою моделлю

Аналізуючи дані представлені на рис. 5 можемо стверджувати, що аеропорти Варшави та Мілану для ефективності мають обслуговувати на 2751183 та 3445921 пасажирів відповідно більше, а Осло та Афіни мають збільшити кількість льотних операцій на 73019 та 83181 відповідно.

На рис. 6 моделювання показує максимізацію вихідних показників. Можна вважати, що воно показує максимально-ефективну пропускну спроможність кожного з аеропортів.

	КП	КЛО
Варшава	2751182.133	0
Пальма	0	0
Мілан (Мальпенса)	3445920.825	0
Осло	0	73018.379
Афіни	0	83180.864

Рис. 5. Просідання вихідних показників за другою моделлю

	КП	КЛО
Варшава	14389143 → 20828819.46	130672 → 164168.292
Пальма	28000000 → 28000000	220690 → 220690
Мілан (Мальпенса)	21347652 → 35011164.274	186626 → 275950.494
Осло	23290097 → 29250398.724	125428 → 230545.375
Афіни	22728750 → 25884358.163	106103 → 204014.964

Рис. 6. Максимуми вихідних показників за другою моделлю

Висновки. За результатами проведеного дослідження ефективності різних міжнародних аеропортів за різними моделям, можна побачити наскільки використовуються ті чи інші ресурси аеропортів. Варто сказати, що дані взяті за 2022 рік, коли світова авіація тільки почала оговтуватись після COVID-19, але вже можна помітити різкий ріст авіаперевезень. За таким прогнозом, вже 2023 року авіація дійде до показників 2019 року і потрібні будуть нові інвестиції у інфраструктуру, нові управлінські рішення, щоб покращувати роботу аеропортів, забезпечуючи пасажиром комфортне, безпечне та регулярне авіаційне сполучення.

Список літератури:

1. Martín J. C., Román C., Voltes-Dorta A. A stochastic frontier analysis to estimate the relative efficiency of Spanish airports. *Journal of Productivity Analysis*, 2009. Vol. 3, № 3. P. 163–176.
2. Bergantino A. S., Intini M., Volta N. The spatial dimension of competition among airports at the worldwide level: a spatial stochastic frontier analysis. *European Journal of Operational Research*, 2021. Vol. 295, № 1. P. 118–130. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.02.035
3. Oum T.H., Yamaguchi K., Yoshida Y. Efficiency measurement theory and its application to airport benchmarking. In: de Palma A, et al. (Eds). *A Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham; Northampton, 2011. P. 298–318.
4. Lin Z., Choo Y., Oum, T. Efficiency Benchmarking of North American Airports: Comparative Results of Productivity Index, Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. *Journal of the Transportation Research Forum*. 2013. Vol. 52, Issue 1. P. 47–67. DOI: 10.22004/ag.econ.207335
5. Henke I., Esposito M., della Corte V., del Gaudio G., Pagliara F. Airport Efficiency Analysis in Europe Including User Satisfaction: A Non-Parametric Analysis with DEA Approach. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, 283. <https://doi.org/10.3390/su14010283>
6. Gillen D., Lall A. Developing Measures of Airport Productivity and Performance: An Application of Data Envelopment Analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 1997. Vol. 33, Issue 4. P. 261–273. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(97)00028-8)
7. Sarkis J., Talluri S. Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Environmental Performance. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 2004. Vol. 6, No. 1. P. 91–123.
8. Montoya-Quintero D. M., Larrea-Serna O. L., Jiménez-Builes J. A. Evaluation of the Efficiency of Regional Airports Using Data Envelopment Analysis. *Informatics*, 2022. Vol. 9, 90. <https://doi.org/10.3390/informatics9040090>
9. Стрелкова Г. Г., Агеєва Г. М. Енергетична ефективність аеропортів у рамках концепції «місто – аеропорт». *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2014. Вип. 6. С.288-294.
10. Харазішвілі Ю. М., Бугайко Д. О., Ляшенко В. І. Сталий розвиток авіаційного транспорту України: стратегічні сценарії та інституційний супровід: монографія / за ред. Ю.М. Харазішвілі; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2022. 276 с.
11. Сидоренко К. В., Ісмаїлзаде Ф. Н. Дослідження інструментів і механізмів фінансування та управління конкурентоспроможністю міжнародних аеропортів на світовому ринку. *Стратегія розвитку України*. 2019. № 1. С. 177–184.
12. Кузьменко Л. Г. Регулювання діяльності аеропортів: світовий досвід. *Актуальні проблеми міжнародних відносин*. 2014. Вип. 121(2). С. 209–226.
13. Sopadang A., Suwanwong T. The Analysis of Airport Operational Performance Case Study: Chiang Mai International Airport, Thailand. 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Kuala Lumpur, Malaysia, March 8-10, 2016.
14. Gok U., Ugral S. Assessment of Turkish Airports Efficiency Using Data Envelopment Analysis. *Актуальні проблеми економіки*. 2014. Вип. 152. № 2. С. 470–478.

Vasylenko I.V., Yaremenko V.Yu. COMPARATIVE ASSESSMENT OF INTERNATIONAL AIRPORTS' EFFECTIVENESS BY DIFFERENT MODELS

The article notes the importance of effective airport management, the growing interest in airport benchmarking, which requires the creation of appropriate tools and practical recommendations for its use. As a result of a critical analysis of previous scientific studies, it was found that the problems of airport operational effectiveness are insufficiently studied. Parametric and non-parametric methods of assessing airport effectiveness were characterised and scientific publications in this area were thoroughly studied. In addition, the problems of improving the effectiveness of airports, studied by domestic scientists, were analysed and it was noted that no effective tools for a comprehensive comparative assessment of international airports' effectiveness by different models were available.

Based on the results of the study, two models were used for the comparative assessment of airports, which determine technical effectiveness and overall effectiveness. To calculate the technical effectiveness of airports according to the first model, MS Office Excel was used with an application in the form of a program for DEA CRS or VRS Input-oriented modelling. The results of the modelling according to the first model showed that the technical effectiveness of Palma and Oslo airports is sufficient, while the airports of Warsaw, Milan (Malpensa) and Athens have insufficient resource utilisation.

The second model does not take into account the amount of cargo processed to determine overall effectiveness. This model used the CRS mode, i.e. the evaluation of homogeneous objects and the orientation towards output parameters (performance). The modelling results show that only Palma Airport has efficient results, while the other analysed airports were inefficient. Assessing the effectiveness of various international airports using different models allowed to evaluate the extent to which certain resources of the analysed airports are used.

Key words: airport, effectiveness, model, comparative assessment, modelling, passengers, resources, analysis, technical effectiveness.

Кірсанова В.В.

Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»

ПОРІВНЯЛЬНИЙ ОГЛЯД АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ДЛЯ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Морський транспорт є найдешевший і найпоширеніший вид транспорту міжнародної торгівлі та відіграє важливу роль в економічному розвитку всього світу. Морський транспорт ефективний з погляду витрати палива на одиницю відстані; проте на глобальний морський сектор припадає приблизно 3% загальних антропогенних викидів парникових газів. Відповідно до стратегії Міжнародної Морської Організації (ІМО), планується скорочення загальних щорічних викидів парникових газів не менше ніж на 50% до 2050 р. порівняно з 2008 р., для досягнення цих цілей були запропоновані короткострокові, середньострокові та довгострокові заходи з можливими тимчасовими етапами. Їх можна поділити на дві великі категорії: підвищення експлуатаційної енергоефективності за рахунок інноваційних технологій та експлуатація суден на альтернативних видах палива з низьким та нульовим вмістом вуглецю. Розглянуто потенціал деяких альтернативних видів палива для декарбонізації водного транспорту. Визначені переваги та недоліки обраних альтернативних суднових видів палива: скраплений природний газ (ЗПГ), водень, аміак, біопаливо та електрику. Сьогодні немає єдиного виду палива для забезпечення необхідного скорочення викидів парникових газів. Скорочення викидів сильно різняться залежно від способів виробництва палива. Альтернативні види палива, що використовують вуглецевий спосіб виробництва, не забезпечать декарбонізацію.

Потрібна розробка загальносистемної перспективи створення ефективною основи для розробки оптимальних альтернативних рухових технологій та сприяння їхньому впровадженню. Зусилля щодо контролю викидів від судноплавства під керівництвом ІМО мають першорядне значення для досягнення мети нульового викиду в судноплавній галузі. ІМО також розглядає безліч державних та приватних ініціатив.

Ключові слова: морський транспорт, декарбонізація, водень, метан, аміак, скраплений газ.

Постановка проблеми. Морський транспорт відіграє важливу роль в економічному розвитку всього світу, на нього припадає 80–90% міжнародної торгівлі. Станом на 2020 р. світовий флот нащипував 98 140 активних комерційних судів дедвейтом 2,06 млрд тонн, які перевезли 11 076 млн тонн вантажів [1]. Морський транспорт ефективний з погляду витрати палива на одиницю відстані; проте на глобальний морський сектор припадає приблизно 3% загальних антропогенних викидів парникових газів (ПГ). У глобальному масштабі це 6-й за величиною джерело викидів CO₂ [2].

Міжнародна морська організація (ІМО) десятиліттями займалася проблемою викидів парникових газів в атмосферу (ПГ). До енергоефективності судів; МЕРС.229 (65), згідно з яким ІМО сприяє передачі енергоефективних технологій (МЕРС 2013), та МЕРС.278(70), згідно з яким потрібен збір даних про споживання мазуту та звітності (МЕРС 2016). Опубліковано Початкову стратегію ІМВ щодо скорочення викидів ПГ з судів (Початкова стратегія) у 2018 році (МЕРС 2018). Відповідно до цієї стратегії планується скорочення загальних

щорічних викидів ПГ не менше ніж на 50% до 2050 р. порівняно з 2008 р., передбачено поетапне скорочення викидів CO₂ відповідно до температурних цілей Паризької угоди. Для досягнення цих цілей у Вихідній стратегії було запропоновано короткострокові, середньострокові та довгострокові заходи з можливими тимчасовими етапами. Яких можна поділити на дві великі категорії: підвищення експлуатаційної енергоефективності за рахунок інноваційних технологій та експлуатація суден на альтернативних видах палива з низьким та нульовим вмістом вуглецю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Лі та Намом [3]. запропонували визначення зеленої корабель. Зелене судно, або екокорабель, означає судно, яке скоротило викиди парникових газів за рахунок розвитку технологій, пов'язаних з економією палива та альтернативними видами палива. Боуман та ін [4]. провели дослідження 19 технологій, пов'язаних з економією палива (оптимізація форми корпусу, оптимізація рейсу, пристрої зниження опору, пристрої підвищення ефективності руху тощо) та двох альтернативних видів палива (ЗПГ та біопаливо). Потенціал викидів CO₂ для

19 технологій економії палива приблизно від 1% до 35%, а біопаливо має близько 80% потенціалу скорочення викидів CO₂.

Дослідження DNV-GL. [4] показують, що можна досягти декарбонізації корабля (від бака до гребного гвинта) за допомогою альтернативних суднових видів палива. Експлуатація суден на альтернативному паливі є одним із найбільш дієвих заходів щодо скорочення викидів парникових газів у судноплаванні. альтернативними судновими видами палива є зріджений природний газ (ЗПГ), водень, аміак, метанол, етанол, біопаливо, синтетичне паливо, електроенергія, що виробляється батареями, і так далі.

Мета наших досліджень – вивчити переваги та недоліки окремих альтернативних видів суднового палива та наголосити на необхідності їх комплексної оцінки.

Кожне альтернативне паливо має свої особливості у різних аспектах. При використанні деяких альтернативних видів палива викиди парникових газів можуть бути відсутніми, але вони пов'язані з більш високим ризиком, ніж звичайне паливо. Інші альтернативні види палива можуть не генерувати викиди ПГ за низького ризику, але капітальні витрати або експлуатаційні витрати можуть бути високими. Альтернативні види палива також можуть генерувати певну кількість викидів ПГ, але ризик та витрати можуть бути нижчими, ніж при використанні інших альтернативних видів палива. Щоб будувати та експлуатувати екологічні судна, необхідно аналізувати властивості альтернативних видів палива та оцінювати загальні аспекти кожного з них.

Виклад основного матеріалу. Досліджували переваги та недоліки п'яти обраних альтернативних суднових видів палива (СПГ, водень, аміак, біопаливо та електрику, що виробляється акумуляторними батареями). Електрика не є паливом, але електричні силові установки на акумуляторних батареях є важливою технологією, яка застосовується на судах для скорочення викидів парникових газів.

Скрапленний природний газ (СПГ)

Скрапленний природний газ містить понад 95% метану і часто використовується як альтернативне паливо з метою обмеження викидів SO_x та NO_x та для скорочення викидів CO₂ під час експлуатації суден. СПГ містить більше 95% метану (CH₄) і менше 5% суміші інших вуглеводнів (зазвичай етан, пропан та бутани) та азоту. СПГ є безбарвною рідиною, охолодженою до -162°C. [6].

Метан можна отримати як з копалин, так і з біомаси. СПГ на основі викопного палива отримують шляхом видобутку природного газу з надр землі за допомогою свердловин. Газ обробляється для видалення більш важких вуглеводневих газів та інших домішок, а потім охолоджується до криогенних температур для переходу в рідкий стан. Біометан виробляється шляхом анаеробного збродження (АЕ) або газифікації біомаси. Біометан має властивості, аналогічні природному газу на основі викопного палива.

Його можна зріджувати та розповсюджувати, використовуючи інфраструктуру природного газу. Однак біометан вимагає додаткового очищення перед використанням як суднове паливо. Витрати на очищення відносно високі і це є одним з основних бар'єрів для широкого впровадження біометану як паливо [7, 8]. ЗПГ може знизити викиди CO₂ до 26% порівняно з викопним паливом не виробляє викидів SO_x і має низький рівень викидів NO_x. Порівняно з іншими альтернативними видами палива ЗПГ має нижчу ціну на сировину, розвинену інфраструктуру для суден та комерційно доступні технології. Однак ЗПГ слід зберігати в ізольованих резервуарах і можливе неконтрольоване випаровування метану [4]. Важливим недоліком ЗПГ є те, що це паливо не може відповідати початковій стратегії ІМО, оскільки планується скорочення викидів CO₂ на 50%.

Аміак

Аміак (NH₃), не містить карбон, внаслідок чого привернув увагу як потенційного альтернативного палива для морського транспорту. Його можна виробляти з відновлюваних ресурсів і використовувати як екологічно чисте альтернативне джерело енергії. Великою перевагою аміаку є простота зберігання та транспортування [9, 10]. За стандартних умов (25°C) аміак повинен перебувати під тиском до 8,6 бар, щоб підтримувати його рідкий стан. Енергетична густина аміаку становить близько 22,5 МДж/кг, масова частка гідрогену становить 17,8%. Амічне паливо характеризується вузьким діапазоном займистості, який становить від 0,63 до 1,40. Його вважають негорючим у процесі транспортування [11]. У аміаку дуже сильний запах і витік аміаку на борту можна виявити по запаху (5 ppm) [12].

Аміак в даний час виробляється у всьому світі за допомогою технології Габера-Боша, в якій використовується каталізатор на основі заліза при високих температурах і тисках (450°C, 200 бар) для взаємодії атмосферного азоту (N₂) з гідрогеном (H₂) та синтезу аміаку [13]. При виробництві

аміаку використовується природний газ із наступною газифікацією вугілля [14, 15].

У зв'язку з постійно зростаючим інтересом до скорочення викидів вивчаються альтернативні стійкі шляхи виробництва аміаку, включаючи електрохімічні та біологічні способи. Електрохімічні та біологічні процеси можуть здійснюватися за більш низьких рівнів тиску та температури порівняно з технологією Габера-Боша [16, 17]. При розробці нових технологічних процесів можливе потенційне зниження енерговитрат на виробництво аміаку.

Аміак може використовуватися в різних первинних двигунах: дизельних двигунах, двигунах з іскровим запалюванням та газових турбінах, а також у паливних елементах. Аміак входить до трійки найбільших хімічних речовин, які щороку перевозяться, тому аміак вже перевозиться морським транспортом, і в усьому світі існують системи зберігання і доставки [18]. Аміак важко запалюється (порівняно зі звичайним паливом), тому при використанні аміаку в двигунах внутрішнього згоряння необхідно додавати водень [19].

Недоліком використання аміаку як суднове паливо є його токсичність і небезпечний характер. Вплив високих концентрацій аміаку в повітрі може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям, таких як сліпота, ушкодження легень, ушкодження головного мозку та, можливо, смерть [20, 21]. Тому витік аміаку може швидко стати серйозною загрозою житловим приміщенням та бортовому персоналу. Однак проблеми токсичності вже значною мірою вирішені при використанні аміаку у різних секторах, особливо у сільському господарстві, хімічній та холодильній промисловості.

Добре зарекомендували себе стандарти поводження з аміаком, його зберігання та використання у різних формах, щоб упоратися з токсичністю аміаку [22, 23, 24]. Більше того, неповне згоряння аміаку може призвести до збільшення викидів NOx. Це питання стосується систем двигунів внутрішнього згоряння з безпосереднім застосуванням аміаку. Вузькі межі займистості та низька швидкість полум'я аміаку можуть спричинити неповне згоряння в системі двигуна [25]. Проблема неповного згоряння може бути зменшена, якщо аміак розкладається перед упорскуванням у двигун; суміш водню, азоту, аміаку та повітря має характеристики горіння, порівняні з бензином [26, 27].

Водень

Водень (H₂), один із найпоширеніших хімічних елементів на Землі. Він є складовою води

(H₂O) і багатьох органічних сполук. Отже, його можна отримати з різних джерел, включаючи викопне паливо, біомасу та воду [28].

Виробництво водню може бути досягнуто за допомогою різних технологічних процесів, включаючи риформінг (паровий, парціальний окислений, автотермічний, плазмовий та у водній фазі), газифікацію, піроліз та електроліз води [29]. Більшість водню виробляється з копалин палива. Близько трьох чвертей світового попиту водень забезпечується паровою конверсією метану з допомогою природного газу як вихідної сировини. Проте дешевизна виробництва водню з газу поєднується з великими викидами парникових газів [30]. Електроліз з використанням відновлюваних джерел енергії може забезпечити виробництво чистого водню, проте нині його припадає лише 3,9% від загального світового виробництва водню [31]. У процесі виробництва водню шляхом електролізу, при якому вода розщеплюється на водень і кисень за допомогою електрики не утворюється CO₂ як побічний продукт. Розроблено різні способи синтезу водню у процесі електролізу води. Водень, отриманий за допомогою електролізу, названий зелений водень і є єдиною формою водню з практично безвуглецевим виробничим процесом. Цей метод виробництва не новий, але витрати на виробництво зеленого водню значно вищі, порівняно з іншими способами його виробництва. Після отримання газоподібного водню його можна зберігати та транспортувати у паливних баках. Однак, оскільки водень має дуже низьку щільність енергії, його необхідно значно стискати і охолоджувати, подібно до стиснення метану для виробництва зрідженого природного газу [32]. При зберіганні стиснутого водню виникають проблеми. Потрібен великий простір на судні для його зберігання. Також є проблемою тривалий період бункерування, характерний для газу з низькою щільністю. Для поромів на острів Окні було описано та оцінено безпеку системи заправки стисненим воднем. Однак у цьому проєкті було обрано зберігання водню за 35 МПа, а не 700 МПа. Загальна установка бункера була розрахована на 2 МВт або 800 кг H₂ в день. Великим морським кораблям для їх експлуатації потрібно кілька 100 тонн водню, а заправка з такою швидкістю займе кілька тижнів або дуже багато форсунок. Для бункерування зеленого водню можуть бути використані водневі резервуари, встановлених у стандартному 20- або 40-футовому контейнері, який потім можна завантажити на судно. Це стосується паливних систем касетного типу. Це

може бути варіантом для невеликих суден, таких як пороми, але для великих суден час, необхідний для завантаження та розвантаження всіх цих контейнерів, різко збільшує час заходу до порту. Перш ніж порти зможуть постачати кораблі достатньою кількістю рідкого водню, необхідно буде побудувати зовсім нову паливну інфраструктуру без досвіду поводження з рідким воднем. В даний час його навіть не перевозять як товар океаном, хоча Kawasaki сподівається змінити це за допомогою свого поточного проекту HySTRA. Розробка порту для рідкого водню, як і раніше, є серйозною проблемою, перш ніж рідкий водень можна буде використовувати в усьому світі як паливо.

Розробка суден, що працюють на ЗПГ, може бути основою для використання водневих суден. Проте проблеми з водневими судами будуть ще серйознішими. Температура переходу в рідкий стан приблизно на 90°C нижча і щільність енергії також у 2 рази менша. Потрібно зберігати зелений водень за більш низьких температур і при більших обсягах порівняно з ЗПГ.

Паливо корабля зазвичай ділиться кілька менших баків, але у кожному з цих баків водень випаровується, створюючи частково заповнені водневі баки. У кожному з цих резервуарів можливе виплескування рідкого водню, що, як наслідок, призводить до проблем із стійкістю корабля.

Ключовою перевагою водню перед іншими альтернативними видами палива є відносна простота модернізації кораблів існуючих водневими паливними елементами. Технологія паливних елементів може бути модернізована більшості кораблів. Було продемонстровано ККД паливних елементів понад 60 відсотків, а за певних умов можливе ККД понад 80 відсотків. Паливні елементи безшумні, не мають рухомих частин і легко масштабуються для великих кораблів, оскільки окремі елементи можна штабелювати. Електроліз води з використанням відновлюваних джерел енергії може забезпечити виробництво чистого водню [33].

Біопаливо

У судноплавстві покладаються сподівання на біопаливо, яке може бути вуглецево-нейтральним джерелом енергії, а потенціал скорочення викидів CO₂ протягом життєвого циклу становить до 88%. Біопаливо сумісне з існуючою інфраструктурою та системами двигунів суден. Однак виробництво біопалива дорожче, ніж звичайне викопне паливо, прямо чи опосередковано конкурує з виробництвом продуктів харчування та обсяг виробництва біопалива обмежений [34].

Електрика, що виробляється акумулятором

Акумулятори забезпечують рух з нульовим рівнем викидів і вдвічі ефективніші за звичайну дизель-генераторну установку. Двигуни з батарейним живленням мають нижчий рівень шуму та вібрації в порівнянні зі звичайними силовими установками, а експлуатаційні витрати можуть бути нижчими, ніж у традиційних копалин видів палива в деяких регіонах з низькими цінами на електроенергію. Ціни на акумулятори швидко знижуються, а продуктивність значно покращала. Основним недоліком акумуляторів є низька масова енергоємність (приблизно у 150 разів нижче, ніж у дизеля) та низька об'ємна щільність (приблизно у 100 разів нижче, ніж у дизеля). Виробництво акумуляторів є енергоємним, а капітальні витрати великої акумуляторної системи значно вищі, ніж у звичайної силової установки [9]. Судна з батарейним живленням, що працюють від електрики, можуть усунути викиди, що виникають на етапі експлуатації, але не є технологією з нульовим рівнем викидів [35, 36]. При надходженні електроенергії з місцевої енергосистеми, а викиди ПГ тісно пов'язані з процесом виробництва електроенергії та джерелами, які використовуються для виробництва електроенергії. Для оцінки екологічних переваг суден з акумуляторними руховими установками необхідно обов'язково включати виробничий ланцюжок постачання електроенергії. Виробництво електроенергії у 2018 році з вугілля склало 38,8%, природного газу – 23,1%, атомної енергії – 10,6% та гідроенергетики – 16,4% [37]. Частка відновлюваних джерел енергії в електропостачанні досягла майже 28% у 2020 р., а до 2050 р. за рахунок відновлюваних джерел може бути задоволено до 60% світового попиту на електроенергію [38, 39]. Склад виробництва електроенергії варіюється в залежності від країни і багато в чому залежить від джерел і потреб кожного регіону. Відновлювані джерела електроенергії у 2018 році у таких країнах, як Австрія (73%), Швеція (66%), Данія (62%), Латвія (53%) та Португалія (52%) активно впроваджуються [40]. Електроенергія у країнах із високою часткою відновлюваних джерел електроенергії може бути визнана «зеленим» альтернативним паливом для суден [41].

Висновки. Розглянуто альтернативні види палива із потенціалом скорочення викидів від світового судноплавства. У зв'язку зі швидким зростанням бункерувальної інфраструктури ЗПГ є основною альтернативою судовому дизельному паливу та мазуту (MDO та HFO) на даний час.

Він характеризується значними перевагами проти традиційним судновим нафтовим паливом. Перехід з судового нафтового палива на ЗПГ зменшить кількість оксидів сульфуру, нітрогену та діоксиду карбону. Проте перевага ЗПГ щодо викидів парникових газів становить близько 8–20% порівняно з HFO та MGO. Мета скорочення викидів парникових газів на 50 % не може бути досягнута за рахунок переходу тільки на ЗПГ, а має поєднуватися з іншими технологіями, такими як повільне пропарювання або змішування з LBG.

Біодизельне паливо як альтернатива нафтовому паливу вже є комерціалізованим для наземного використання. Технічні та економічні бар'єри для використання біодизельного палива у морському секторі невеликі. Біодизельне паливо може безпосередньо споживатися існуючими системами судових двигунів із лише незначною модернізацією. Однак складності із забезпеченням стійкості протягом усього життєвого циклу палива, а також проблеми пов'язані з особливостями виробництва біопалива вносять невизначеність у питання розширення використання біодизельного палива в морському секторі.

Водень і аміак розглядалися як альтернативне паливо для різних технологій утилізації. Висока щільність енергії та низький рівень викидів під час використання роблять водень потенційним рішенням для обезуглерожування суден. Бар'єри, такі як високі капіталовкладення та невпевненість у постачанні палива, будуть перешкоджати широкому впровадженню водню у короткостроковій перспективі. З урахуванням витрат на систему зберігання палива на борту водень є однією з найдорожчих паливно-рухових комбінацій. А також для більш широкого використання водню потрібні нові інфраструктури та розподільчі мережі. Існуюча інфраструктура ЗПГ потенційно може бути перетворена для розподілу водню, але це необхідно підтвердити подальшими дослідженнями. Аміак має високу гравіметричну щільність водню і легко зберігається і розподіляється, привертає все більшу увагу дослідників. З метою впровадження аміку як альтернативного палива, при проектуванні аміачних силових установок необхідно

подолати декілька ключових технічних перешкод та проблем безпеки, включаючи погані властивості згоряння та ризику токсичності.

У зв'язку зі збільшенням частки відновлюваної електроенергії у глобальній змішаній енергосистемі використання суден з береговою електроенергією є потенційною екологічною та економічною вигодою. В останні роки було досягнуто прогресу в розробці кораблів з батарейним живленням, але технічні труднощі, включаючи низьку щільність енергії в об'ємному та гравіметричному вираженні та відносно короткий термін служби, все ще необхідно подолати для великомасштабного комерційного використання. Це робить акумуляторні силові установки більш придатними для легких суден берегового базування або використання як допоміжної енергії на борту.

Економія викидів парникових газів з допомогою використання альтернативних видів палива дуже відрізняється залежно від вихідної сировини для виробництва. Декарбонізація таких видів палива, як водень, електрика та аміак, залежить від низьковуглецевої енергії та вихідних матеріалів. Способи подолання цих проблем можуть виходити за межі самого морського сектора. В даний час зацікавлені сторони не мають політичних стимулів для переходу на альтернативні види палива знизьковуглецевих відновлюваних джерел енергії.

Альтернативні види палива необхідні для декарбонізації міжнародного судноплавства. Однак нині немає єдиного маршруту, здатного забезпечити значне скорочення викидів по всьому ланцюжку постачання палива таким чином, щоб це було конкурентоспроможним за вартістю порівняно із звичайним судновим паливом на нафтовій основі. Необхідна довгострокова, послідовна та ефективна політична основа для сприяння впровадженню альтернативних рухових технологій. Зусилля щодо контролю викидів від судноплавства під керівництвом ІМО за останнє десятиліття мали першорядне значення, для досягнення мети нульового викиду в судноплавній галузі. ІМО та її держави-члени паралельно розглядають безліч державних та приватних ініціатив.

Список літератури:

1. UNCTAD. Review of Maritime Transportation 2020. Available online: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2020_en.pdf (accessed on 22 May 2022).
2. Balcombe, P.; Brierley, J.; Lewis, C.; Skatvedt, L.; Speirs, J.; Hawkes, A.; Staffell, L.; Adam, H.; Iain, S. How to decarbonise international shipping: Options for fuels, technologies and policies. *Energy Convers Manag.* 2019 № 182, p. 72–88.
3. Lee, T., and H. Nam. 2017. "A Study on Green Shipping in Major Countries: In the View of Shipyards, Shipping Companies, Ports, and Policies". *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 2017 № 33 (4): p. 253–262. doi:10.1016/j.ajsl.2017.12.009.

4. Bouman, E. A., E. Lindstad, A. I. Riialand, and A. H. Strømman. "State-of-the-art Technologies, Measures, and Potential for Reducing GHG Emissions from Shipping—a Review." *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2017 № 52: p.408–421. doi:10.1016/j.trd.2017.03.022.
5. Dnv, G. L. (2018). Assessment of selected alternative fuels and technologies. DNV GL–Maritime.
6. Kuczyński, S., Łaciak, M., Szurlej, A., & Włodek, T. Impact of liquefied natural gas composition changes on methane number as a fuel quality requirement. *Energies*, 2020 № 19, p. 50-60.
7. Li, H., Mehmood, D., Thorin, E., & Yu, Z. Biomethane production via anaerobic digestion and biomass gasification. *Energy Procedia*, 2017 № 105, p. 1172-1177.
8. Li, H., Mehmood, D., Thorin, E., & Yu, Z. Biomethane production via anaerobic digestion and biomass gasification. *Energy Procedia*, 2017№ 105, p. 1172-1177.
9. Christensen, C. H., Johannessen, T., Sørensen, R. Z., & Nørskov, J. K. Towards an ammonia-mediated hydrogen economy?. *Catalysis Today*, 2006 № 111(1-2), p. 140-144.
10. Zamfirescu, C., & Dincer, I. Using ammonia as a sustainable fuel. *Journal of Power Sources*, 2008 № 185(1), p. 459-465.
11. NIST: National Institute of Standards and Technology. Chemistry WebBook, SRD 69, Thermophysical Properties of Fluid Systems. 2020. Available online: <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/> (accessed on 9 April 2021).
12. Zamfirescu, C., & Dincer, I. Ammonia as a green fuel and hydrogen source for vehicular applications. *Fuel processing technology*, 2009, № 90(5), p. 729-737.
13. Aziz, M., Putranto, A., Biddinika, M. K., & Wijayanta, A. T. Energy-saving combination of N₂ production, NH₃ synthesis, and power generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, № 42(44), p. 27174-27183.
14. Ozturk, M., & Dincer, I. An integrated system for ammonia production from renewable hydrogen: a case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2021, № 46(8), p. 5918-5925.
15. Liu, X., Elgowainy, A., & Wang, M. (2020). Life cycle energy use and greenhouse gas emissions of ammonia production from renewable resources and industrial by-products. *Green Chemistry*, 2020, № 22(17), p. 5751-5761.
16. Baltrusaitis, J. (2017). Sustainable ammonia production. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2017, № 5(11), p. 9527-9527.
17. Bicer, Y., Dincer, I., Vezina, G., & Raso, F. Impact assessment and environmental evaluation of various ammonia production processes. *Environmental management*, 2017, № 59, p. 842-855.
18. NH₃FUEL Association. 2010. "NH₃ Fuel Brochure." Assessed 29 October 2019. <https://nh3fuelassociation.org/wpcontent/uploads/2013/01/nh3brochuresept2010.pdf>
19. De Vries, N. (2019). Safe and effective application of ammonia as a marine fuel. 2019
20. Braissant, O., McLin, V. A., & Cudalbu, C. Ammonia toxicity to the brain. *Journal of inherited metabolic disease*, 2013, № p. 36, 595-612.
21. Zhang, M., Li, M., Wang, R., & Qian, Y. Effects of acute ammonia toxicity on oxidative stress, immune response and apoptosis of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* and the mitigation of exogenous taurine. *Fish & Shellfish Immunology*, 2018, № 79, p. 313-320.
22. Kojima, Y., & Yamaguchi, M. Ammonia storage materials for nitrogen recycling hydrogen and energy carriers. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, № 45(16), p. 10233-10246.
23. Lu, B., Jin, Q., Chu, L., Pan, Y., Tao, X., Yang, L., & Shen, Y. Ammonia storage/release characteristics of CeSnWBaOx/TiO₂ catalyst in solving the problem of ammonia slip. *Process Safety and Environmental Protection*, 2020, № 138, p. 67-75.
24. Lamb, K. E., Dolan, M. D., & Kennedy, D. F. Ammonia for hydrogen storage; A review of catalytic ammonia decomposition and hydrogen separation and purification. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, № 44(7), p. 3580-3593.
25. Cardoso, J. S., Silva, V., Rocha, R. C., Hall, M. J., Costa, M., & Eusébio, D. Ammonia as an energy vector: Current and future prospects for low-carbon fuel applications in internal combustion engines. *Journal of Cleaner Production*, 2021, № 296, p. 126-562.
26. Comotti, M., & Frigo, S. (2015). Hydrogen generation system for ammonia–hydrogen fuelled internal combustion engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2015, № 40(33), p. 10673-10686.
27. Lee, D., & Song, H. H. Development of combustion strategy for the internal combustion engine fueled by ammonia and its operating characteristics. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 2018, № 32, p. 1905-1925.
28. Qyyum, M. A., Dickson, R., Shah, S. F. A., Niaz, H., Khan, A., Liu, J. J., & Lee, M. Availability, versatility, and viability of feedstocks for hydrogen production: Product space perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, № 145, p. 110-843. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110843>

29. IEA. The Future of Hydrogen. 2019. Available online: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
30. Wang, Y., & Wright, L. A. (2021). A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation. *World*, 2021, № 2(4), p. 456-481. <https://doi.org/10.3390/world2040029>
31. Dawood, F., Anda, M., & Shafiullah, G. M. (2020). Hydrogen production for energy: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, № 45(7), 3847-3869.
32. Wang Y, Wright LA. A Comparative Review of Alternative Fuels for the Maritime Sector: Economic, Technology, and Policy Challenges for Clean Energy Implementation. *World*. 2021; № 2(4) p. 456-481. <https://doi.org/10.3390/world2040029>
33. IRENA. Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050. Available online: <https://www.irena.org/publications/2019/Apr/Global-energy-transformation-A-roadmap-to-2050-2019Edition> (accessed on 25 May 2022).
34. Somerville, C. Biofuels. *Current biology*, 2007, № 17(4), p.115- 119. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2007.01.010>
35. Peng, Y., Li, X., Wang, W., Wei, Z., Bing, X., & Song, X. (2019). A method for determining the allocation strategy of on-shore power supply from a green container terminal perspective. *Ocean & Coastal Management*, 2019, № 167, p. 158-175.
36. Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J., Juandó, A., & Sarasquete, A. Cold ironing and onshore generation for airborne emission reductions in ports. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 2016; № 230(1), p. 67-82.
37. IEA. Global Electricity Generation Mix by Scenario, 2018, Stated Policies and Sustainable Development Scenarios 2040. Available online: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electricity-generation-mix-by-scenario-2018-stated-policies-and-sustainable-development-scenarios-2040> (accessed on 12 April 2022).
38. IEA. Global Energy Review 2020. Available online: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/electricity> (accessed on 12 April 2022).
39. Hsieh, I. Y. L., Pan, M. S., Chiang, Y. M., & Green, W. H. Learning only buys you so much: Practical limits on battery price reduction. *Applied Energy*, 2019, № 239, p. 218-224.
40. Eurostat. Wind and Water Provide Most Renewable Electricity. 2020. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20200129-1> (accessed on 12 April 2022)
41. DNV. Decarbonization in Shipping. 2021. Available online: <https://www.dnv.com/maritime/insights/topics/decarbonization-in-shipping/regulatory-overview.html> (accessed on 19 May 2022).

Kirsanova V.V. COMPARATIVE REVIEW OF ALTERNATIVE FUELS FOR MARINE TRANSPORT

Maritime transport is the cheapest and most common mode of transport. international trade and plays an important role in economic development all over the world. Maritime transport is efficient in terms of fuel consumption per unit of distance; however, the global maritime sector accounts for approximately 3% of total anthropogenic greenhouse gas emissions. In accordance with strategy of the International Maritime Organization (IMO), it is planned to reduce total annual greenhouse gas emissions by at least 50% by 2050. compared to 2008, to achieve these goals, short, medium and long term activities with possible temporary stages. They can be divided into two broad categories: operational energy efficiency through innovative technologies and operation of ships on alternative fuels with low and zero carbon content. Considered the potential of some alternative fuels for decarbonization of water transport Advantages and disadvantages identified selected alternative marine fuels: liquefied natural gas (LNG), hydrogen, ammonia, biofuels and electricity. Today there is no single species fuel to achieve the required reduction in greenhouse gas emissions. Emission reductions vary greatly depending on production methods fuel. Alternative fuels using the carbon method production, will not ensure decarbonization. A system-wide perspective needs to be developed to provide an effective framework for developing optimal alternative propulsion technologies and facilitating their deployment. Efforts to control emissions from shipping, led by the IMO, are paramount to achieving zero-emission targets for the shipping industry. The IMO is also considering a variety of public and private initiatives.

Key words: *maritime transport, decarbonization, hydrogen, methane, ammonia, liquefied natural gas.*

Кунда Н.Т.

Національний транспортний університет

Огійчук О.В.

Національний транспортний університет

АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ ЕКСПРЕС-ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Стаття присвячена питанням функціонування та ефективності окремого сегменту міжнародних перевезень – експрес-доставки вантажів. Актуальність дослідження визначається необхідністю підвищення конкурентоспроможності підприємств, що займаються експрес-доставкою вантажів. Праці зарубіжних і вітчизняних учених вказують на доцільність застосування логістичного підходу. Логістичний менеджмент розглядають як інструмент для розкриття сукупності можливостей підприємства як логістичної системи. Для аналізу факторів, що впливають на конкурентоспроможність міжнародної експрес-доставки вантажів використано системний підхід та метод декомпозиції для дослідження інфраструктурної, економічної, транспортної, правової, організаційної складових системи експрес-доставки. Описано основні принципи реалізації системи: швидкість, пунктуальність, надійність, трекінг та відстеження, обробка та маніпуляція, наявність служби підтримки. Інфраструктурна складова представлена операторами, які мають розгалужену мережу відділень експрес-доставки. Представлено компанії експрес-доставки, що працюють на вітчизняному і міжнародному ринках: «Нова Пошта», «Міст Експрес», «Укрпошта» DHL, TNT Express, «Делівері Експрес» та інші. Висвітлено аспекти, які важливі для забезпечення конкурентоспроможності підприємств експрес-доставки. Проаналізовано можливості підвищення конкурентоспроможності підприємств, що працюють у цій сфері. В економічній складовій особливу увагу приділено питанню формування гнучких тарифів та запропоновано основні співвідношення для їх розрахунку. Визначальну роль у транспортній складовій відіграє сучасний рухомий склад та новітні технології. Описано перспективи розвитку міжнародної експрес-доставки автомобільним транспортом. Організація експрес-доставки регламентується низкою міжнародних та вітчизняних нормативних актів. Складено перелік законодавчих документів, що утворюють правову складову здійснення експрес-доставки. Схеми організації праці та контроль режиму роботи і соціальних гарантій складають сенс організаційної складової та відображені в деяких міжнародних стандартах. Розглянуто проблеми розвитку міжнародної експрес-доставки. Вказано на можливість досягнення синергічного ефекту та утворення системи з новими властивостями.

Ключові слова: експрес-доставка, міжнародні перевезення, автомобільний транспорт, конкурентоспроможність, тарифи, правове регулювання.

Постановка проблеми. Сучасний світ характеризується швидкими темпами глобалізації та зростаючою взаємозалежністю міжнародних ринків. У цьому контексті експрес-доставка вантажів відіграє важливу роль у забезпеченні швидкого та ефективного пересування товарів через кордони країн. За останні роки попит на міжнародну експрес-доставку вантажів значно зріс, спонукаючи транспортні логістичні компанії до розробки заходів щодо підвищення конкурентоспроможності своїх послуг.

Актуальність дослідження полягає в тому, що цілеспрямованість та ефективність міжнародної експрес-доставки вантажів є визначальними факторами для забезпечення задоволеності клієнтів та успішної діяльності логістичних компа-

ній. У зв'язку з цим розв'язання проблеми підвищення конкурентоспроможності цього сегменту ринку є важливим завданням для підприємств, що займаються експрес-доставкою вантажів.

Аналіз останніх досліджень з питань управління рухом товарів показує, що пріоритет надається логістичному підходу, який передбачає отримання синергічного ефекту від узгодження роботи складових логістичної системи. Відомі американські фахівці Д. Дж. Бауерокс, Д. Дж. Клосс [1] розглядають логістичний менеджмент як механізм оптимізації логістичних витрат, які справляють значний вплив на формування конкурентоспроможності підприємства. Вітчизняні вчені, такі як А. Гаджинський, Н. Грузь, А. Кальченко, Є. Крикавський, О. Наумова, Н. Чорнописька та ін. у своїх

працях досліджують логістичний менеджмент як складову логістичного потенціалу, тобто сукупності можливостей підприємства. Незважаючи на значну кількість публікацій з логістики, проблема удосконалення логістично орієнтованого управління експрес-доставкою вантажів розкрита недостатньо, та і питання практичного спрямування залишаються поза увагою науковців і потребують подальших досліджень.

Постановка завдання. Важливим є вивчення та аналіз факторів, що впливають на конкурентоспроможність міжнародної експрес-доставки вантажів, а також на визначення шляхів підвищення її ефективності. Використаємо системний підхід, що полягає в комплексному дослідженні складних об'єктів як єдиного цілого. При цьому вивчається кожен елемент об'єкту в його зв'язку та взаємодії з іншими елементами, а також вплив властивостей окремих частин об'єкту на його поведінку загалом.

Для дослідження застосуємо метод декомпозиції – це розділення системи на підсистеми нижчого рангу, які досліджуються автономно, але з урахуванням узгодження цілей кожної підсистеми із загальною метою системи. По суті, декомпозиція – це операція аналізу системи, адже дослідження систем нижчого рангу простіше і зручніше. **Мета дослідження:** у системі експрес-доставки вантажів виділити та проаналізувати інфраструктурну, економічну, транспортну, правову, організаційну підсистеми, іншими словами – складові експрес-доставки.

Виклад основного матеріалу. Системи експрес-доставки вантажів використовуються для швидкої та ефективної доставки товарів з одного місця в інше. Вони базуються на використанні спеціалізованих транспортних засобів та оптимізованих маршрутів, що дозволяють мінімізувати час доставки [2, 3]. Основні принципи реалізації експрес-доставки вантажів включають:

- Швидкість: Постачальник послуг експрес-доставки забезпечує швидке перевезення товарів з точки відправлення до пункту призначення, так як одним з головних аспектів експрес-доставки є мінімізація часу доставки.

- Пунктуальність: Постачальник послуг повинен забезпечити доставку вантажу вчасно, дотримуючись зазначених строків, так як важливим елементом експрес-доставки є дотримання зазначеного часу доставки.

- Надійність: Постачальник послуг повинен мати відповідні процедури та заходи для захисту вантажу від пошкоджень чи втрат під час тран-

спортування, так як експрес-доставка вимагає високої надійності, щоб забезпечити безперервну доставку вантажу.

- Трекінг та відстеження: Замовник хоче знати точне місцезнаходження вантажу та контролювати процес доставки, тому ефективні системи експрес-доставки повинні мати можливість трекінгу та відстеження вантажу на кожному етапі перевезення.

- Обробка та маніпуляція: Постачальник послуг повинен мати відповідну інфраструктуру та процеси для швидкого завантаження, розвантаження та переведення вантажу з одного транспортного засобу на інший, так як експрес-доставка вимагає швидкої та ефективної обробки та маніпуляції вантажу.

- Служба підтримки: Замовники повинні мати можливість звернутися до постачальника послуг з будь-якими питаннями або зверненнями, тому якісна експрес-доставка включає належну службу підтримки для вирішення будь-яких питань або проблем, пов'язаних з доставкою вантажу.

Інфраструктурна складова. Загальновідомо, що експрес-доставка в Україні розроблена та розвивається досить інтенсивно. З огляду на зростання електронної комерції та збільшення обсягів онлайн-замовлень попит на експрес-доставку в Україні також зростає.

Україна має понад 20 операторів експрес-доставки, серед них такі великі як «Нова Пошта», «Міст Експрес», «Укрпошта» та інші. Ці компанії пропонують широкий спектр послуг з доставки вантажів по всій країні та за кордон. Можна сказати, що експрес-доставка в Україні демонструє зростання обсягів. Оскільки український ринок електронної комерції (eCommerce) постійно зростає, це стимулює попит на швидку доставку товарів.

Також слід зазначити, що міжнародні логістичні компанії, такі як DHL, TNT Express, FedEx та UPS, теж активно працюють на українському ринку та надають послуги експрес-доставки. Це сприяє збільшенню міжнародних пересілок та зростанню обсягів експорту та імпорту товарів (рис. 1).

Лідером логістичного ринку України сьогодні є «Нова пошта», яка працює з 2001 р.; вихід на європейський ринок – з 2014 р. Компанія «Нова пошта» налічує 9,3 тис. відділень по всій країні (відправлення вагою 5, 10, 30 кг і вантажні) та понад 6,8 тис. поштоматів. Відкрито відділення в Польщі, Литві, Чехії, Румунії, на черзі – Естонія, Латвія та створення компанії «Nova Post Europe» для надання поштових послуг по всій території Європи.



Рис. 1. Логотипи відомих компаній експрес-доставки вантажів

Державна компанія «Укрпошта» з 1947 р. є членом Всесвітнього поштового союзу UPU (*Universal Postal Union*). Компанія надає не лише поштові, а й фінансові послуги. «Укрпошта» має близько 12 тис. відділень і покриває всі населені пункти України; здійснює доставку за межі України в понад 230 країн, надає користувачам послугу EMS (*Express Mail Service*) – кур'єрський сервіс прискореної міжнародної доставки авіашляхом з врученням відправки у країні призначення за адресою отримувача.

Важливим гравцем на ринку є група компаній «Meest», Група надає поштово-логістичні послуги у 20-ти країнах світу, зокрема, й в Україні, де представлена компанією «Meest» (Міст Експрес). В Україні у Meest понад 4000 відділень, 6500 точок прийому-видачі відправлень та близько 3% внутрішнього ринку експрес-доставки.

«DHL» – всесвітньо відома компанія, лідер у галузі логістики, надає поштові послуги на території 220 країн; «DHL Express» обробляє 39% світового обсягу експрес-відправок, піонер у сфері «зеленої» логістики, має цифровий сервіс «MyDHL+» – це інноваційне рішення для керування відправками (*Same Day* – терміновий сервіс), та пропонує стандартні та спеціалізовані послуги з митного оформлення вантажів.

Компанією з перспективним майбутнім на ринку експрес-доставки є «Делівері», що здійснює

міжнародну доставку всіма видами транспорту, а також мультимодальні перевезення в будь-яку країну світу, яка перебуває на ринку понад 20 років і налічує майже 300 відділень по Україні. Компанія надає спеціальні тарифи для бізнесу.

Основною спеціалізацією вищевказаних груп компаній є надання транспортних і логістичних послуг для сектору B2B (*Business to business* – продаж бізнесу для другого бізнесу), C2C (*Consumer to consumer* – інтернет-торгівля між приватними особами за участю посередника) та *eCommerc* (електронна комерція). Основні показники діяльності підприємств експрес-доставки відображено у табл. 1.

З вищенаведених даних «Нова Пошта» і «Міст Експрес» є лідерами на внутрішньому ринку України, пропонуючи широкий спектр послуг для різних сегментів клієнтів. «DHL» та «Делівері» зосереджуються на міжнародних перевезеннях і можуть бути вигідними для бізнес-клієнтів з потребами в швидкій та надійній міжнародній експрес-доставці. «Укрпошта» надає послуги переважно для бізнес-клієнтів та виконує більш тривалі перевезення.

Вибір підприємства для міжнародної експрес-доставки буде залежати від специфічних потреб та вимог кожного клієнта. Як було зазначено,

Таблиця 1

Основні показники підприємств експрес-доставки

Підприємство	Нова Пошта	Міст Експрес	Укрпошта	DHL	Делівері
Сегмент	eCommerc C2C, B2B	B2B	eCommerce C2C	B2B C2C	B2B
Кількість відділень	9300	> 4000	11700	50	297
Термін доставки (до Європи)	5–6 днів	7–10 днів	10–14 днів	5–7 днів	7–10 днів
Термін доставки (по Україні)	1–2 дні	1–3 дні	1–6 днів	1–3 дні	1–3 дні

Складаєно за даними [4–8]

для успішної діяльності таких підприємств підвищення конкурентоспроможності своїх послуг є важливим завданням, виконання якого можливе при врахуванні наступних аспектів, визначених авторами та представлених у табл. 2.

Економічна складова. Ціноутворення та формування тарифів в доставці є надзвичайно важливим елементом логістичної діяльності підприємств, оскільки від нього залежить ефективність та конкурентоспроможність послуг доставки. Тарифи визначають ціну, яку клієнт має заплатити за перевезення вантажу, враховуючи різні фактори, такі як вага, розміри, відстань, тип доставки та інші обставини, пов'язані з логістичним процесом.

Однією з головних причин, чому формування тарифів є важливим, є забезпечення виживання та прибутковості транспортних логістичних компаній. Правильно сформовані тарифи дозволяють покрити витрати на операційну діяльність, включаючи транспортування, митні платежі, зберігання та обробку вантажів, а також забезпечують отримання прибутку. Недооцінка або неправильне формування тарифів можуть призвести до збитків та послаблення конкурентоспроможності логістичних компаній.

Крім того, формування тарифів в доставці має прямий вплив на конкурентоспроможність на ринку. Адже клієнти постійно порівнюють ціни та умови послуг різних логістичних провайдерів, і тому правильне встановлення конкурентоспроможних тарифів може забезпечити залучення

та утримання клієнтів. Це особливо важливо в умовах зростаючої конкуренції у сфері доставки вантажів.

Формування міжнародних тарифів на експрес-доставку є складним процесом, що враховує різні фактори, такі як відстань, вага вантажу, вид транспорту, швидкість доставки, митні тарифи та інші витрати. Чим швидше необхідно доставити вантаж, тим вищі можуть бути тарифи.

Найбільш суттєвими факторами, які впливають на формування тарифів на експрес-доставку, є відстань і маршрут. Чим більша відстань між пунктами відправлення та призначення, тим більше звичайно коштує доставка. Також маршрут перевезення може впливати на вартість, залежно від складності, популярності та доступності транспортних маршрутів.

Зазвичай тарифи залежать від ваги та розмірів вантажу. Важкі та габаритні вантажі можуть мати вищі тарифи через більшу зайнятість простору та необхідність спеціального обладнання для перевезення. Тип транспорту, вибір транспортного засобу також впливає на тарифи.

Також при міжнародних перевезеннях вантажу необхідно враховувати митні тарифи та інші збори, які можуть бути стягнуті при в'їзді до країни призначення. Ці витрати можуть бути включені в загальний тариф.

Важливим фактором, що впливає на формування тарифів, є конкуренція на ринку перевезень між різними компаніями експрес-доставки. Конкуренти здатні пропонувати різні тарифи та

Таблиця 2

Забезпечення конкурентоспроможності підприємств експрес-доставки

Аспект	Стислий коментар
Якість та швидкість доставки	Міжнародні перевезення вимагають швидкості та надійності, оскільки клієнти часто потребують оперативності у доставці своїх вантажів. Забезпечення високої якості та точності доставки є важливим фактором конкурентоспроможності.
Глобальне охоплення ринку	Компанії експрес-доставки, які мають широку мережу агентств, партнерів та представництв по всьому світу, здатні пропонувати свої послуги в багатьох країнах. Глобальне охоплення ринку, забезпечуючи доступність та багатий спектр послуг своїм клієнтам дозволяє компанії бути конкурентоспроможною.
Конкурентні ціни та гнучкість у вартості	Оптимізація вартості послуг та пропозиція конкурентоспроможних цін можуть залучити більше клієнтів. Гнучкість у вартості та можливість пропонувати індивідуальні тарифи можуть забезпечити перевагу компанії над конкурентами.
Інновації та використання нових технологій	Впровадження сучасних технологій, таких як автоматизація процесів, відстеження вантажу в реальному часі, електронні системи керування доставкою та інші інноваційні рішення, може покращити ефективність та якість міжнародних перевезень, а отже, підвищити конкурентоспроможність компанії.
Клієнтська підтримка та задоволеність	Забезпечення якісної клієнтської підтримки, оперативного вирішення проблем та задоволення потреб клієнтів може посилити конкурентоспроможність компанії в міжнародних перевезеннях.
Співпраця з партнерами	Розвиток стратегічного партнерства з іншими перевізниками, логістичними компаніями та постачальниками допомагає забезпечити ефективність та конкурентоспроможність у міжнародних перевезеннях.

акційні пропозиції, що може вплинути на ціни послуги на ринку.

Відзначимо, що формування міжнародних тарифів на експрес-доставку саме автомобільним транспортом зазвичай базується на кількох ключових факторах. Враховуючи різні витрати та параметри перевезення, загальний тариф може бути розрахований за допомогою запропонованих авторами співвідношень, наведених у табл. 3.

Важливо враховувати, що формування міжнародних тарифів на експрес-доставку автомобільним транспортом є складним процесом, і вони можуть включати різні складові та деталі, що враховують витрати та вимоги перевезення. Конкретні тарифи повинні бути узгоджені між відправником та перевізником на основі відповідних договорів та умов.

Транспортна складова. Роль транспорту в експрес-доставці полягає в забезпеченні швидкого, надійного та ефективного переміщення товарів з одного місця до іншого. Транспорт дозволяє зв'язати виробників зі споживачами та забезпечити своєчасну доставку товарів. Широкий спектр транспортних засобів, включаючи автомобілі, літаки, кораблі та поїзди, забезпечує можливість вибору оптимального виду транспорту залежно від відстані, швидкості та характеристик товарів.

У сучасній експрес-доставці транспортна інфраструктура та технології грають ключову роль у забезпеченні швидкої та ефективної доставки. Використання літаків, ефективних систем маршрутизації, автоматизованих процесів відстеження вантажу сприяють зменшенню часу доставки та підвищенню задоволеності клієнтів. До прикладу, компанія «Нова пошта» в 2021 році успішно здійснила пілотний проект по доставці посилок з Києва до Харкова та Львова безпілотниками.

Розвиток міжнародної експрес-доставки саме автомобільним транспортом має обнадійливі пер-

спективи, які можуть сприяти підвищенню ефективності та якості послуг. Проведений авторами аналіз декількох позитивних трендів представлено таблицею 4.

Загалом, розвиток міжнародної експрес-доставки автомобільним транспортом передбачає використання новітніх технологій, розширення міжнародної співпраці та забезпечення стійкості та ефективності у всіх аспектах логістичних процесів.

Правова складова. Організація міжнародних перевезень вантажів, зокрема, і експрес-доставки, регулюється нормами законодавчих документів, які можуть варіюватися в залежності від країни та міжнародних домовленостей. На основі аналізу положень конвенцій та угод, що регламентують міжнародні перевезення, авторами складено перелік законодавчих документів, які утворюють нормативно-правову базу організації експрес-доставки вантажів (табл. 5).

Ці документи є основою для регулювання міжнародних перевезень вантажів, включаючи експрес-доставку. Однак, кожна країна може мати свої національні законодавчі акти, які додатково регулюють цю сферу. Рекомендується звертатися до законодавства конкретної країни або міжнародних організацій, таких як Міжнародна палата комерції (ICC) або Міжнародна асоціація авіаційних перевізників (IATA), для отримання додаткової інформації та конкретних правил, що стосуються організації експрес-доставки вантажів.

Варто зазначити, що перелік не є вичерпним, існують і інші нормативно-правові акти, які можуть стосуватися міжнародних експрес-відправлень у конкретних випадках.

Аналізуючи правову складову експрес-доставки, слід вказати, що контроль технічних засобів перевезень включає розгляд таких аспектів як безпека, стандарти якості, екологічні вимоги та технічні характеристики транспортних засобів

Таблиця 3

Основні співвідношення для розрахунку тарифів на експрес-доставку

Фактори	Формування тарифу
Вага вантажу	Тариф = Базова ставка + (Вага вантажу × Ставка за кілограм)
Розмір вантажу	Тариф = Базова ставка + (Розмір вантажу × Ставка за кубічний метр)
Вага та розмір вантажу	Тариф = Базова ставка + (Вага вантажу × Ставка за кілограм) + (Розмір вантажу × Ставка за кубічний метр)
Вага, розмір та відстань	Тариф = Базова ставка + (Вага вантажу × Ставка за кілограм) + (Розмір вантажу × Ставка за кубічний метр) + (Відстань × Ставка за кілометр)
Вага, розмір, відстань та тип доставки	Тариф = Базова ставка + (Вага вантажу × Ставка за кілограм) + (Розмір вантажу × Ставка за кубічний метр) + (Відстань × Ставка за кілометр) + Додаткові витрати за тип доставки

Перспективи розвитку міжнародної експрес-доставки автомобільним транспортом

Напрямок	Зміст, результати
Застосування новітніх технологій	Впровадження автоматизованих систем управління транспортом, включаючи системи GPS, відстеження вантажів та електронну обробку документів, дозволить поліпшити точність та швидкість доставки. Використання системи «розумної» маршрутизації та оптимізації доставки сприятиме зменшенню затрат часу та палива.
Розвиток міжнародних логістичних мереж	Співробітництво між різними транспортними компаніями та операторами логістики сприятиме розвитку ефективних міжнародних логістичних мереж. Це дозволить забезпечити більш швидку та надійну доставку вантажів між різними країнами.
Зниження бюрократичних обмежень	Спрощення митних процедур та бюрократичних обмежень у міжнародній торгівлі сприятиме збільшенню швидкості та ефективності міжнародної експрес-доставки. Застосування електронних документів та автоматизація митних процедур сприятимуть зниженню затримок та витрат, пов'язаних з митним оформленням.
Розвиток електро-мобільності	Зростаюча увага до екологічних аспектів та зниження викидів вуглецю спонукає до розвитку електромобільного транспорту. Використання електричних вантажівок та фургонів у міжнародній експрес-доставці може забезпечити екологічно стійкіші та енергоефективніші рішення.
Забезпечення високої якості обслуговування	Зростаючі вимоги клієнтів до якості обслуговування ставлять перед компаніями експрес-доставки завдання покращити якість послуг та забезпечити точність та надійність доставки. Впровадження систем відстеження в режимі реального часу та інтерактивного спілкування з клієнтами допоможе забезпечити високий рівень задоволення клієнтів.

Таблиця 5

Правові засади організації експрес-доставки

Законодавчий документ	Стислий опис, призначення
Міжнародні документи	
Конвенція про договір міжнародного перевезення вантажів	Документ регулює міжнародні перевезення вантажів <i>автомобільним транспортом, включаючи експрес-доставку</i> . Він встановлює правила щодо відповідальності перевізника, розмірів відшкодування збитків, документації, термінів доставки, позовів та інших важливих аспектів (стисла назва – Конвенція CMR).
Міжнародна конвенція про перевезення повітрям	Конвенція регулює міжнародні авіаперевезення вантажів, включаючи експрес-доставку. Вона встановлює мінімальні стандарти відповідальності авіаперевізників, процедури компенсації за збитки, правила прийому вантажу та інші важливі положення (інша назва – Монреальська конвенція).
Міжнародна конвенція про перевезення вантажів морем	Документ регулює міжнародні морські перевезення вантажів, включаючи експрес-доставку. Вона встановлює стандарти відповідальності морських перевізників, правила оформлення договорів, обмеження відповідальності та інші важливі аспекти (інша назва – Гамбурзька конвенція).
Угода про міжнародні залізничні перевезення	Угода регулює міжнародні залізничні перевезення вантажів, включаючи експрес-доставку. Вона встановлює загальні правила перевезення, відповідальність перевізника, процедури компенсації та інші важливі вимоги (стисла назва – COTIF).
Вітчизняні документи	
Митний кодекс України	Встановлює правила та процедури митного оформлення товарів, при здійсненні міжнародних вантажних перевезень.
ЗУ «Про автомобільний транспорт»	Визначає вимоги до перевезення вантажів автомобільним транспортом, включаючи міжнародні перевезення, регулює відносини між автомобільними перевізниками та замовниками транспортних послуг.
ЗУ «Про залізничний транспорт»	Встановлює правила та вимоги до міжнародних вантажних перевезень залізницею, регламентує відносини між відправниками та одержувачами вантажу, в т.ч. поштових відправлень.
Повітряний кодекс України	Обумовлює виконання повітряних перевезень і тарифи на перевезення різних вантажів, в т.ч. і поштових відправлень.
Закон України «Про транспорт»	Ст.16, 24: Реалізує державну політику у сфері морського транспорту, визначає правила та вимоги до міжнародних вантажних перевезень морським транспортом, в т.ч. і поштових відправлень.
ЗУ «Про державний кордон України»	Регулює процедуру перетину кордону з метою здійснення міжнародних перевезень вантажів відповідно до законодавства України та міжнародних договорів; допускає спрощений порядок пропуску.
Положення про МК та МО міжнародних поштових відправлень	Визначає порядок декларування, митного контролю та митного оформлення і контролю за доставкою товарів, депеш та інших предметів, в т.ч. міжнародної прискореної пошти EMS (Express Mail Service).

і проводиться з урахуванням вимог міжнародних нормативно-правових актів. До прикладу, Конвенція про дорожній рух (інакше – Віденська конвенція 1968 р.) встановлює технічні стандарти та правила для безпеки на дорозі, включаючи вимоги до конструкції автомобілів, освітлення, гальм, шин та інших елементів. Екологічні стандарти на токсичність і димність відпрацьованих газів установлені за Правилами ЄЕК ООН. Так звані Євростандарти регулюють викиди шкідливих речовин автомобільними двигунами і постійно посилюються. Компанії експрес-доставки повинні дотримуватися найновіших стандартів, щоб відповідати екологічним нормам. Крім того, кожна країна має своє власне транспортне законодавство, що регулює автомобільні перевезення. Компанії експрес-доставки повинні дотримуватися відповідних правил та норм, таких як обмеження швидкості, перевантаження, використання спеціальних позначень тощо.

Отже, стан технічних засобів експрес-перевезень на автомобільному транспорті вимагає перевірки відповідності транспортних засобів вимогам, встановленим вищезгаданими нормативно-правовими актами, за якими оцінюються такі аспекти як безпека транспорту, ефективність споживання палива, екологічність, технічний стан транспортних засобів та виконання стандартів якості.

Організаційна складова. Аналіз схем організації праці в експрес-доставці та їх відповідність міжнародним стандартам включає огляд робочих умов, режиму роботи, прав праці та соціальних гарантій, які надаються працівникам в цій сфері діяльності.

Деякі міжнародні стандарти, які варто враховувати, установлені Міжнародною організацією стандартизації (ISO). Наприклад, компанії експрес-доставки можуть отримувати сертифікати відповідності стандартам ISO, таким як ISO 9001 (система управління якістю) та ISO 14001 (система управління довкіллям), що встановлюють вимоги до управління якістю та довкіллям у робочих процесах. Також важливо, щоб компанії експрес-доставки виконували вимоги національних законодавств та забезпечували виконання прав працівників, адже в кожній країні існують закони, що регулюють різні аспекти працевлаштування. Тут слід згадати і про КСВ – корпоративну соціальну відповідальність (CSR – *Corporate social responsibility*) – ініціативу, про яку в Україні поки що знають мало. КСВ – це відповідальність підприємства за прямий та опосередкований вплив на економічну, екологічну та соціальні системи, в які воно вбудоване. Компанії установлюють політику CSR, яка полягає в дотриманні прав праці, піклування про здоров'я та безпеку працівників, а також соціальну підтримку спільнот.

Отже, при аналізі схем організації праці в експрес-доставці важливо враховувати вимоги міжнародних стандартів, національне законодавство та політику CSR. Конкретний аналіз може включати перевірку робочого часу, умов праці, оплати праці, захисту прав працівників та дотримання норм безпеки та охорони здоров'я.

Незважаючи на швидкі темпи зростання обсягів послуг з доставки експрес-вантажів, розвиток міжнародної експрес-доставки зіткнувся з рядом проблем, які впливають на ефективність та якість послуг. Результати дослідження деяких з найбільш поширених проблем наведемо в табл. 6.

Таблиця 6

Проблеми розвитку міжнародної експрес-доставки

Проблема	Стислий опис
Митні процедури	Одна з основних проблем у міжнародній експрес-доставці. Складність та тривалість митного оформлення можуть призводити до затримок у доставці вантажу. Неодноразові митні обмеження та непередбачуваність митних правил у різних країнах створюють складнощі для компаній експрес-доставки.
Інфраструктура та транспортні засоби	Недостатня розвиненість транспортної інфраструктури у деяких регіонах може призводити до затримок та проблем з доставкою. Обмеженість доступу до високошвидкісних транспортних засобів та недостатнє покриття авіаційними мережами можуть ускладнювати експрес-доставку до віддалених районів.
Безпека та захист вантажів	Крадіжки, втрати та пошкодження вантажу можуть відбуватись під час транспортування, особливо у разі перетину кількох кордонів. Забезпечення безпеки вантажів має стати пріоритетом для компаній експрес-доставки.
Екологічна стійкість	Розширення міжнародної експрес-доставки призводить до збільшення викидів вуглецю та негативного впливу на навколишнє середовище. Зростаюча увага до стану довкілля вимагає впровадження більш екологічно стійких рішень у логістичних процесах експрес-доставки.

Висновки. Розглянувши систему експрес-доставки вантажів як складний об'єкт та застосувавши для аналізу його складових системний підхід, можна стверджувати, що підвищення конкурентоспроможності цього сегменту ринку можливе через удосконалення процесу експрес-доставки і полягає у покращенні оперативності та швидкості доставки. Розвиток технологій, автоматизація та впровадження сучасних систем відстеження дозволяють зменшити час доставки та підвищити рівень задоволеності клієнтів. Важливим аспектом для привабливості експрес-доставки є формування конкурентоспроможних тарифів. Здійснення аналізу витрат, ефективного управління логістичними процесами та забезпечення оптимального співвідношення ціни та якості є ключовими факторами при встановленні тарифів.

При скоординованому розвитку всіх п'яти розглянутих підсистем можна досягти синергічного

ефекту, коли комбіноване використання кількох стратегій виявляється більш ефективним, ніж ізольоване впровадження кожної з них. Логічно припустити виникнення особливих емерджентних властивостей і утворення мережі експрес-доставки з новими можливостями.

Отже, усі вищезазначені аспекти сприяють підвищенню конкурентоспроможності експрес-доставки. Підприємства, які зосереджуються на постійному удосконаленні своїх процесів, інвестиціях у технології та інновації, а також на задоволенні потреб клієнтів, мають перевагу на ринку. Вирішальними факторами для досягнення успіху у сфері експрес-доставки є ефективне планування і управління. А подальші дослідження мають лежати у площині застосування сучасних методів і моделей логістичного менеджменту стосовно експрес-доставки вантажів.

Список літератури:

1. Бауерокс Дональд ДЖ., Клосс Дейвід Дж. Логістика: Інтегрований ланцюг постачань. 2-е вид. / [Пер. з англ. Н.Н. Барішнікової, Б.С. Пінкснера]. 2004. 640 с.
2. Шандрівська О. Є. Дослідження сегменту експрес-доставки вантажів в Україні з використанням методів математичної статистики / О. Є. Шандрівська, В. В. Кузяк, В. А. Шандрівський // *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Проблеми економіки та управління : збірник наукових праць. 2015. № 815. С. 169–184. <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/2723/visnyk2015-169-184.pdf>
3. Кобилюх О.Я., Гірна О.Б. Ринок експрес-доставки в Україні: виклики сьогодення // *Інфраструктура ринку. Електронний науково-практичний журнал*. Причорноморський науково-дослідний інститут економіки та інновацій. Випуск 68, 2022. С. 44–49. <https://doi.org/10.32782/infrastructure68-8>
4. Офіційний сайт Нової Пошти <https://novaposhta.ua>
5. Офіційний сайт Meest Україна <https://ua.meest.com>
6. Офіційний сайт Укрпошти <https://www.ukrposhta.ua>
7. Офіційний сайт компанії Делівері. <https://www.delivery-auto.com>.
8. Офіційний сайт DHL Express <https://mydhl.express.dhl/ua/uk/home.html#/createNewShipmentTab>

Kunda N.T., Ohiichuk O.V. ANALYSIS OF WAREHOUSE EXPRESS DELIVERY OF CARGO IN THE INTERNATIONAL TRAFFIC

The article is devoted to issues of functioning and efficiency of a separate international transportation segment – express cargo delivery. The study's relevance is determined by the need to increase the competitiveness of enterprises engaged in the express delivery of goods. The works of foreign and domestic scientists indicate the practicality of using a logistic approach. Logistics management is considered a tool for revealing the set of capabilities of the enterprise as a logistics system. To analyze the factors which affect the competitiveness of international express delivery of freight, a systematic approach and a decomposition method were used to study the infrastructure, economic, transport, legal, and organizational components of the express delivery system. The main principles of system implementation are described: speed, punctuality, reliability, tracking and tracing, processing and manipulation, and support service availability. Operators represent the infrastructural component with an extensive network of express delivery branches. Express delivery companies operating on the domestic and international markets are presented: “Nova Poshta”, “Meest Express”, “Ukrposhta”, DHL, TNT Express, “Delivery Express”, and others. Aspects important for ensuring the competitiveness of express delivery enterprises are highlighted. The possibilities of increasing the competitiveness of enterprises operating in this area have been analyzed. In the economic component, special attention is paid to the issue of forming flexible tariffs, and the main ratios for their calculation are proposed. Modern rolling stock and the latest technologies play a decisive role in the transport component. The prospects for developing international express delivery by road transport are described. A number of international and domestic regulatory acts regulate the organization of express delivery. A list of legislative documents forming the legal component of express delivery has been compiled. Schemes of labor organization and control of the work regime and social guarantees make up the meaning of the organizational component and are reflected in some international standards. The problems of the development of global express delivery are considered. The possibility of achieving a synergistic effect and forming a system with new emergent properties is indicated.

Key words: express delivery, international transportation, road transport, competitiveness, tariffs, legal regulation.

Кучма О.С.

Національний авіаційний університет

ПЕРЕДУМОВИ РАЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ МІЖНАРОДНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ

У статті відзначено значну актуальність розвитку світових транспортних систем враховуючи активну міжнародну інтеграцію. Охарактеризовано засади інтеграції та особливості глобалізаційних процесів у транспортних системах.

Аналіз наукових досліджень дозволив встановити ті проблеми міжнародної інтеграції, які попередньо досліджувалися, зокрема, її теоретичні концепції та форми, мотиви та цілі інтеграційних процесів, механізм стійкої мультимодальної вантажно-транспортної та логістичної системи на основі генетичного алгоритму та ін. В той же час не було виявлено характеристики раціональної організації процесів вантажних авіаперевезень в умовах міжнародної інтеграції.

В рамках дослідження визначено різномірні фактори впливу на розвиток авіаційних перевезень в глобалізованому світі, що формуються мікро- та мікроекономічними факторами, а також стримуючими та стимулюючими факторами. Запропонована у роботі система інтеграції авіатранспортної системи до авіатранспортної системи ЄС включає складові інтеграції, блок інструментального наповнення та результативний блок.

Визначено напрямки розвитку наукових досліджень щодо міжнародних інтеграційних процесів в сфері авіаційних перевезень, а також відзначено, що вплив сучасних тенденцій розвитку вантажних авіаперевезень у світі в останні роки вимагають від учасників ринків забезпечення можливості швидко переорієнтувати діяльність з одного напрямку на інший.

Було охарактеризовано управління міжнародними системами доставки вантажів за участю авіаційного транспорту як елементу системи управління логістичною ланкою підприємств транспортно-логістичної сфери, відзначено необхідність підвищення рівня обслуговування авіаційних вантажних перевезень, дано характеристику технологічних процесів перевезення та обробки вантажів. Наголошено на тому, що розвиток ринкових відносин, лібералізація, дерегуляція та глобалізація призвели до подібнення перевізного процесу.

Ключові слова: процес, вантажні перевезення, міжнародна інтеграція, транспортні системи, глобалізація, гармонізація, ланцюги постачання, доставка.

Постановка проблеми. Розвиток транспортних систем в умовах сьогодення повинен враховувати активну міжнародну інтеграцію, яка реалізується через ті чи інші інтеграційні процеси. Інтеграція втілюється через розвиток та поглиблення техніко-технологічних та організаційно-економічних зв'язків національних систем на макро-, мезо- та мікрорівнях, а також процеси реформатування ринків, конкурентної боротьби, спрощення торгових та правових процедур, оптимізацію ринкових інструментів та ін. Глобалізаційні процеси у міжнародних транспортних системах передбачають реалізацію принципів доступності, надійності, схоронності, адекватності, системності, екологічності та безпечності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми міжнародної інтеграції активно досліджувалися, як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Дослідження І. В. Приходько [1] при-

свячено обґрунтуванню теоретичних концепцій міжнародної економічної інтеграції, в той же час С. В. Мариніною у [2] аналізується розвиток форм міжнародної економічної інтеграції. Науковці О. А. Князева та Н. Д. Маслій вивчають мотиви та цілі інтеграційних процесів на різних економічних рівнях [3].

Серед іноземних досліджень, які стосуються вивчення проблем інтеграційних процесів у світовій економіці слід особливо відзначити наступні. Значення системи Hub-and-Spoke у глобальній торговій мережі досліджували П. Х. Юнг та Дж.-К. Тіл у [4]. Одним із інструментів реалізації міжнародної інтеграції слід визнати запропонований С. Ок'єре та ін. у [5] оптимізаційний механізм стійкої мультимодальної вантажно-транспортної та логістичної системи на основі генетичного алгоритму. Інтеграцію мультитоварної мережі потоку для аналізу впливу квот на автотранспорт

на міжнародну торгівлю аналізували у своїй роботі Б. Чекай та ін. [6]. Проектуванню мультимодальної вантажної транспортної мережі морських портів-хабіву аспектах розвитку регіональної інтеграції просвічено дослідження Ч. Ін'є та ін. [7]. Регіоналізація та міжрегіональна інтеграція в системі автомобільних міжнародних торгових мереж вивчалася М. Руссо та ін. у [8].

Вітчизняні дослідники також вивчали чимало проблем, які з'являються в умовах міжнародної інтеграції. Загальні основи та проблеми розвитку транспортної системи України в умовах міжнародних інтеграційних процесів охарактеризувала Н. В. Орлова у [1]. У якості висновку автором відзначається, що забезпечення тісного міжнародного економічного співробітництва України з країнами ЄС через розвиток транспортно-логістичної галузі дасть можливість забезпечити пришвидшення інтеграції України до європейської та світової транспортно-логістичної системи і економіки загалом.

У рамках дослідження І. О. Хоменко та ін. [2] авторами відзначається, що стримуючими факторами розвитку транзитного потенціалу України є податкова система, логістичні аспекти роботи, інфраструктурні обмеження, а також інші фінансово-економічні фактори.

Науковці Н. В. Іванова та О. В. Мініна, в рамках дослідження представленого у [3], приходять до висновку, що вирішення проблеми методології та інструментального забезпечення і, як наслідок, кардинальне покращення ситуації у галузі транскордонного співробітництва для України можливо шляхом створення транскордонних кластерів, які активно створюються у прикордонних регіонах країн ЄС. У науковій роботі [4] А. Ю. Платонов відзначає, що виникає гостра потреба у формуванні комплексної системи протидії перешкодам виконання міжнародних вантажних перевезень в рамках взаємодії держави та бізнесу. У фундаментальному дослідженні Інституту регіональних досліджень [5, с. 23–63] запропоновані шляхи розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України в рамках дії міжнародних транспортних коридорів, а також засади розбудови митного кордону України.

Проте, не було виявлено характеристики раціональної організації процесів вантажних авіаперевезень в умовах міжнародної інтеграції.

Метою статті є визначення передумов раціональної організації процесів вантажних авіаперевезень в умовах міжнародної інтеграції, з урахуванням особливостей управління міжнародними

системами доставки вантажів за участю авіаційного транспорту.

Виклад основного матеріалу. В умовах поширення міжнародних глобалізаційних та інтеграційних процесів ключове значення для розвитку національних економік країн, підвищення рівня конкурентоздатності компаній, забезпечення інтересів суспільства має розвиток авіаційного транспорту. Сучасна, максимально адекватна поточним викликам, ефективно функціонуюча, гнучка, адаптивна авіаційна транспортна система стає ключовим завданням для нашої держави.

Розвиток авіаційних перевезень в глобалізованому світі передбачає обов'язковість врахування різнорівневих факторів, які можуть чинити як позитивний так і негативний вплив, стимулюючи чи стримуючи галузь (рис. 1). Специфікою саме авіаційної галузі є максимальна наскрізна інтеграція, оскільки авіаційний транспорт є глобальним та доступним у найвіддаленіших куточках нашої планети.

Ключовим питанням щодо забезпечення функціонування світової та європейської авіатранспортної мережі є забезпечення відповідного рівня безпеки авіаперевезень, що визначається як одне із головних завдань міжнародних авіаційних організацій та національних органів влади. Проблеми безпеки авіаперевезень мають вирішуватися на глобальному рівні, з формуванням спільної політики безпеки, ключові аспекти якої потім проваджуються на рівні окремих держав.

Інтегрування авіатранспортної системи нашої держави до загальноєвропейської передбачають реалізацію спільних правових, економічних, технічних, технологічних, організаційних, соціальних, безпекових та інших стандартів.

Система інтеграції авіатранспортної системи до авіатранспортної системи ЄС представлені на рис. 2. Створення єдиного європейського повітряного простору також буде сприяти розвитку авіатранспортної системи шляхом створення міжнародних та регіональних авіаційних хабів, розширення євроінтеграційної стратегії України.

Активний розвиток міжнародних інтеграційних процесів в сфері авіаційних перевезень вимагає відповідного розвитку наукових досліджень, сфокусованих на виявленні тенденцій розвитку авіаперевезень, вдосконаленні організаційно-технологічних процесів перевезень, зокрема авіаперевезень вантажів, обґрунтуванні засобів підвищення ефективності вітчизняної авіатранспортної системи, дослідженні проблем логістичного управління, розробленні раціональних

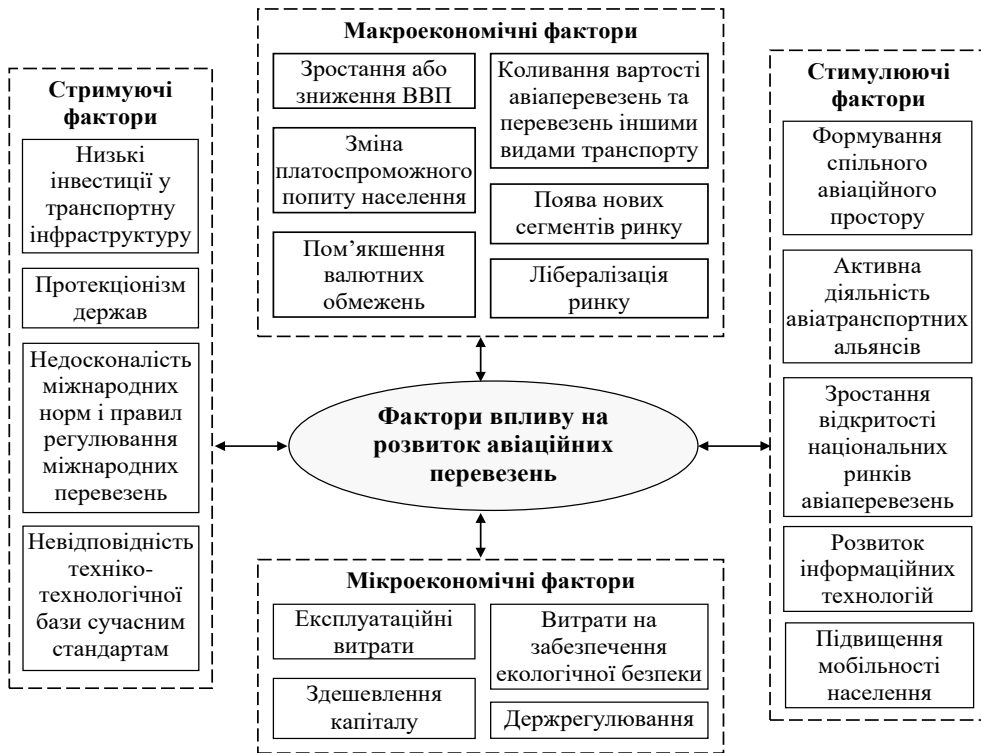


Рис. 1. Різномірні фактори впливу на розвиток авіаційних перевезень в глобалізованому світі



Рис. 2. Система інтеграції авіатранспортної системи до авіатранспортної системи ЄС

систем доставки вантажів за участю авіаційного транспорту в умовах міжнародної інтеграції.

Авіаційні перевезення вантажів, а також пов'язані з ними організаційно-технологічні та економічні процеси, розвиток супутніх послуг, мають велику актуальність та перспективу розвитку, що підтверджується поточною ситуацією в світі та даними міжнародних авіаційних організацій.

Основні перспективи розвитку вантажних авіаперевезень пов'язані із необхідністю постійного вдосконалення організаційно-технологічних процесів діяльності авіакомпаній, аеропортів, логістичних операторів та експедиторів, оптимізацію роботи всієї транспортно-логістичної системи доставки вантажів.

Сучасні тенденції розвитку вантажних авіаперевезень у світі в останні роки вимагають від учасників ринків забезпечення можливості швидко переорієнтувати діяльність з одного напрямку на інший, наприклад розширити вантажні перевезення в пасажирських літаках чи розширити сегмент доставки тих чи інших категорій спеціальних вантажів. А отже, для досягнення більшої ефективності діяльності авіатранспортних підприємств на ринку авіаційних перевезень необхідне впровадження комплексу заходів задля удосконалення технологічних процесів перевезення та обслуговування вантажів.

Міжнародні авіаційні перевезення є невід'ємною часткою зовнішньоторговельних угод, а отже глобалізаційні та інтеграційні процеси на них впливають надзвичайно сильно. Авіаційні вантажні перевезення – це одна з найважливіших ланок інфраструктурного забезпечення розвинених держав у світі, тому що саме з використанням авіаційного транспорту доставляється майже 35% від усіх вантажів у вартісному вимірнику, що забезпечує планованість виконання міжнародних торгових угод на різних рівнях.

Управління міжнародними системами доставки вантажів за участю авіаційного транспорту стає елементом системи управління логістичною ланкою підприємств транспортно-логістичної сфери. Управління міжнародними авіатранспортними операціями допомагає авіапідприємствам суттєво знизити витрати та підвищити якість обслуговування клієнтів. Система управління міжнародними операціями при авіаперевезенні вантажів має включати відповідні технології обробки вантажу, інформаційні системи контролю за авіаційними перевезеннями, оптимізацію комплектування вантажного завантаження, вибір оптимального режиму транспортування вантажів,

а також забезпечення комплексної взаємодії транспортно-логістичних підприємств між собою.

З метою підвищення рівня обслуговування авіаційних вантажних перевезень до середньоєвропейського рівня, необхідно усунути «вузькі місця» в організації та технології обробки вантажів, підвищити загальну швидкість перевезення, суттєво зменшити непродуктивні витрати, а також підвищити рівень взаємодії підприємств. Це також забезпечується підвищенням ефективності використання логістичного потенціалу підприємств, які приймають участь у міжнародних доставках вантажів в яких використовується авіаційний транспорт.

Зміст технологічних процесів перевезення та обробки вантажів визначається характерними особливостями конкретного вантажу, видом авіатранспортного засобу, що використовується, розкладом руху, а також процедурами контролю. За своєю суттю авіаційні перевезення вантажів представляють собою складний комплекс заходів, який включає в себе ряд послідових етапів.

Розвиток ринкових відносин, лібералізація, дерегуляція та глобалізація призвели до подрібнення перевізного процесу на велику кількість окремих операцій, кожна з яких виконується окремим підприємством: авіакомпаніями-перевізниками, вантажними агентами, хендлінговими компаніями, аеропортами, транспортно-експедиторськими підприємствами та логістичними операторами. Синхронізація та координація їх роботи при цьому стає значною проблемою.

Також значною перешкодою у системі сучасного процесу доставки вантажів, в тому числі і спеціальних, є достатньо велика роздрібненість по окремим операціям, а також нечітко визначена юридична та фінансова відповідальність за їх виконання учасниками транспортного процесу.

Висновки. За результатами проведеного дослідження щодо визначення передумов раціональної організації процесів вантажних авіаперевезень в умовах міжнародної інтеграції було визначено різномірневі фактори, які впливають на розвиток авіаційних перевезень в глобалізованому світі, а також складові інтеграції авіатранспортної системи до авіатранспортної системи ЄС. Відзначено при цьому важливість урахуванням особливостей управління міжнародними системами доставки вантажів за участю авіаційного транспорту. Визначено необхідні кроки, здійснення яких вимагають сучасні тенденції розвитку вантажних авіаперевезень. Було охарактеризовано управління міжнародними системами доставки вантажів за участю авіаційного транспорту.

Список літератури:

1. Приходько І. В. Теоретичні концепції міжнародної економічної інтеграції. *Економічний аналіз*, 2015. Том 19. № 1. С. 91–100.
2. Мариніна С. В. Сутність, проблеми та перспективи розвитку форм міжнародної економічної інтеграції. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2014. № 5-6. С. 40–47.
3. Князева О. А., Маслій Н. Д. Мотиви та цілі інтеграційних процесів на різних економічних рівнях. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. : Економічні науки*. 2015. Вип. 10(2). С. 48–52.
4. Jung P. H., Thill J.-C. Global Shrinkage of Space and the Hub-and-Spoke System in the Global Trade Network. *International Regional Science Review*. 01600176231160491. <https://doi.org/10.1177/01600176231160491>.
5. Okyere S., Yang J., Adams C.A. Optimizing the Sustainable Multimodal Freight Transport and Logistics System Based on the Genetic Algorithm. *Sustainability*, 2022 № 14. 11577. <https://doi.org/10.3390/su141811577>
6. Секуау В., Кабак О., Уленгін Ф., Уленгін В., Палут П. Т., Озайдын О. A multi-commodity network flow and gravity model integration for analyzing impact of road transport quotas on international trade. *Research in Transportation Economics*. 2020. Vol. 80(1). P. 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2020.100816>
7. Yin C., Zhang Z., Zhang X., Chen J., Tao X., Yang L. Hub seaport multimodal freight transport network design: Perspective of regional integration development. *Ocean & Coastal Management*. 2023. Vol. 242. 106675. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106675>.
8. Russo M., Alboni F., Sanginés J.C., De Domenico M., Mangioni G., Righi S., Simonazzi A. Regionalisation and cross-region integration. Twin dynamics in the automotive international trade networks. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2023. Vol. 67. P. 98-114. DOI: 10.1016/j.strueco.2023.07.006.
9. Орлова Н. В. Проблеми розвитку транспортної системи України в умовах міжнародних інтеграційних процесів. *Інноваційна економіка: теоретичні та практичні аспекти* : монографія / за ред. д.е.н., доц. Л.О. Волошук, д.е.н., проф. Є.І. Масленнікова. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2019. С. 445–453.
10. Хоменко І. О., Волинець Л. М., Колоток М. О. Транзитний потенціал України та розвиток міжнародних перевезень. *Сучасні питання економіки і права*. 2020. Вип. 2.(12). С.152–154.
11. Іванова Н. В., Мініна О. В. Транскордонне співробітництво України та ЄС: механізм взаємодії сторін. *Проблеми і перспективи економіки та управління*, 2021. Вип. 2(22). С. 78–87.
12. Платонов А. Ю. Транзитний потенціал України та стримуючі фактори розвитку міжнародних вантажних перевезень. *Ефективна економіка: електронний журнал*. 2017. № 12. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=5943>
13. Функціонування ринку вантажних перевезень в Україні: фактори впливу та пріоритети розвитку: науково-аналітична доповідь (електронне видання) / наук. ред. Х. М. Притула; ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України». Львів, 2021. 94 с.

Kuchma O.S. PRECONDITIONS FOR RATIONAL ORGANISATION OF CARGO AIR TRANSPORT PROCESSES IN TERMS OF INTERNATIONAL INTEGRATION

The article highlights the significant relevance of the development of global transport systems in view of intensive international integration. Bases of integration and peculiarities of globalisation processes in transport systems were characterised.

The analysis of scientific researches allowed to identify the problems of international integration that have been previously studied, in particular, its theoretical concepts and forms, motives and goals of integration processes, the mechanism of a sustainable multimodal cargo transport and logistics system based on a genetic algorithm, etc. At the same time, the characteristics of the rational organisation of air cargo transportation processes in the context of international integration have not been revealed.

Within the framework of the study, multilevel factors of influence on the development of air transport in the globalised world formed by micro- and microeconomic factors, as well as by constraining and stimulating factors were identified. The proposed system of integration of the air transport system into the EU air transport system includes integration components, a block of instrumental content and a result block.

The directions of scientific research development on international integration processes in the field of air transport were determined. It was also noted that the impact of modern trends in the development of air cargo transportation in the world in recent years requires market participants to ensure the ability to quickly reorient activities from one direction to another.

The management of international cargo delivery systems involving air transport as an element of the management system of the logistics link of transport and logistics enterprises was characterised, the need to improve the level of air cargo services was pointed out, and the technological processes of cargo transportation and cargo processing were analysed. It was emphasised that the development of market relations, liberalisation, deregulation and globalisation have led to the fragmentation of the transportation process.

Key words: process, cargo transportation, international integration, transport systems, globalisation, harmonisation, supply chains, delivery.

Маляренко Д.Л.

Національний авіаційний університет

ВРАХУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ РИЗИКІВ ПРИ ЗМІНІ ВАНТАЖОПОТОКІВ НА АВІАЦІЙНОМУ ТРАНСПОРТІ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

У статті в результаті проведеного дослідження з визначення передумов врахування виникнення ризиків при зміні вантажопотоків на авіаційному транспорті в умовах невизначеності було здійснено критичний аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових джерел який дав можливість стверджувати, що відсутні дослідження щодо комплексного врахування означених проблем. У роботі було відзначено, що значно вищому ризику під час доставки піддаються спеціальні категорії вантажів. Наукову новизну дослідження формують визначені ознаки транспортабельності вантажу при перевезенні авіаційним транспортом, також систематизовані види ризиків в процесі перевезення вантажу авіатранспортом та причини їх появи. Наголошено на тому, що прояви тих чи інших видів ризиків виникають на різних етапах ланцюга доставки вантажів за участю авіаційного транспорту, однак найбільша ймовірність виникнення ризиків спостерігається у точках передачі вантажу від одного учасника транспортного процесу до іншого, а також у точках перевантаження вантажу й прийому-здачі вантажу та у місцях трансформації вантажопотоків. Визначено, що саме ці точки можна вважати контрольними для виявлення ризикових ситуацій та вживання заходів щодо попередження ризиків або ліквідації наслідків виникнення ризикових ситуацій з вантажем.

Були детально описані випадки миттєвого прояву виникнення ризиків в ланцюгу доставки вантажів та поступового прояву, коли ризик має пролонгований характер. Охарактеризовано наслідки щодо ситуацій неправильного вибору об'ємно-масових характеристик вантажу.

Відзначено, що важливим засобом для попередження виникнення ризиків є етап планування авіаційного перевезення та підготовка вантажу до авіаційного перевезення. Саме у організованість під час цих операцій закладає основу для безпечного, швидкого та цілісного авіаперевезення вантажу.

Ключові слова: *ризик, вантаж, вантажопотік, авіаційний транспорт, авіаперевізник, експедитор, логістичний оператор, доставка, відправник.*

Постановка проблеми. В процесі перевезення вантажу авіаційним транспортом виникають певні види ризиків, прояв яких може призвести до негативних наслідків, а інколи – до припинення перевезення взагалі.

Оскільки авіаперевезення є цілісною взаємопов'язаною системою, на виникнення ризиків при перевезенні також впливають можливості забезпечення авіаційного перевезення збоку перевізників та можливості обслуговування вантажів в аеропорту. Тому виникнення різких коливань попиту на перевезення, зокрема ажіотажний попит на перевезення, може створити ситуацію браку перевізних ємностей авіаперевізників та пропускнуої спроможності аеропорту з обслуговування вантажів певних категорій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми виникнення ризиків на транспорті активно досліджувалися вітчизняними та зарубіжними науковцями. Серед вітчизняних авторів цими проблемами займалися С.І. Андрусенко,

С.М. Боняр, Н.В. Тарельник, Т.М. Бердичевська, О.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, А.С. Дорош, Є.Б. Демченко, Ю. Коноваленко, Р.В. Маркуль, В.С. Подпісов, М.М. Тарашевський та ін. Ними було здійснено: класифікацію ризиків під час вантажних перевезень автомобільним транспортом [1]; проаналізовано ризики при міжнародних автоперевезеннях вантажів [2]; визначено джерела та фактори транспортного ризику при вантажних автоперевезеннях [3]; зроблена ідентифікація та оцінка ризиків транспортних підприємств [4] та визначено стан управління ними [5]; охарактеризовано методи управління ризиками для зменшення аварійності на транспорті [6].

Серед зарубіжних дослідників особливо необхідно відзначити роботу К. Ліанг та ін. [7] щодо аналізу ризиків крадіжки вантажу в ланцюгах постачання, а також дослідження І. Церемоглу та ін. [8], у якому авторами запропонована комбінована модель прогнозування для завантаження авіаційних вантажів на основі мінімізації ризиків.

Цікаві проблеми піднімаються у роботі Б. Вандескога, який аналізує ризик, рівень довіри та репутаційний вплив в норвезькому офшорному ланцюжку поставок [9].

Аналіз попередніх досліджень дозволяє стверджувати, що відсутні дослідження щодо комплексного врахування виникнення ризиків при вантажних авіаперевезеннях в умовах невизначеності.

Метою статті є визначення передумов врахування виникнення ризиків в умовах зміни вантажопотоків в умовах невизначеності на авіаційному транспорті.

Виклад основного матеріалу. Слід відзначити, що існують групи вантажів з невеликим рівнем ризику – це звичайні генеральні вантажі відомих вантажовідправників. Крім цього є вантажі з великим рівнем ризику – це як правило різні види спеціальних вантажів: небезпечні, швидкопсувні вантажі, живі тварини, цінні вантажі, великовагові та негабаритні вантажі. Для таких вантажів ризику пов'язані із впливом на перевезення властивостей вантажів. Також на збільшення ризику при перевезенні впливає невідоме джерело відправлення.

Прояв різних видів ризиків можливий на різних стадіях авіаційного перевезення. Зазвичай авіаційне перевезення складається з багатьох операцій, які включають, окрім безпосередньо повітряного перевезення, достатньо великий комплекс операцій з наземної обробки вантажів в аеропорту та підготовчих операцій і доставки вантажу в/з аеропорту, тобто авіаційне перевезення фактично має ознаки мультимодального перевезення, а авіаційні операції з обробки вантажів в аеропорту є складовою частиною загального ланцюгу доставки вантажу.

Виведення вантажу з транспортабельного стану може включати пошкодження тари, упакування та маркування вантажу, а також повну або часткову втрату вантажем своїх властивостей. Знаходження вантажу в транспортабельному стані є однією з основних умов забезпечення безпеки перевезення та цілості вантажу. На рис. 1 представлені ознаки транспортабельності вантажу при перевезенні авіаційним транспортом.

Продовжуючи наукове дослідження Т.Ю. Габрієлової [10] можемо відзначити, що операції по наземній обробці вантажів в аеропорту мають найбільшу тривалість та мають найбільшу вартість як за часом так й за необхідністю використання обладнання та трудових ресурсів у всій технології авіаційного перевезення. Кількість операцій наземного обслуговування вантажів може змі-

нюватися в залежності від виду вантажу та його властивостей. В залежності від технології змінюється склад обладнання та ресурсів аеропорту, що застосовуються для обслуговування певного виду вантажу.

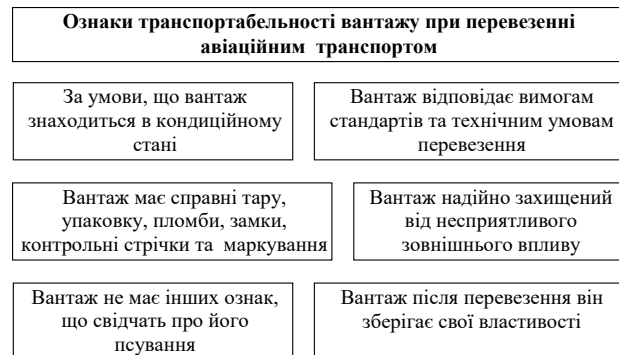


Рис. 1. Ознаки транспортабельності вантажу при перевезенні авіаційним транспортом

Авіаційне перевезення вантажів здійснюється декількома способами: на пасажирських літаках у порядку їхнього дозавантаження; на вантажних літаках. На різних рейсах використовуються літаки різних типів, що може вплинути на появу обмежень на транспортні характеристики вантажу. Прояв певних видів ризиків виникає на різних етапах ланцюга доставки вантажу за участю авіаційного транспорту.

Як розвиток ідеї, що була сформульована Т.Ю. Габрієловою у [10] охарактеризовано види ризиків в процесі перевезення вантажу авіатранспортом та причини їх появи представлена у табл. 1.

Як відзначалося раніше, прояв певних видів ризиків можливий на будь-якому етапі ланцюга доставки вантажу за участю авіаційного транспорту, однак найбільша ймовірність виникнення ризиків спостерігається у точках передачі вантажу від одного учасника транспортного процесу до іншого, у точках перевантаження вантажу й прийому-здачі вантажу та у місцях трансформації вантажопотоків. Ці точки можна вважати контрольними для виявлення ризикових ситуацій та вживання заходів щодо попередження ризиків або ліквідації наслідків виникнення ризикових ситуацій з вантажем. Прояв виникнення ризиків в ланцюгу доставки вантажу може бути миттєвим, тобто ризик виникає відразу при виконанні тієї чи іншої операції. Наприклад, пошкодження вантажу може виникнути при проведенні будь-яких навантажувально-розвантажувальних робіт із вантажем в результаті падіння, струсу, поштовху вантажу, його неправильного штабелювання та ін.

Види ризиків в процесі перевезення вантажу авіатранспортом та причини їх появи

Вид ризику	Причини появи
Ризик відмови у перевезенні вантажу виникає на етапі приймання вантажу до авіаційного перевезення	Причиною появи цього ризику є неправильне планування авіаційного перевезення або порушення підготовки вантажу до авіаційного перевезення. Зокрема, вантаж за своїми властивостями не може бути перевезений повітряним транспортом, партія вантажу сформована таким чином, що не може бути перевезена свочасно, невірно обраний маршрут перевезення та тип повітряного судна (ПС), не заброньований тоннаж для перевезення цього вантажу. При підготовці вантажу до перевезення причиною виникнення ризику відмови у перевезенні вантажу може бути неправильний вибір тари та упакування для повітряного перевезення, неправильне маркування вантажу, об'ємно-масові характеристики вантажу не співпадають з параметрами ПС, на яких буде виконуватися перевезення, неправильно оформлені документи на вантаж.
Ризик конфіскації вантажу	Може виникати при проходженні вантажем певних видів державного контролю в аеропорту, якщо існують заборони державних органів на експорт, імпорт або транзит даного вантажу, або, наприклад, коли швидкокопсувний вантаж зіпсований настільки, що його не можна використати за початковим призначенням. Також причиною виникнення цього ризику можуть бути неправильно оформлена товаросупровідна документація на вантаж, зокрема відсутність різних дозволів та сертифікатів.
Ризик пошкодження вантажу	Є одним з основних видів ризиків при перевезенні вантажу. Може виникнути на будь-якому етапі технологічного процесу. Причиною його виникнення може бути неправильне планування перевезення та неправильна підготовка вантажу до авіаційного перевезення, неправильна технологія навантажувально-розвантажувальних робіт, невідповідні умови зберігання вантажу, невідповідні умови перевезення вантажу, несвочасне обслуговування вантажу, порушення умов сумісності вантажу.
Ризик неможливості вантажу витримати повітряне перевезення	На вантаж в процесі перевезення діє певна низка зовнішніх факторів, які можуть вплинути на стан вантажу. Цей ризик проявляється, як правило, у спеціальних категоріях вантажів, наприклад живих тварин або швидкокопсувних, або деяких видів небезпечних вантажів. При повітряному перевезенні живих тварин їх стан може значно погіршитися, або вони можуть себе неадекватно поводити, що може призвести до фатальних наслідків. Деякі види швидкокопсувних вантажів мають настільки короткий термін зберігання, який є меншим, ніж тривалість повітряного перевезення. Появи такого виду ризику слід передбачати ще на етапі планування повітряного перевезення, так як не врахування його може призвести до псування вантажу та збитків.
Ризик втрати документів на вантаж	Виникає при порушенні процедур приймання-здачі вантажу, порушенні обліку вантажу у різних учасників транспортного процесу. Вплив цього виду ризику значно знижується при введенні електронного документообігу при вантажних перевезеннях.
Ризик повної або часткової втрати вантажу	Також може виникнути на будь-якому етапі перевезення вантажу. Причиною його виникнення можуть бути порушення технології виконання окремих технологічних операцій з обробки вантажу, неправильне зберігання вантажу, неправильне оформлення документації на вантаж, порушення обліку вантажу та проходження інформації про вантажне завантаження на різних етапах технологічного процесу.
Ризик виведення вантажу з транспортабельного стану	Може статися як при наземній обробці вантажу, так й безпосередньо при повітряному перевезенні. Причинами виникнення цього виду ризику є порушення технології обробки та умов зберігання вантажу. Якщо вантаж втратив транспортабельний стан для його подальшого перевезення необхідне його обслуговування: переупакування, переформування вантажних одиниць, маркування, заміна холодоагентів тощо. Інакше подальше перевезення вантажу стає неможливим.
Ризик засилки вантажу не за призначенням	Виникає при помилках в оформленні документів, невірному маркуванні вантажу, неправильному обліку вантажу та проходженні інформації при вантажних авіаперевезеннях. Призводить до додаткових втрат, пов'язаних з поверненням вантажу. Може бути також причиною втрати вантажу.
Ризик виникнення небезпеки при перевезенні	Може бути пов'язаний як з властивостями вантажів, зокрема небезпечними, так й з їх об'ємно-масовими характеристиками. Може виникнути на будь-якому етапі перевезення, особливо при проведенні навантажувально-розвантажувальних робіт. Засобами попередження виникнення даного виду ризику є дотримання умов прийняття вантажу до перевезення повітряним транспортом, забезпечення відповідних умов зберігання вантажів даного виду, врахування сумісності вантажів, дотримання технології виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, правильне планування завантаження рейсу, дотримання центрування ПС, швартування та кріплення вантажів.
Ризик помилкового завантаження/вивантаження вантажу	Виникає при завантаженні чи розвантаженні ПС та пов'язаний з порушенням умов прийому-здачі вантажу, неправильним оформленням рейсової документації, втрати документів на вантаж, неправильному плануванні вантажного завантаження рейсу.
Ризик затримки або припинення перевезення	Може виникнути на будь-якому етапі перевезення та може бути пов'язаний як з технологічними процесами повітряного перевезення, так і вимогами державних органів. Причинами виникнення цього виду ризику є неправильне планування перевезення, неправильна підготовка вантажу до перевезення, пошкодження вантажу, необхідність його обслуговування. Також причиною затримки або припинення перевезення можуть бути форс-мажорні обставини та збірні ситуації, які можуть виникнути в аеропорту або у перевізника, зокрема брак пропускної спроможності аеропорту або брак вільного тоннажу у перевізника.
Ризик виникнення додаткових витрат на перевезення	Може виникнути на будь-якому етапі перевізного процесу, може бути пов'язаний з неправильними розрахунками плати за перевезення, необхідністю додаткового обслуговування вантажу в процесі перевезення або зберігання в аеропорту.

В іншому разі ризикова ситуація може виникнути поступово та проявитися значно пізніше на інших ділянках у ланцюгу доставки вантажу, тобто ризик має пролонгований характер. Прикладом є виникнення ризику псування швидкопсувального вантажу, який упаковується за допомогою холодоагентів. Після закінчення дії холодоагентів виникає ризик псування вантажу, який може проявитися на інших ділянках процесу перевезення. Він поступово зростає та ситуація з критичної може стати катастрофічною, тобто призвести до повної втрати вантажем своїх властивостей.

Для попередження псування вантажу необхідна своєчасна заміна холодоагентів, тобто обслуговування вантажу, що має бути передбачено у процесі доставки. Також прикладом виникнення такого виду ризику є недотримання температурних, вологісних та інших умов, вентиляції або сумісності вантажів при їх зберіганні на складах або при перевезенні. Ці аспекти доставки детально описані у дисертаційному дослідженні І.В. Василенка [11].

Іншим прикладом є формування вантажних одиниць для перевезення авіаційним транспортом. При неправильному виборі об'ємно-масових характеристик вантажу вони можуть не співпасти з параметрами вантажних відсіків ПС, на яких буде виконуватися перевезення. Це може проявитися вже безпосередньо при завантаженні пові-

тряного судна, коли час прийняття рішення вкрай обмежений, що може спричинити ризик затримки вантажу, необхідність переформування вантажних одиниць, а також виникнення додаткових витрат при перевезенні. Методичні рекомендації формування вантажних одиниць при перевезенні вантажів авіаційним транспортом описані Т.Ю. Габрієловою та С.Л. Литвиненком у [12].

Важливим засобом для попередження виникнення ризиків є початковий етап перевезення вантажу, а саме планування авіаційного перевезення та підготовка вантажу до авіаційного перевезення. Ці операції закладають основу для безпечного, швидкого та цілісного перевезення вантажу авіаційним транспортом.

Висновки. У статті зазначається можливість виникнення ажіотажного попиту на перевезення, що здатне спричинити дефіцит перевізних ємностей для авіакомпаній та обмеженість щодо спроможності аеропортових комплексів з обслуговування вантажів тих чи інших категорій. При вивченні наукової літератури не було виявлено досліджень, які б забезпечили комплексне врахування виникнення ризиків при вантажних авіаперевезеннях в умовах невизначеності. Встановлені ознаки транспортабельності вантажу при перевезенні авіаційним транспортом. Запропоновано удосконалену систему ризиків в процесі перевезення вантажу авіатранспортом та причини їх появи.

Список літератури:

1. Тарельник Н. В. Класифікація ризиків під час вантажних перевезень автомобільним транспортом. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. Вип. 4. С. 92–98. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2021-157-4-92-98>
2. Дорош А.С., Демченко Є.Б., Маркуль Р.В., Бердичевська Т.М. Аналіз ризиків при здійсненні міжнародних автомобільних перевезень вантажів. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2020. Вип. 20. С. 12–19. <https://doi.org/10.15802/tstt2020/217388>
3. Коноваленко Ю. Джерела та фактори транспортного ризику при здійсненні вантажних перевезень автомобільним транспортом. *Галицький економічний вісник*. 2013. № 2(41). С. 10–20
4. Тарашевський М. М. Стан управління ризиками на транспортних підприємствах України. *Бізнес Інформ*. 2020. №8. С. 125–133. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-125-133>
5. Боняр С. М., Тарашевський М. М. Ідентифікація та оцінка ризиків транспортних підприємств. *Бізнес Інформ*. 2019. № 9. С. 185–192. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-9-185-192>
6. Андрусенко С. І., Бугайчук О. С., Будниченко В.Б., Подпіснєв В. С. Використання методів управління ризиками для зменшення аварійності на транспорті. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2021. № 2(17). С. 31–40. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.632>
7. Liang X., Fan S., Lucy J., Yang Z. Risk analysis of cargo theft from freight supply chains using a data-driven Bayesian network. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022. Vol. 226. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108702>
8. Tseremoglou I., Bombelli A., Santos B. F. A combined forecasting and packing model for air cargo loading: A risk-averse framework. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022. Vol. 158. 102579. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102579>
9. Vandeskog B. Risk, trust and reputation in the Norwegian offshore supply chain. *Safety Science*. 2023. Vol. 163. 106118. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106118>

10. Габрієлова Т. Ю. Теоретичні основи управління ризиками при доставці спеціальних категорій вантажів авіаційним транспортом. *Проблеми та перспективи організації авіаційних перевезень, застосування авіації в галузях економіки і розвитку транспортних систем*: монографія / за заг. ред. Г.М. Юна та С.Л. Литвиненка. Київ: «Логос», 2011. С. 101–112.

11. Василенко І. В. Управління економічною ефективністю доставки спеціальних вантажів: дис. ... канд економ. наук: 08.00.04 / Національний авіаційний університет. Київ, 2015. 220 с.

12. Габрієлова Т. Ю., Литвиненко С. Л. Методологія та практика формування вантажних одиниць при перевезенні вантажів авіаційним транспортом. *Актуальні проблеми економіки*. 2011. Вип. 6 (120). С. 60–66.

Maliarenko D.L. CONSIDERING THE EMERGENCE OF RISKS RELATED TO CHANGES IN AIR CARGO FLOWS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

In the article, as a result of the study carried out to determine the prerequisites for considering the emergence of risks when changing cargo flows in air transport in the context of uncertainty, a critical analysis of domestic and foreign scientific sources was conducted, which made it possible to assert that there are no studies on the comprehensive consideration of these issues. The paper notes that special categories of cargo are exposed to a much higher risk during delivery. The scientific novelty of the study is formed by the defined features of cargo transportability when transported by air, as well as the systematised types of risks in the process of cargo transportation by air and the reasons for their occurrence. It was pointed out that manifestations of certain types of risks occur at different stages of the cargo delivery chain involving air transport, but the greatest probability of risks occurring is observed at the points of transfer of cargo from one participant of the transport process to another, as well as at the points of cargo transshipment and cargo acceptance and transfer, and at the places of cargo flow transformation. It was determined that these points can be considered as control points for identifying risk situations and taking measures to prevent risks or eliminate the consequences of risk situations with cargo.

The cases of instantaneous manifestation of risks in the cargo delivery chain and gradual manifestation when the risk is prolonged were described in detail. The consequences of the situations of incorrect choice of volume and mass characteristics of cargo were characterised.

It was noted that the stage of air transportation planning and preparation of cargo for transportation by air is an important tool for preventing risks. It is the organisation of these operations that lays the foundation for safe, fast and integral air transportation of cargo.

Key words: risk, cargo, cargo flow, air transport, air carrier, freight forwarder, logistics operator, delivery, sender.

Ромах В.Л.

Одеський національний морський університет

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ МОРСЬКИМИ ПОРТАМИ

В статті відзначено, що важливішою складовою морегосподарського комплексу країни є портова діяльність. Доведено необхідність зміни існуючих підходів та моделей управління морськими портами згідно з міжнародними вимогами. Досліджено існуючі моделі управління морськими портами світу, які відрізняються особливостями надання послуг, орієнтацією на ринки, формою власності на інфраструктуру, землею, обладнання та охарактеризовано їх особливості. Встановлено, що значна кількість портів світу використовують інтегровані моделі, які утворюються шляхом поєднання типових елементів, що дозволяє підкреслити їх переваги та зменшити негативні впливи, сприяючи підвищенню ефективності портової діяльності. Зазначено, що більші прийнятним вектором для розвитку вітчизняних портів є модель управління, яке базується на превалюванні ознак моделі «порт-лендлорд», здатної поєднати як приватні, так і державні інтереси. Враховуючи особливості її формування у вітчизняних реаліях, акцентовано увагу на розподілі функцій між Адміністрацією морських портів України та приватними інвесторами. Підкреслено значущість концесійних договорів та їх ефективність для модернізації портової галузі при передачі державних стивідорних компаній (або державних портових операторів) та інших об'єктів портової інфраструктури, що перебувають на балансі Адміністрації морських портів України. Відзначено, що запровадження цієї моделі у вітчизняних морських портах потребує відповідної адаптації з врахуванням національних особливостей. Проаналізовано дії, які зроблено в рамках реформування портової галузі для наближення до реалізації такої моделі (в частині передачі державних портових операторів у концесію). Сформовано комплекс адаптаційних заходів для подальшої реалізації моделі «порт-лендлорд» у вітчизняних портах. Акцентовано увагу на тому, що перехід до такої моделі сприятиме підвищенню інвестиційної привабливості вітчизняних портів, розбудові портової інфраструктури, вплине на інноваційну складову морських підприємств, що дозволить підвищити конкурентоспроможність та оптимально використовувати їх потенціал.

Ключові слова: морський порт, ефективність, модель управління, модель «порт-лендлорд», конкурентоспроможність, морський транспорт, портова інфраструктура, розвиток.

Постановка проблеми. Найважливішою складовою функціонування та розвитку морегосподарського комплексу країни є портова діяльність, яка спрямована на найбільш повне задоволення потреб клієнтів на основі ефективного функціонування на ринку транспортних послуг.

Зазначимо, що ефективна робота морських портів вимагає системного вирішення численних проблем, обумовлених внутрішніми і зовнішніми чинниками та залежить від формування дієвої системи управління, яка відповідає міжнародним вимогам та здатна підвищити конкурентоспроможність вітчизняного морського транспорту на глобальному ринку перевезень.

Враховуючи це, та звертаючи увагу на існуючі проблеми та перешкоди розвитку вітчизняних морських портів слід вказати, що на доцільності оптимізації системи управління в галузі робиться акцент і в оновленій Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року [1].

Зважаючи на значний рівень конкуренції, який склався в цій сфері, інтеграцію вітчизняного тран-

спорту до європейської та світової транспортних систем, існує необхідність в трансформаціях існуючих підходів та моделей управління морськими портами у відповідності до міжнародних вимог, що дозволить цим об'єктам ефективно розвиватись, розбудовуючи портову інфраструктуру, та актуалізує тематику даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню питань, пов'язаних з управлінням морськими портами, формуванню теоретичних та практичних підходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування цих об'єктів в умовах жорсткої конкуренції, в тому числі і технологічних аспектів їх розвитку, присвячено праці зарубіжних та вітчизняних дослідників.

Так, питанням реформування діяльності портів в різних країнах світу, формуванню різноманітних підходів та моделей функціонування цих інфраструктурних об'єктів та оцінкам наслідків таких трансформацій приділено увагу в працях таких дослідників, як: П. Верхувен [2], П. де Ланген [3], Дж. Ліі [4], П.Марлоу [5], Т. Ноттебум [6],

Р. Робінсон [7], Г. Хараламбідес [8], Т. Хевер [9] тощо.

Слід констатувати, що міжнародні практики впровадження моделей управління портовою галуззю знайшли відображення в аналітичних звітах Конференції ООН з торгівлі та розвитку (*United Nations Conference on Trade and Development - UNCTAD*) [10]; основні такі процеси з врахуванням поточної ситуації, проблем та викликів в цій сфері, в тому числі в Україні, досліджуються в документах Світового банку (*World Bank*) [11].

Порівняльний аналіз систем управління морськими портами крізь призму вітчизняних особливостей, акцентуючись на моделі «порт-лендлорд», наведено в роботах О. Карпенко [12], О. Платонова [13], А. Селютіна [14], Є. Ключової [15], В. Шемаєва [16] та інших.

Водночас, попри досить ґрунтовні дослідження з цієї проблематики, питання щодо формування моделі розвитку вітчизняних портів не втрачають своєї актуальності та потребують більш глибокого опрацювання та розгляду під різними кутами.

Метою дослідження є дослідження сучасних підходів та розробка рекомендацій щодо формування моделі управління вітчизняними морськими портами.

Виклад основного матеріалу дослідження. Досліджуючи діяльність морських торговельних портів слід відзначити її багатоаспектність та погодитись з дослідниками, які звертають увагу на той, факт, що при аналізі управління портами у широкому сенсі доцільно використовувати такі групи параметрів як «передача повноважень; корпоративне управління; операційний профіль; функціональна автономія; функціональна активність; інвестиційна відповідальність та фінансова автономія» [2, с. 249].

Крім того, науковці справедливо відзначають, що здійснюючи управлінські функції, адміністрація сучасного порту має працювати як «компанією з розвитку...» і «...інтегратор портового співтовариства» [6, с. 110], а не лише акцентуватись на виконанні функцій з організації безпеки мореплавства та формування тарифів.

Аналізуючи світові практики та спираючись на результати досліджень, проведених Світовим банком, слід звернути увагу на класичні моделі управління морськими портами світу, які відрізняються такими характеристиками, як:

– особливості надання послуг цими інфраструктурними об'єктами, які здійснюються державними або приватними компаніями;

– орієнтація на ринки (місцевий, регіональний або міжнародний);

– власність (державна чи приватна) на інфраструктуру, землю, обладнання (рис. 1).

Відзначаючи особливості вищезначених класичних моделей, кожна з яких супроводжується певними ризиками як для держави, так і для приватного бізнесу, слід констатувати, що значна кількість портів світу використовує інтегровані моделі, які формуються шляхом поєднання типових елементів, що дозволяє підкреслити окремі переваги та нівелювати недоліки, та спрямовані на підвищення ефективності портової діяльності.

В сучасних умовах в Україні функціонують як державні підприємства, які надають стивідорні послуги, так і приватні термінали з операційними акваторіями, що свідчить про відхід від виключно моделі державних портів.

Визначаючи орієнтир на інтегрований (гібридний) характер моделі управління вітчизняними портами слід вказати, що більш прийнятним вектором для розвитку вітчизняних портів визначено управління, яке базується на превалюванні ознак моделі «порт-лендлорд», здатної поєднати як приватні, так і державні інтереси.

Такі висновки спираються на позитивні результати світових практик та запровадження цієї моделі в більшості провідних портів Європи (Роттердам, Антверпен, Рига, Констанца, Гданськ) та світу (Сінгапур, Пусан тощо), а також оцінки Світового банку [11], який вказує на її ефективність для інвесторів, портових операторів, а також територій, відзначаючи потенціал для розвитку галузі та національної економіки в цілому.

Певна увага цьому питанню приділена і на державному рівні, наприклад, у Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року [1], де надано її визначення та у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року [17], в якій містяться завдання щодо розвитку морських торговельних портів та переходу до моделі управління «порт-лендлорд». Проте, її основний зміст у вказаних документах, на жаль, так і не було розкрито.

Беручи за основу характеристики моделі «порт-лендлорд» та враховуючи особливості її формування у вітчизняних реаліях, передбачається такий розподіл функцій між державою та приватним сектором:

– Адміністрації морських портів України (АМПУ), виступаючи власником або контролюючим органом за використанням землі в межах акваторій портів, за договором (оренди або

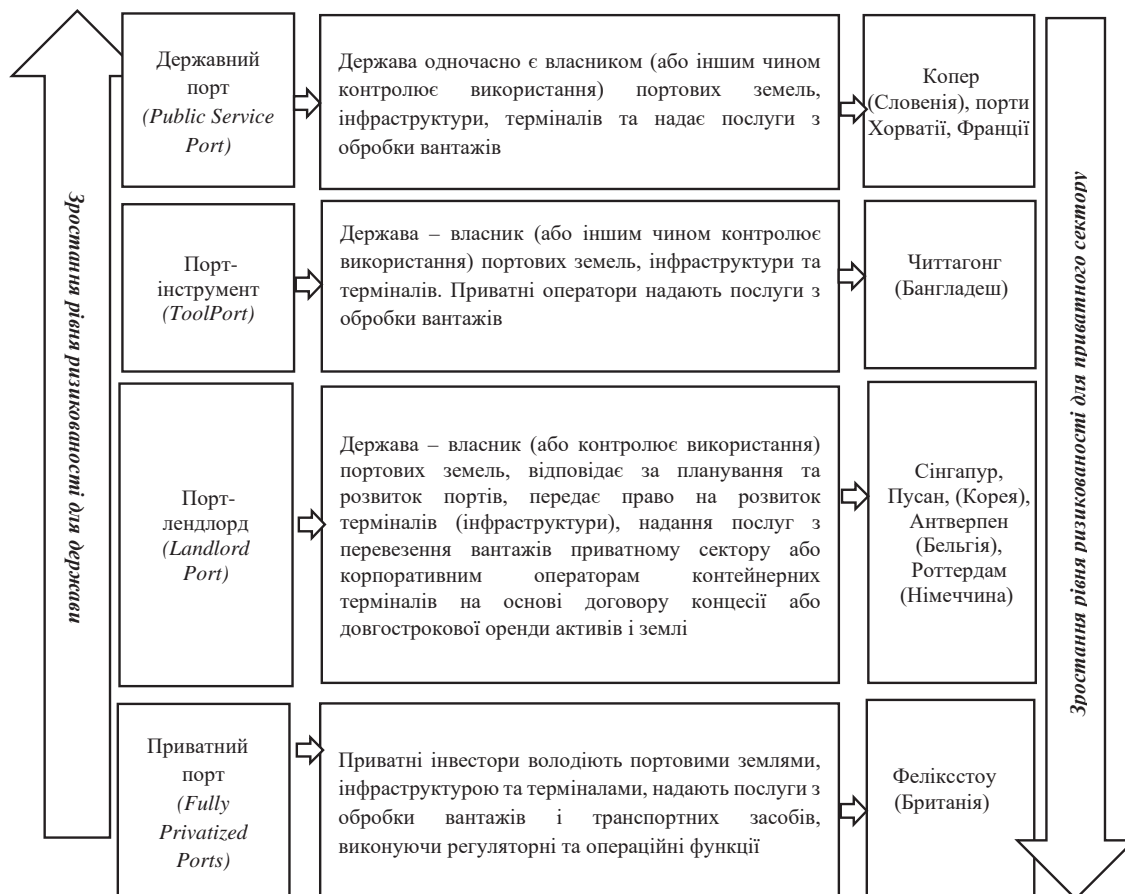


Рис. 1. Основні характеристики моделей управління портами світу

Джерело: сформовано на основі [11]

концесії) може надавати операторам право розвивати термінальні потужності та вести повноцінно свою діяльність на протязі певного періоду часу. Набуваючи прав координатора з користування портовими землями, АМКУ відповідає за планування і комплексний розвиток портів, за стратегічні об'єкти інфраструктури (доки, мости, шлюзи, причали, землі, отримуючи повноваження регулятора розбудови портової інфраструктури), а також безпеку судноплавства та навігацію в порту, організовуючи ці процеси; здійснює стимулювання міжнародної торгівлі та маркетингову діяльність;

– водночас приватні портові оператори здійснюють стивідорну діяльність за договором концесії або оренди активів чи землі з портовою адміністрацією (яка розраховує тариф на концесію, виходячи з площі земельної ділянки з урахуванням певних параметрів), отримують право протягом зазначеного в них часу оперувати збудованими об'єктами портової інфраструктури з можливістю пролонгації їх дії або повернення земельної ділянки разом із новобудовами держави;

– інші функції та процеси (буксирне супроводження, робота докерів тощо) можуть здійснюватися як портовою адміністрацією, так і інвесторами.

Ряд дослідників підкреслює значущість передачі державних стивідорних компаній (або державних портових операторів) та інших об'єктів портової інфраструктури, що перебувають на балансі АМПУ саме на основі концесійних договорів та відзначає їх ефективність для модернізації портової галузі [12, с. 44; 15, с. 121].

Безумовно, запровадження цієї моделі у вітчизняних морських портах потребує відповідної адаптації з врахуванням національних особливостей, що пов'язані, як мінімум, з такими проблемами та викликами:

– відсутність дієвого механізму управління та планування розвитку таких інфраструктурних об'єктів, який спрямований на ефективне користування територіями;

– невпорядкування земельних відносин, що ускладнює контроль за земельними ділянками (територіями) вітчизняних морських портів через їх знаходження в користуванні у різних суб'єктів;

– недостатній рівень залучення інвестицій тощо.

Зазначимо, що вітчизняні морські порти, в рамках реформування галузі, поступово роблять відповідні дії в напрямі наближення до реалізації такої моделі. Вже здійснено кроки щодо передачі державних портових операторів (стивідорів) у концесію.

Так, У 2020 р. в Україні відбулись концесійні конкурси по першим об'єктам, за результатами яких передано у концесію ДП «Херсонський морський торговельний порт» (на 30 років) та морський порт «Ольвія» (на 35 років) [18].

Продовжується робота над підготовкою концесійних проєктів в Одеському та Ізмаїльському морських портах, що, за прогнозами, сприятиме зростанню їх прибутковості, підвищенню ефективності управління портовими терміналами, покращить інвестиційну привабливість цих інфраструктурних об'єктів. Крім того, очікуються залучення додаткових інвестицій, певні технічні та технологічні зміни, пов'язані з модернізацією і розвитком інфраструктури порту, запровадженням сучасних цифрових технологій, розбудовою транспортної інфраструктури для вантажоперевезень, що позитивно вплине на логістику в регіонах.

Але слід вказати, що подальша реалізація моделі «порт-лендлорд» у вітчизняних портах потребує продовження трансформаційних процесів шляхом впровадження комплексу адаптаційних заходів, які сприятимуть досягненню очікуваних результатів. А саме:

– вдосконалення нормативно-правової бази, в тому числі в частині статусу і особливостей відведення та користування земельними ділянками у вітчизняних портах;

– надання АМПУ повноважень консолідованого контролю за ефективним користуванням портовими землями, комплексним розвитком портової інфраструктури і збалансування потужностей портових терміналів, портових залізниць та автодоріг [16, с. 27];

– проведення інвентаризації та затвердження за її результатами (на нормативному рівні) меж портових територій;

– вдосконалення організації управління АМПУ через корпоратизацію, укрупнення філій в морських портах, придбання акціонерним товариством прав на земельні ділянки;

– встановлення діалогу з власниками портових територій та укладання з ними договорів, спрямованих на розширення повноважень АМПУ та можливість використання різних інструментів з розвитку портів;

– створення Портових рад та залучення до їх діяльності (в якості постійних членів) органів місцевої влади [11];

– стимулювання морських портів до розвитку на інноваційній основі, що передбачає використання новітніх технологій, в тому числі цифрових та інтелектуальних систем.

Висновки. Існуючі підходи та моделі управління вітчизняними морськими портами потребують змін відповідно до міжнародних вимог. Зазначимо, що більш прийнятним вектором для розвитку вітчизняних портів є модель управління, яке базується на превалюванні ознак моделі «порт-лендлорд», здатної поєднати як приватні, так і державні інтереси, що передбачає відповідний розподіл функцій між АМПУ та приватними інвесторами.

При цьому значну роль для модернізації портової галузі при передачі державних стивідорних компаній (або державних портових операторів) та інших об'єктів портової інфраструктури, що перебувають на їх балансі, відіграють концесійні договори.

Зазначимо, що запровадження моделі «порт-лендлорд» у вітчизняних морських портах потребує відповідної адаптації з врахуванням національних особливостей та формування комплексу адаптаційних заходів, що сприятиме підвищенню інвестиційної привабливості вітчизняних портів, розбудові портової інфраструктури, запровадженню інновацій та підвищенню конкурентоспроможності.

Але реалізація таких заходів потребує відповідного механізму та плану дій, що складає перспективи подальших досліджень.

Список літератури:

1. Про схвалення Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.07.2013 р. № 548-р (в редакції Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.12.2020 р. № 1634-р). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/548-2013-p/print> (дата звернення 09.06.2023).
2. Verhoeven P. A review of port authority functions: towards a renaissance? *Maritime Policy & Management*. 2010, Vol. 37 (3). P. 247–270.
3. De Langen P.W. *Towards a Better Port Industry: Port Development, Management and Policy*. Routledge. 2020, 332 p.

4. Lee J.-Y. & Rodrigue J.-P. Trade reorientation and its effects on regional port systems: the Korea-China link along the Yellow Sea rim. *Growth and Change*, 2006. Vol. 37(4). P. 597–619. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-2257.2006.00342.x>.
5. Marlow P. B. & Paixao-Casaca A. C. Measuring lean ports performance. *International Journal of Transport Management*. 2003. Vol. 1(4). P. 189–202. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijtm.2003.12.002>. 10.
6. Notteboom T.E., Verhoeven P. & Fontanet M. Current practices in European ports on the awarding of seaport terminals to private operators: towards an industry good practice guide. *Maritime Policy & Management*. 2012. № 39 (1). P. 107–123.
7. Robinson R. Port-oriented landside logistics in Australian ports: a strategic framework. *Maritime Economics and Logistics*. 2006. Vol. 8(1). P. 40–59.
8. Haralambides E. Ports and Regional Development in Europe: a Historical Perspective. Rotterdam: Maritime Economics and Logistics (MEL); Erasmus University, 2008, 312 p.
9. Heaver T. D. The evolving roles of shipping lines in international logistics. *International Journal of Maritime Economics*. 2002. Vol. 4(3). P. 210–230.
10. *Review of Maritime Transport 2021*. URL: https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf. (дата звернення: 25.05.2023).
11. Вдосконалення управління портовою галуззю України. Консолідація контролю за користуванням портовими територіями та наближення до моделі управління «порт-лендлорд»: світовий досвід і перспективи реформування в українському контексті. Світовий банк. 2020. 76 с.
12. Карпенко О.О. Аналіз європейського досвіду впровадження концесійної форми державно-приватного партнерства у морських портах. *Бізнес Інформ*. 2015. № 6. С. 43–47.
13. Платонов О. І. Трансформація до моделі управління «порт-лендлорд» як запорука розвитку мульти-модальних перевезень. *Інвестиції: практика та досвід*. 2020. № 13–14. С. 97–102.
14. Селюгін А. Національна транспортна стратегія крізь призму розвитку портів. *Юридична газета online*. 2017. №48 (598). URL: <https://jur-gazeta.com/publications/practice/transportnepravo/nacionalna-transportna-strategiya-kriz-prizmu-rozvitku-portiv.html>. (дата звернення: 25.05.2023).
15. Ключева Є. Особливості адміністративно-правового забезпечення реформування системи управління морським портом в умовах інтеграції України до Євросоюзу. *Право та державне управління*. № 2(31), том 1. 2018. С. 120–124.
16. Шемаєв В.В., Шемаєва Л.М. Наближення до моделі управління порт-лендлорд: український контекст. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті: Зб. наук. праць*, 2020. № 4 (73). С. 19–30. DOI 10.31375/2226-1915-2020-4-19-30.
17. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-r#Text> (дата звернення 09.06.2023).
18. Адміністрація морських портів України. URL: <http://www.uspa.gov.ua/ru/pokazateliraboty/pokazateliraboty2017> (дата звернення 09.06.2023).

Romakh V.L. FORMATION OF THE MODEL OF MANAGEMENT OF SEA PORTS

The article noted that the most important component of the country's maritime complex is port activity. The need to change existing approaches and models of seaport management in accordance with international requirements is proven. The existing management models of the world's seaports, which differ in the features of service provision, market orientation, the form of ownership of infrastructure, land, and equipment, were studied, and their features were characterized. It has been established that a significant number of the world's ports use integrated models, which are formed by combining typical elements, which allows to emphasize their advantages and reduce negative impacts, contributing to increasing the efficiency of port operations. It is noted that a more acceptable vector for the development of domestic ports is the management model, which is based on the prevalence of features of the "port-landlord" model, capable of combining both private and state interests. Taking into account the peculiarities of its formation in domestic realities, attention is focused on the distribution of functions between the Administration of Sea Ports of Ukraine and private investors. The importance of concession agreements and their effectiveness for the modernization of the port industry during the transfer of state stevedoring companies (or state port operators) and other port infrastructure facilities, which are on the balance sheet of Administration of Sea Ports of Ukraine, is emphasized. It was noted that the introduction of this model in domestic seaports requires appropriate adaptation taking into account national characteristics. The actions taken as part of the reform of the port industry to approach the implementation of such a model (as part of the transfer of state port operators to a concession) have been analyzed. A complex of adaptation measures was formed for the further implementation of the "port-landlord" model in domestic ports. Attention is focused on the fact that the transition to such a model will contribute to increasing the investment attractiveness of domestic ports and the development of port infrastructure. will affect the innovative component of maritime enterprises, which will allow to increase competitiveness and optimal use of their potential.

Key words: seaport, efficiency, management model, "port-landlord" model, competitiveness, sea transport, port infrastructure, development.

Чуйко С.П.

Відокремлений структурний підрозділ «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

Кравченко О.П.

Державний університет «Житомирська політехніка»;
Жилінський університет в Жиліне

Прохорчук М.В.

Відокремлений структурний підрозділ «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПЕРЕВІЗНИХ ПОСЛУГ АВТОБУСАМИ НА МІСЬКИХ МАРШРУТАХ

Сучасні тенденції розвитку міського транспорту обумовлюють необхідність вдосконалення процесу надання послуг з перевезення пасажирів і мають соціальне значення. Якість транспортного обслуговування населення оцінюється цілим рядом показників і з точки зору пасажирів представляє собою ступінь задоволення вимог населення до системи пасажирського транспорту. З переходом до ринкових відносин відбуваються зміни у сфері транспортних послуг, що виражаються переорієнтацією ринку споживача.

Моніторинг автобусних міських перевезень є важливим інструментом для забезпечення і прогнозування підвищення якості послуг і важелем економічного зростання серед конкуруючих транспортних підприємств-перевізників. Відповідно, виникає потреба в пошуку та розробці варіантів вивчення якості та задоволеності пасажирів найбільш прийнятним методом, який ґрунтується на зборі їхніх думок.

Якість транспортних послуг можна оцінити за суб'єктивними заходами, що базуються на уявленнях пасажирів та об'єктивними заходами, представленими розрізненими показниками ефективності, вираженими у вигляді числових значень, які необхідно порівнювати з фіксованими стандартами або минулими показниками.

У роботі представлені результати дослідження якості перевізних послуг, які надаються міськими маршрутними автобусами у літній період. Результати опитувань свідчать, що найбільший вплив на якість надають наступні фактори: належне функціонування маршрутних автобусів, їхня комфортність, зручність та доступність, витрати за перевезення, переваги у виборі автобуса, задоволеність та безпека. Після завершення аналізу факторів встановлено, що деякі параметри якості є параметрами технологічного процесу.

Оцінка якості здійснюється за суб'єктивними проявами, що базуються на опитуванні експертами пасажирів, користувачів послуг і представленні розрізненими показниками ефективності процесу у вигляді числових значень.

Отримані результати досліджень сприятимуть до застосування нових управлінських рішень при організації роботи систем міських пасажирських перевезень, створенню якісно нових систем, здатних гнучко реагувати на умови функціонування, що постійно змінюються, та вимоги споживачів.

Ключові слова: автобусні перевезення, якість послуг, об'єктивні показники, рівень комфорту.

Постановка проблеми. Рівень розвитку транспортної інфраструктури, що забезпечує можливість вільного переміщення населення, є важливим показником якості та комфортності проживання на певній території. Близько 92% всіх пасажирських перевезень країни виконуються автомобільними транспортними засобами [1, с. 33].

Незважаючи на цілий ряд заходів, які направлені на удосконалення транспортного обслуговування населення, організація міських автобусних перевезень та якість обслуговування пасажирів

ще не повністю відповідає сучасним вимогам і впливає на різні сфери суспільного життя.

Однією з основних проблем автомобільного пасажирського транспорту слід визнати сильну зношеність та повільні темпи поновлення автобусного парку. Зростання мобільності населення у містах і передмістях при скороченні виробничих потужностей автотранспортних підприємств призводить до переповненості салонів автобусів, що досягає практично їх фізичної межі в години підвищеної пасажирської активності. Це пере-

шкоджає не тільки комфорту пасажирів, а також дотримання умов безпеки перевезень.

Крім цього, пасажирське навантаження, швидкість руху, кількість зупинок, дорожнє покриття та складність маршруту впливають на споживання палива, що є суттєвим критерієм для перевізників [2, с. 160].

Завдання визначення кількості рухомого складу, рівня комфортності, в більшості методів вирішується без повного урегулювання інтересів пасажирів. Наразі реформування міської пасажирської транспортної системи вимагає не тільки державного регулювання функціонування транспортних підприємств, але й обґрунтування методів і засобів оптимізації їх діяльності, зокрема організаційної, силами замовника перевезень та самих автопідприємств. Вирішення науково-прикладних завдань, пов'язаних з покращенням якості обслуговування пасажирів автобусами на міських маршрутах, стає актуальним в сучасних умовах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням підвищення якості надання перевізних послуг наземним громадським транспортом присвячено велику кількість наукових робіт зарубіжних і вітчизняних вчених.

З точки зору організатора міських перевезень, заходи, що сприяють якісному наданню послуг включають різні аспекти громади, серед яких є зайнятість населення, соціальна доступність, економічне зростання громади, містобудівні пріоритети діяльності та вплив на навколишнє середовище. У роботі [3] досліджено сучасний підхід до запровадження пріоритету руху маршрутних автобусів шляхом розробки трафіку щоб врахувати пріоритет проїзду перехресть. Результати вказують на значну економію часу на проїзд міських автобусів по маршруту за рахунок контролю сигналів світлофорного регулювання. Такі програми і дослідження підтверджені роботами [4, 5].

Особливу роль в якості надання транспортних послуг пасажирських автомобільних перевезень відведено стану безпеки перевезень, аварійності транспорту, недостатній комфортабельності і недостатньому контролю за якістю транспортних послуг з боку контролюючих організацій [1, с. 33].

У Європі Цюрихські трамваї набули репутацію найбільшого маршрутного пріоритету біля регульованих терміналів. Для їхнього проїзду створені умови майже нульової затримки біля світлофорів [6]. Схожий підхід місцевою владою запроваджений і у одному з самих молодих міст

Нідерландів – Ейндховені для маршрутних автобусів і електробусів на переважній більшості перехресть [7].

Багато дослідників вивчили і довели важливість пасажирського навантаження при визначенні комфорту автобуса. Наприклад, в роботах [8, 9, 10] наведені результати опитувань, які показали, якщо пасажир має менше 40% вірогідності отримання сидячого місця в салоні він відчуває себе незручно. Однак коефіцієнт використання пасажиромісткості має тенденцію змінюватися в залежності від зупинки і години поїздки, таким чином, наші експерти в рамках дослідження використовували обстеження з цифровими зображеннями.

У роботі [11] було досліджено досягнення комфортного середовища в автобусі з акцентом на тепловий комфорт та якість повітря. Аналізуючи співвідношення об'єктивних та суб'єктивних даних, були розроблені комбіновані моделі комфорту.

При оцінці якості та задоволеності пасажирів у послугах міського пасажирського транспорту найбільш прийнятним методом у ринкових умовах є соціологічний, що припускає, що оцінка якості ґрунтується на зборі думок споживачів – пасажирів [12, с. 194].

Узагальнюючи огляд останніх досліджень і публікацій, можна зробити висновок, що міська пасажирська транспортна система потребує не тільки державного регулювання функціонування транспортних підприємств, але й обґрунтування методів і засобів оптимізації їх діяльності, зокрема організаційної силами замовника перевезень та самих автопідприємств.

Основна мета дослідження – визначити фактори впливу на якість надання послуг автобусами на регулярних міських маршрутах, що сприятиме застосовуванню нових управлінських рішень при організації перевезень.

Концептуальна модель гіпотези транспортної привабливості. Починаючи з вивчення огляду літератури, європейського стандарту EN 13816:2022, а також врахування конкретної міської мережі м. Житомира, припускаємо, що якість послуг залежить від серії послуг, які надаються транспортною компанією і потребують достатню деталізацію.

Для повного підходу визначення якості надання послуг міськими маршрутними автобусами, у поєднанні з представленим комфортом, запропонована концептуальна модель узагальнюючих критеріїв, які визначають якість послуг (рис. 1).

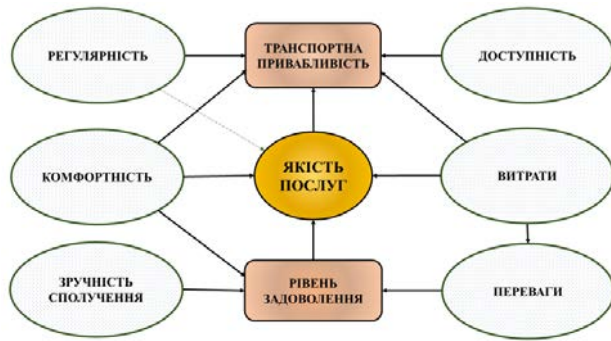


Рис. 1. Концептуальна модель визначення якості послуг

Перша найважливіша гіпотеза моделі полягає у визначенні якості послуг через рівень задоволення здійснення поїздки в якості користувача послуг. Це виражається через зручність поїздки і маршруту сполучення, регулярність і комфортність. При цьому, присутній фактор «переваги», куди входить вибір транспортного засобу, маршруту чи інших факторів, які визначають рівень задоволення здійснення поїздки. Разом з тим, перевагою вибору транспортного засобу і маршруту можуть слугувати витрати на перевезення, особливо окремих соціальних груп населення. Сюди входять фактори безпересадочної поїздки до об'єктів тяжіння, використання пільгових можливостей, електронних білетів і карток.

Вагомий фактор в якості перевезень є доступність маломобільних груп населення до міської транспортної системи, особливо маршрутних автобусів. В теорії пасажирських перевезень відсутня проста і зрозуміла система оцінки стану доступності. Це не дозволяє в повній мірі надати оцінку доступності транспортних засобів і об'єктів транспортної інфраструктури. Доступність такого фактору значно підвищує якість надання послуг. Ми припускаємо, що якість послуг позитивно впливає на транспорту привабливість, чим тягне за собою зростання задоволеності користувачів і залучення нових.

Виклад основного матеріалу. Важливим завданням для транспортних підприємств та органів влади є забезпечення якості транспортної системи міського громадського транспорту.

Природа формування ефективності, якості і безпеки маршрутного автобусного перевізного процесу у містах все ж носить протилежний характер. При підвищенні ефективності перевізного процесу найчастіше знижується якість транспортних послуг для користувачів і навпаки, при підвищенні якості ефективність перевізного процесу різко знижується через зростання витрат.

Дотримання безпеки транспортного процесу також є обмежувачем до ефективності і відіграє протилежну роль по відношенню до якості обслуговування. Це визвано тим, що при підвищенні безпеки знижується швидкість переміщення пасажирів що негативно відображається на перевізному процесі і може приводити до незадоволення користувачів.

Визначення оцінки пасажирями надання транспортних послуг автобусами у містах є важливим фактором планування і розвитку пасажирських автопідприємств. Підхід опитувального моніторингу, як критерій поведінкового наміру, сприяє визначення ефективних стратегій для задоволення транспортних потреб, утримання існуючих пасажирів і залучення нових [13].

Якість надання транспортних послуг є складною системою, яка залежить від значної кількості учасників самого процесу і причетних до цього служб та підприємств. При цьому, рівень якості маршрутних послуг характеризується рівнем якості ряду різних факторів обслуговування, які мають узагальнюючі підходи до оцінки транспортної стабільності та привабливості.

Розроблено і функціонують різноманітні підходи щодо опису і оцінки надання транспортних послуг у містах. Заходи по маршрутних міських перевезеннях можуть стосуватися точки зору пасажиря, підприємства-перевізника та організатора перевезень, який захищає інтереси громади.

Точка зору користувача послуг – пасажиря, відображає сприйняття ним надану послугу. У пасажирського автопідприємства основною метою є відображення аспектів по залученню додаткових пасажирів і зменшення собівартості перевезень.

Через неоднотипність транспортних засобів, відсутність чи несправність бортових пристроїв для отримання інформації, відсутність єдиної диспетчерської служби, заходи моніторингу транспортного процесу, для більш цінного аналізу, доцільно реалізувати з інших джерел, серед яких домінуючим є збір ручних даних спеціалізованими експертами або наглядовими структурами.

Конкретну форму збору даних вручну можна представити опитуванням пасажирського середовища, в якому загалом оцінюються якісні елементи, які важко виміряти будь-яким іншим способом.

Для оцінки якості послуг проведено дослідження на маршрутній мережі на прикладі м. Житомира на одному із напрямків, який має

сполучення спального району з центром міста і промисловою зоною. Моніторинг користувачів послуг спрямований на трудові і культурно-побутові поїздки, щоб врахувати всі умови перевезень. Опитування проводили за період з 10 по 16 червня 2021 р. Користувачі відповідали на питання анкети, структуровану на 7 запитань. В період проведення опитування експертами заповнювався додатково розділ, який включав в себе загальну інформацію – стать, вік, занятість, регулярність поїздки. Основний розділ був орієнтований на сприйняття якості надання послуг маршрутними автобусами. Користувачі висловлювали свій рівень задоволення комфортом за шкалою від 0 до 10 (0 – низька якість та 10 – найвища якість).

На визначеному напрямку пасажирів обслуговують на 2-х тролейбусних і 5-ти міських автобусних маршрутах. Організують перевізний процес муніципальне транспортне підприємство, приватні підприємства і перевізники різної форми господарювання. На маршрутах цього напрямку використовуються автобуси, які знаходяться в експлуатації від 2-х до 12 років, серед яких є сучасні низько підлогові, оснащені кондиціонером. Більше половини опитуваних здійснюють поїздку на міських автобусах щодня, до 30% – зрідка. Досить не часто, через незначну кількість пристосованих автобусів (на двох маршрутах), послугою користувались пасажиринваліди на візках. На думку опитуваних, моніторинг перевізного процесу є важливим для покращення послуг.

Одержані від експертів оцінки по опитуванню користувачів послуг обробляються з метою отримання підсумкової оцінки проблеми.

Прогнозування на основі методу експертних оцінок починалося з попереднього формулювання задач, цілей та призначення розробки прогнозу.

Узгодженість ранжування, здійсненого експертами, необхідно визначити для підтвердження правильності гіпотези про те, що експерти надають відносно точні висновки опитування, що дозволяє формувати різні угруповання в експерт-

них групах, які обумовлюються людськими чинниками, насамперед такими, як різниця поглядів.

За результатами опитування експертів складена матриця рангів (табл. 1), яка містить кількісні показники: $\sum_{i=1}^m R_i$ – сума i -го рангу в ранжуванні; $\frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m}$ – відхилення від середньої суми рангів для i -го фактору в ранжуванні $B_{\max} = \frac{\ln(I_{\max} / a)}{c \cdot \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}}$ – квадрати відхилення від середньої суми рангів ($a = \frac{I_{\max}}{c \cdot B_{\max}}$ середня сума рангів в ранжуванні).

Статистичне значення коефіцієнта конкордації перевіряється по критерію Пірсона. Для оцінки узагальненої міри узгодженості думок по всім напрямкам (факторам, параметрам) використовується коефіцієнт множинної рангової конкордації за формулою [12, с. 84]:

$$W = B'(I) = 0, \quad (1)$$

де m – кількість факторів;

n – кількість експертів;

R_m – сума значень рангів за всіма змінними в рядку;

$\frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} = b = 0/n$ – середнє арифметичне значення рангів.

За умови наявності зв'язаних рангів з урахуванням поправки формула (1) приймає вигляд:

$$W_{\Pi} = B_{\min} = a + c \cdot (I_{\min} - I_{\max})^2 \quad (2)$$

де $T_j = c \cdot \frac{(B_{\min} - B_{\max})}{(I_{\max} - I_{\min})^2}$ – поправка на зв'язані ранги.

При використуванні коефіцієнтів рангової кореляції умовно оцінюють тісноту зв'язку між ознаками, рахуючи значення коефіцієнтів 0,3 і менш, показниками слабкої тісноти зв'язку; значення більше 0,5, але менше 0,7 – показниками помірної тісноти зв'язку, а значення 0,7 і більш – показниками високої тісноти зв'язку [12, с. 84]. В проведених дослідженнях $W = 0,63$.

Значимість зв'язку між ознаками перевіряється за критерієм χ^2 , який для коефіцієнта множинної рангової кореляції розраховується за формулою

$$\chi^2 = B_3(I) \quad (3)$$

і дорівнює 17,6.

Таблиця 1

Результати експертного аналізу

Номер фактору	1	2	3	4	5	6	7
	68	96	149	122	48	107	59
$I - I_{\min}$	-24,7	3,3	56,3	29,3	-44,7	14,3	-33,7
$a = B_{\max}$	610	10,9	3169,6	858,5	1998	204,5	1135,7

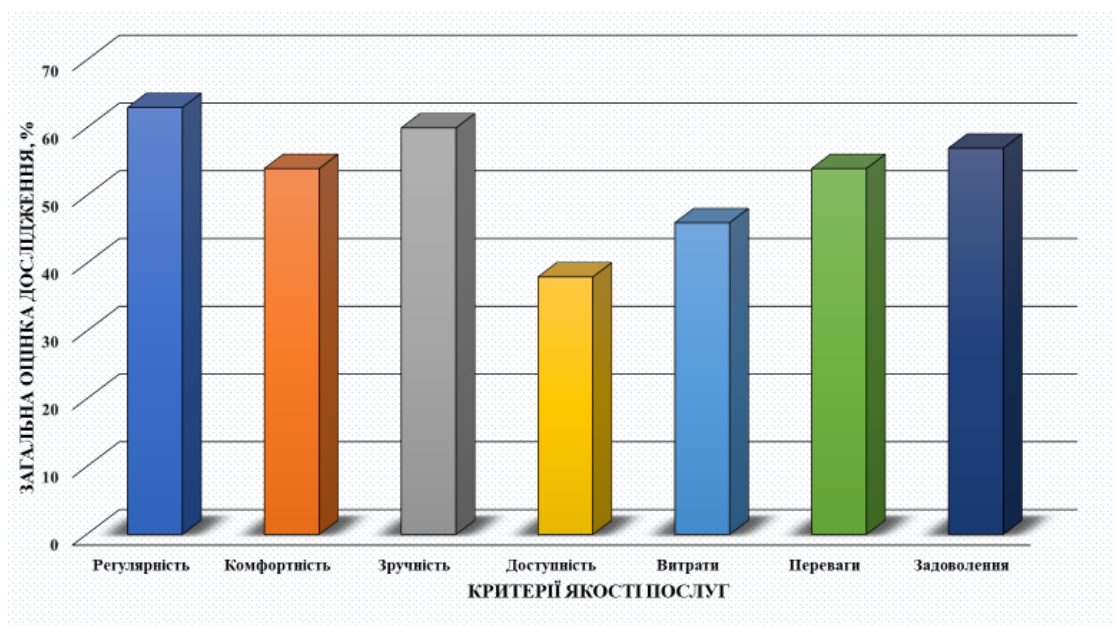


Рис. 2. Узагальнюючі оцінки критеріїв надання послуг міськими автобусами

Фактичне значення критерію χ^2 порівнюється з критичним (табличним) значенням $\chi^2(9,5)$ для $\alpha = 0,05$ і числа ступенів свободи $m = 6$. Проведені розрахунки підтверджують певну погодженість між експертами, так як $\chi^2_{\text{факт}} < \chi^2_{\text{кр}}(7)$. Якщо фактичне значення критерію χ^2 перевищує критичне, підтверджується наявність значимого зв'язку між ознаками. Це дає змогу зробити висновок про те, що отриманий коефіцієнт конкордації значущий і думка експертів не носить випадковий характер.

Виконаний аналіз дозволяє об'єктивно визначити найбільш вагоміші фактори впливу на комфортність надання послуг автобусами на міських маршрутах у літню пору року. Запропонований підхід може носити не лише регіональний характер дослідження.

На підставі отриманих даних (після аналізу опитування експертів) побудовано діаграму значущості факторів якості обслуговування пасажирів на міських автобусних маршрутах (рисунок 2).

Дотримуючись рівня задоволення пасажирів від користування транспортною послугою, можна констатувати, що користувачі вважають що якість послуг в цілому майже достатня.

Висновки. Результати дослідження припускають, що неналежний підхід до організації перевезень здійснюється без повного урегулювання інтересів пасажирів, що призводить до погіршення якості обслуговування. Запропонований підхід сприятиме пасажирським підприємствам і замовникам перевезень розробити і оптимізувати відповідну стратегію досконалості, яка базується на врахуванні інтересів усіх учасників процесу і зміцнить конкурентоспроможність перевізників.

Подяка. Дослідження виконані за підтримки проекту "Scholarships for Excellent Researchers Threatened by the Military Conflict in Ukraine", code 09103-03-V01-00129.

Список літератури:

1. Карашук В.О. Безпека перевезень, як чинник впливу на попит послуг автомобільного транспорту. V Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання»: тези доповідей, 23–24 березня 2023 року. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023. С. 33–34.
2. Кравченко О.П., Чуйко С.П. Визначення системи управління витратою палива для пасажирських підприємств, які експлуатують автобуси, обладнані кондиціонерами / Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», Вінницький НТУ, 21–23 жовтня 2019. С. 100–102.
3. Janos M., and Furth P.G. Bus Priority with Highly Interruptible Traffic Signal Control: Simulation of San Juan's Avenida Ponce de Leon. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1811, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2002, pp. 157–165.

4. Balke K., Dudek C. and Urbanik T. Development and Evaluation of an Intelligent Bus Priority" / Concept. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley, 1999.
5. Luh, J.Z. Case Studies for Simulation of Roadway and Traffic Operations Using CORSIM. ITE Journal, Vol. 71, No.7, 2001, pp. 34–40.
6. Furth P.G. Public Transport Priority for Brussels: Lessons from Zurich, Dublin, and Eindhoven, 2015. www.coe.neu.edu/transportation/publications.html.
7. Furth P.G. and Muller T.H. Conditional Bus Priority at Signalized Intersections: Better Service with Less Traffic Disruption. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1731, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2000, pp. 23–30.
8. Vovsha P., Marcelo G.S., William D. et al (2014) Statistical analysis of transit user preferences including in-vehicle crowding and service reliability. TRB 2014 annual meeting.
9. Kumar C., Basu D., Maitra B. (2004) Modeling generalized cost of travel for rural bus users: a case study. J Public Transp 7:59–72.
10. Tirachini A., Hensher D.A., Rose J.M. (2013) Crowding in public transport systems: effects on users, operation and implications for the estimation of demand. Transp Res Part A 53:36–52.
11. Shek K., Chan W.T. (2008) Combined comfort model of thermal comfort and air quality on buses in Hong Kong. Sci Total Environ 389:277–2829.
12. Вакуленко К.Є, Соколова Н.А., Воронко А.М. Щодо задоволеності організацією міських пасажирських перевезень. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Підвищення надійності машин і обладнання», 15–17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С. 194–196.
13. Lai W.T. and Chen C.F. (2011). Behavioral intentions of public transit passenger. The roles of service quality, perceived value, satisfaction and involvement. Transport Policy, 18, 318–325.

Chuiiko S.P., Kravchenko O.P., Prokhorchuk M.V. ANALYSIS OF THE EFFICIENCY INDICATORS OF DETERMINING THE QUALITY OF TRANSPORTATION SERVICES BY BUSES ON URBAN ROUTES

Modern trends in the development of urban transport determine the need to improve the process of providing passenger transportation services and have social significance. The quality of public transport service is evaluated by a number of indicators and from the passenger's point of view represents the degree of satisfaction of the population's requirements for the passenger transport system. With the transition to market relations, there are changes in the field of transport services, which are expressed by the reorientation of the consumer market.

Monitoring bus city transportation is an important tool for ensuring and forecasting the improvement of the quality of services and a lever for economic growth among competing transport enterprises. Accordingly, there is a need to find and develop options for studying the quality and satisfaction of passengers using the most appropriate method, which is based on the collection of their opinions.

The quality of transport services can be assessed by subjective measures based on passenger perceptions and objective measures represented by discrete performance indicators expressed as numerical values that must be compared to fixed standards or past performance.

The paper presents the results of a study of the quality of transportation services provided by city shuttle buses in the summer period. Survey results indicate that the following factors have the greatest impact on quality: proper functioning of shuttle buses, their comfort, convenience, and accessibility, transportation costs, advantages in choosing a bus, satisfaction, and safety. After completing the factor analysis, it was established that some quality parameters are technological process parameters.

Quality assessment is carried out according to subjective measures based on the expert survey of passengers and service users and the presentation of various process efficiency indicators in the form of numerical values.

The obtained research results will contribute to the application of new management solutions in the organization of urban passenger transport systems, and the creation of qualitatively new systems capable of flexibly responding to constantly changing operating conditions and consumer requirements.

Key words: bus transportation, quality of services, objective indicators, efficiency.

ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 681.2.08

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/44>

Осадчук Я.О.

Вінницький національний технічний університет

Осадчук О.В.

Вінницький національний технічний університет

Осадчук В.С.

Вінницький національний технічний університет

ВОЛОГОЧУТЛИВІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ НА ОСНОВІ МДН-СТРУКТУР З ЧАСТОТНИМ ВИХОДОМ

Досліджено основні параметри перетворювачів вологості з частотним виходом, конструкція яких будується на основі транзисторних структур з диференціальним від'ємним опором. В якості первинних перетворювачів вологості виступають МДН-конденсатор і МДН-польовий транзистор. Схема приладу вимірювання вологості спрощена за рахунок використання первинних перетворювачів як пасивних, так і активних елементів автогенератора.

Виходячи з принципу перетворення енергії постійного електричного поля в енергію змінного електричного поля розроблено математичні моделі приладів вимірювання вологості, що дозволило отримати функції перетворення і чутливості приладів без використання складного методу розрахунку рівнянь Кірхгофа з еквівалентних схем перетворювачів та їх розв'язку на сучасних комп'ютерах.

Основний внесок у зміну функції перетворення та чутливості вносить зміна вологості, яка змінює еквівалентну ємність і диференціальний від'ємний опір у коливальному контурі автогенераторів, що відповідно, змінює вихідну частоту вимірювальних пристроїв. Чутливість вологочутливих перетворювачів змінюється від 6,75 кГц/% до 9,18 кГц/% в діапазоні зміни вологості від 0,1% до 99,9%.

Розраховані аналітичні вирази параметричних функцій перетворення та чутливості демонструють вплив елементів первинних вимірювальних перетворювачів та елементів автогенераторних параметричних перетворювачів на вихідну частоту приладів. Вологочутливі перетворювачі з частотним вихідним сигналом не потребують аналого-цифрових перетворювачів і підсилювальних пристроїв при подальшій обробці вихідних інформаційних сигналів, що значно здешевлює інформаційно-вимірювальні прилади та системи.

Ключові слова: волога, перетворювач, частота, автогенератор, МДН-структура.

Постановка проблеми. Подальший розвиток науково-технічного прогресу вимагає стрімкого розвитку приладобудування на основі використання досягнень сучасних мікро- і нанотехнологій. Використання нових фізичних явищ і нових принципів реалізації дозволяє розробляти і створювати прилади для вимірювання вологості для різноманітних галузей промисловості. Необхідність створення такого класу приладів виникає через залежність багатьох технологічних процесів від вологості в таких галузях промислової індустрії, як металургія, енергетика, авіаційна та космічна техніка, хімічна і нафтогазова промисловість, військова техніка [1; 2; 3; 4, с. 10–54; 5; 6, с. 12–14; 7, с. 11–18; 8].

На теперішній час спостерігається високий рівень розвитку сучасних контрольно-вимірювальних приладів і систем для вимірювання вологості, що включають в себе засоби обчислювальної техніки з використанням мікропроцесорних засобів вимірювань з вбудованими цифровими блоками опрацювання і керування [1; 9; 10, с. 3–54].

Більшість існуючих перетворювачів вологості мають вихідний інформативний сигнал у вигляді напруги чи струму, що призводить до значних похибок при вимірюванні внаслідок втрат інформаційного сигналу в каналі між виходом вимірювального перетворювача і входом підсилювально-

перетворюючого пристрою апаратури, малих потужностей вихідного сигналу, їх низької завадостійкості та швидкодії [11; 12].

Усунути вище перераховані вади можливо на основі автогенераторних мікроелектронних перетворювачів, що працюють в режимі перетворення «вологість-частота», що значно покращує їх метрологічні показники [13; 14].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Одним з перспективних напрямків у створенні вологочутливих перетворювачів є дослідження реактивних властивостей напівпровідникових транзисторних конструкцій з диференційним від'ємним опором, що дозволяє створювати пристрої та системи з частотним вихідним сигналом. Мікроелектронні автогенераторні вологочутливі перетворювачі поєднують простоту і універсальність, якими володіють аналогові вимірювальні прилади, з точністю і завадостійкістю, які притаманні приладам з кодовим вихідним сигналом. Застосування принципу перетворення «волога-частота», на основі мікроелектронних автогенераторних перетворювачів суттєво зменшує собівартість комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних приладів і систем та дозволяє значною мірою зменшити масогабаритні показники розроблюваних пристроїв, а також підвищити точність та чутливість перетворення інформативного вологочутливого сигналу у частоту [15; 16; 17; 18; 19; 20, с. 84–109].

Постановка проблеми. Метою роботи є створення та дослідження вологочутливих перетворювачів на основі мікроелектронних транзисторних конструкцій, в яких вологочутливі МДН-конденсатор і МДН-транзистор виступають як первинні перетворювачі вологочутливого сигналу, так і як компоненти автогенераторів, у яких втрати енергії в коливальному контурі компенсуються енергією диференційного від'ємного опору, що дозволяє перетворювати інформативний вологочутливий сигнал у зміну вихідної частоти пристрою. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі задачі:

1) провести аналіз існуючих, на даний час, наукових джерел та обґрунтувати використання напівпровідникових мікроелектронних транзисторних схем з диференційним від'ємним опором для побудови вологочутливих перетворювачів з частотним виходом;

2) розробити математичні моделі вологочутливих перетворювачів, в яких враховано залежність параметрів автогенераторів і вологочутливих елементів від дії вологи та їх вплив на вихідну частоту перетворювачів;

3) отримати аналітичні вирази параметричної залежності функцій перетворення та чутливості від дії інформативного вологочутливого сигналу;

4) зробити висновки з проведених досліджень.

Математичні моделі вологочутливих перетворювачів.

Вологочутливий перетворювач з частотним вихідним сигналом будується на основі мікроелектронної транзисторної структури з диференційним від'ємним опором, в якій вологочутливим елементом виступає МДН-(метал-діелектрик-напівпровідник) конденсатор $C1$. На рис. 1 подано схему мікроелектронного вологочутливого перетворювача.

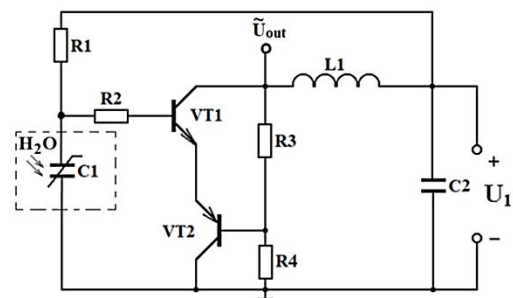


Рис. 1. Електрична схема мікроелектронного вологочутливого перетворювача

Вона складається з біполярних транзисторів $VT1$ та $VT2$ з різними типами провідності базових областей, що утворює спадну ділянку на вольт-амперній характеристиці на вихідних клеммах вологочутливого перетворювача. Спадній ділянці відповідає диференційний від'ємний опір. Живлення перетворювача здійснюється від джерела постійної напруги $U1$ через резистори $R1$ - $R4$. Конденсатор $C2$ запобігає проходженню змінного струму в джерело живлення $U1$. Коливальний контур утворений пасивною індуктивністю $L1$ та ємністю повного опору транзисторної схеми, що існує на електродах колектор-колектор біполярних транзисторів $VT1$ та $VT2$. Під час дії вологи на МДН-конденсатор $C1$ здійснюється зміна активної та реактивної складових імпедансу на електродах колектор-колектор транзисторної схеми, що викликає зміну вихідної частоти вологочутливого перетворювача. Вологочутливим первинним елементом слугує МДН-конденсаторна структура. Активним шаром такої структури є шар пористого кремнію SiO_2 , який формується анодним розчиненням кремнію в плавиковій кислоті. Розмір пор складає 2–15 нм, пористість становить від 20% до 80% вихідного матеріалу [21]. На зовнішній шар пористого кремнію напильується нанометровий шар золота, який добре пропускає молекули води, одночасно він слугує металевим електродом,

до якого приварюється омичний контакт. Другий золотий металічний контакт напилується на напівпровідник з кремнію, який є підкладкою, на якій зроблено пористу структуру SiO₂.

Загальна ємність вологочутливої МДН-структури визначається ємністю ізолюючої вологочутливого шару SiO₂, ємністю структури метал-напівпровідник, ємністю напівпровідника при нульовому значенні відносної вологості і ємностей, обумовлених захопленими поверхневими зарядами [22; 23; 24]. У нашому випадку, зміну загальної ємності вологочутливої МДН-структури від зміни відносної вологості буде визначати зміна ємності вологочутливої ізолюючої пористої структури SiO₂, яка описується формулою [25]

$$B = \log I - \log a, \quad (1)$$
 де S – площа електрода, h – товщина пористого шару, ϵ_{max} – діелектричні сталі окису кремнію, вакууму і води, відповідно, I_{max} – параметр, який характеризує ступінь пористості, S_p – площа перерізу пор, паралельна площі електрода, α – ступінь заповнення пор водою, β – відношення площі доступних до води пор до їх загальної кількості. Згідно формули (1), визначимо зміну вологочутливої ємності $B(I=0)$ від зміни відносної вологості. В загальному вигляді вона описується виразом

$$I = \dots \quad (2)$$
 Провівши диференціювання у виразі (2), отримуємо формулу

$$I = \dots \quad (3)$$

Визначимо параметричну залежність вихідної частоти перетворювача від параметрів вологочутливої МДН-ємності і параметрів автогенераторного перетворювача. Під час вирішенні цієї задачі необхідно розглянути перетворення енергії молекул води у енергію змінного електричного поля на виході перетворювача, тому визначимо коефіцієнт корисної дії вологочутливого перетворювача. Спочатку енергія молекул води перетворюється в енергію постійного електричного поля у вологочутливому конденсаторі, яка є вхідною енергією для автогенератора. В подальшому енергія постійного електричного поля у вологочутливому конденсаторі перетворюється в енергію змінного електричного поля. Ця енергія пов'язана з еквівалентною ємністю коливального контуру параметричного автогенераторного перетворювача. Коефіцієнт корисної дії вологочутливого перетворювача має вигляд

$$B_{min} = \dots \quad (4)$$

Вихідна потужність вологочутливого перетворювача описується виразом

$$c = \frac{(B_{min} - B_{max})}{(I_{min} - I_{max})^2}, \quad (5)$$

де $B_3(I)$ – еквівалентна ємність коливального контуру вологочутливого перетворювача, T – період коливань, U – вихідна змінна напруга. Вхідна потужність описується формулою

$$B_3(I_i) = B_i; \quad (6)$$

де U_{max} – постійна напруга на вологочутливій ємності МДН-структури, t – час зміни відносної вологості на вологочутливій структурі. Отже, коефіцієнт корисної дії приладу приймає вигляд

$$B_3(I) = \frac{(U_{max} - I)^2 \cdot (I - I_i) \cdot h}{(U - I)^2 \cdot (I_{min} - I) \cdot h} \cdot B_i + \dots \quad (7)$$

З формули (7) визначається m_{i+1} , яка описується виразом

$$+ \frac{(I - I_i)^2 (I - I_{i+1})}{h^2} \cdot m_{i+1}, \quad (8)$$

Також еквівалентну ємність вологочутливого перетворювача можна визначити з формули резонансної частоти автогенератора, яка має вигляд [20, с. 63; 26]

$$m_i = B'_3(I_i), \quad (9)$$

де I_i – диференційний від'ємний опір у коливальному контурі, L – індуктивність контуру. З виразу (9) отримуємо квадратне рівняння, на підставі якого визначаємо еквівалентну ємність $B_3(I_i)$,

$$\frac{(I_{i+1} - I_i)^2 h}{L} \cdot B_i = \frac{h^2}{L} \cdot B_i = B_i. \quad (10)$$

Введемо позначення

$$B_3(I_{i+1}) = \frac{(U_{max} - I_{i+1})^2 \cdot (I_{i+1} - I) \cdot h}{(U - I_{i+1})^2 \cdot (I_{min} - I) \cdot h} \cdot B_i + \dots \quad (11)$$

$$+ \frac{(U_{max} - I_{i+1})^2 (I_{i+1} - I)}{(U - I_{i+1})^2 (I_{min} - I)} \cdot m_i + \dots \quad (12)$$

$$+ \frac{(U_{max} - I_{i+1})^2 (I_{i+1} - I)}{(U - I_{i+1})^2 (I_{min} - I)} \cdot m_{i+1} + \dots \quad (13)$$

$$B_3(I_i) = \frac{-2 \cdot (U_{max} - I_i) \cdot (2 \cdot (U - I_i) + h)}{h^2} \cdot B_i + \frac{(U_{max} - I_i)^2 \cdot 2}{h^2} \cdot B_i + \dots \quad (14)$$

тоді з рівняння (10) дорівнює

$$+ \frac{-2 \cdot (U_{max} - I_i) \cdot (U - I_i) + (U_{max} - I_i)^2}{h^2} \cdot m_i + \frac{2 \cdot (U - I_i)^2 (U - I_{i+1}) + (U - I_i)^2}{h^2} \cdot m_{i+1} = \dots \quad (15)$$

Прирівнявши вираз (15) до виразу (8), отримуємо рівняння для визначення F_0 , яке має вигляд

$$= \frac{-2 \cdot h^2 + 2 \cdot h^2}{h^2} \cdot B_i + \frac{h^2}{h^2} \cdot m_i = m_i. \quad (16)$$

Підставивши значення виразів (11)–(14) у формулу (16), отримуємо рівняння

$$B'_3(I_i) = m_i. \quad (17)$$

З рівняння (17) визначаємо параметричну залежність вихідної частоти приладу від параметрів

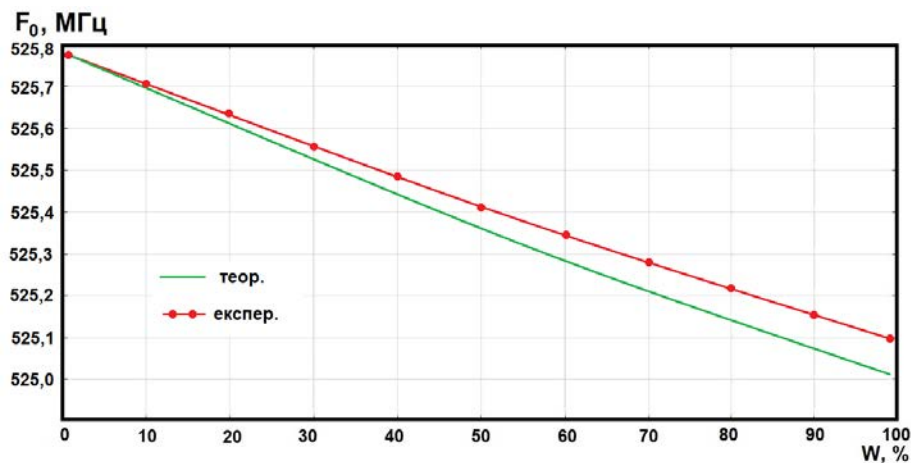


Рис. 2. Залежність функції перетворення приладу від зміни вологості

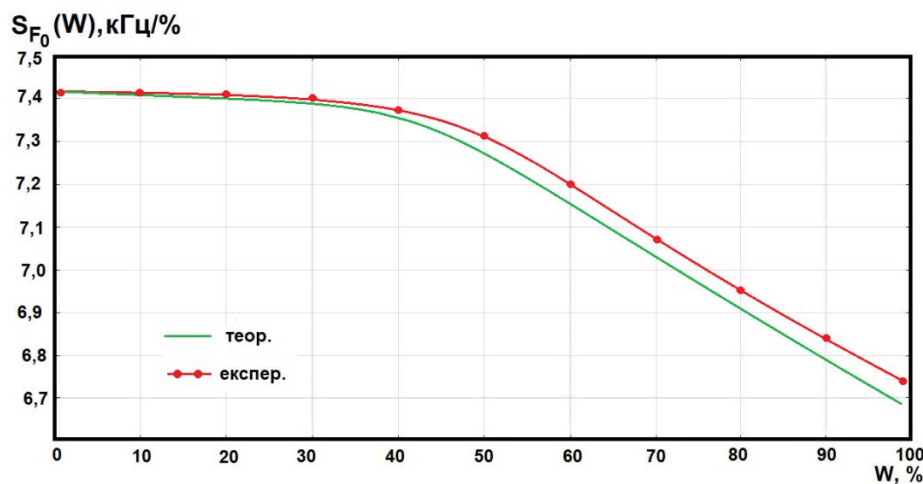


Рис. 3. Залежність функції чутливості приладу від вологості

первинного перетворювача вологи і параметрів автогенератора, де величина I є функцією перетворення вологочутливого приладу, отже

$$I = f(W) \quad (18)$$

Отримана формула (18) дозволяє досить простим шляхом визначити функцію перетворення приладу, а ніж складним шляхом з нелінійної еквівалентної схеми вологочутливого перетворювача на основі системи рівнянь Кірхгофа, які розв'язуються на комп'ютері чисельним методом.

На рис. 2 наведено графічну залежність експериментальної та розрахункової кривих параметричної функції перетворення вологочутливого приладу.

Як видно з рис. 2, при зміні вологості від 0,1% до 99,9% вихідна частота перетворювача змінювалась від 525,78 МГц до 525,10 МГц.

Чутливість приладу визначається похідною функції (18) за параметром вологості B . На

підставі експериментальних досліджень видно, що вихідна змінна напруга B_{i+1} , а також постійна напруга m_i залежать від зміни вологості, що також необхідно врахувати при визначенні чутливості вологочутливого перетворювача. На підставі цього зауваження, функція (18) приймає вигляд

$$I = f(W, B_{i+1}, m_i) \quad (19)$$

де

$$I_{\min} = I_0, \quad (20)$$

$$I_{\max} = I_N, \quad (21)$$

тоді з врахуванням (19)–(21), функція чутливості перетворювача описується формулою

$$I_{\text{чув}} = \frac{dI}{dW} \quad (22)$$

Графік чутливості перетворювача від зміни вологості подано на рис. 3.

Як видно з рис. 3, чутливість вологочутливого перетворювача складала від 6,75 кГц/% до 7,41 кГц/% в діапазоні зміни вологості від 0,1% до 99,9%.

Перейдемо до розгляду параметрів вологочутливого перетворювача на основі мікроелектронного автогенераторного приладу з використанням в якості первинного перетворювача вологості польового транзистора з індукованим каналом. Електрична схема вологочутливого перетворювача подано на рис. 4.

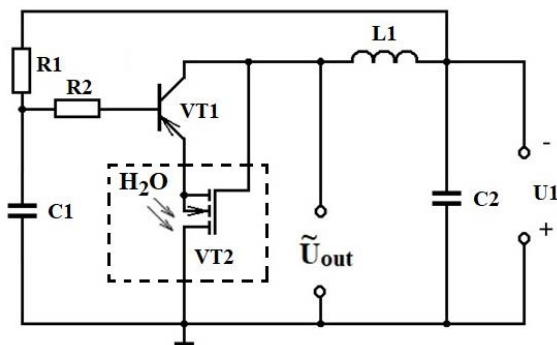


Рис. 4. Електрична схема параметричного вологочутливого перетворювача

Вона складається з біполярного транзистора VT1 та польового транзистора з вологочутливим затвором VT2, який є вологочутливим елементом. Живлення схеми з постійного струму відбувається через резистори R1 та R2 від джерела постійної напруги U1. Додатковий позитивний зворотний зв'язок у схемі здійснюється за рахунок електричного кола R2C1, що збільшує диференційний від'ємний опір на електродах колектор VT1 та стік VT2. На цих електродах існує повний опір, активна складова якого має від'ємне значення, а реактивна ємнісний характер. Підключення індуктивності L1 до колектора VT1 та верхнього виводу ємності C2 створює коливальний контур, втрати енергії в якому компенсуються енергією диференційного від'ємного опору. Конденсатор C2 запобігає проходженню змінного струму в джерело живлення U1. Резонансна частота коливального контуру вологочутливого перетворювача залежить від дії вологи на вологочутливий польовий транзистор VT2, оскільки змінюється його струм, що приводить до зміни еквівалентної ємності і від'ємного диференційного у коливальній системі автогенератора перетворювача. Зміна струму у каналі польового транзистора VT2 відбувається за рахунок зміни ємності підзатворного

вологочутливого діелектрика і зміни порогової напруги при дії вологи.

Розглянемо роботу польового вологочутливого транзистора з індукованим каналом VT2 у режимі насичення, при цьому величина струму стоку має вигляд [27, с. 305]

$$m_i = \frac{B_{i+1} - B_{i-1}}{2h}, i = 1, 2, \dots, N - 1; \quad (23)$$

де h – ширина каналу польового транзистора, B_i – рухливість електронів в напівпровідниковому матеріалі, D – ємність підзатворного вологочутливого діелектрика на одиницю площі, L – довжина каналу польового транзистора, U_i – напруга на заслоні, $[I_i; I_{i+1}]$ – порогова напруга польового транзистора утворення інверсного каналу. За врахуванням виразу (23), опір каналу вологочутливого транзистора при дії вологи описується виразом

$$R_{ch} = \frac{L}{\mu B_i (U_i - U_{th})}, \quad (24)$$

де B_i – напруга на стіці польового транзистора відносно витоку. Зміна опору каналу вологочутливого польового транзистора при дії вологи з врахуванням виразу (24) приймає вигляд

$$\Delta R_{ch} = \frac{L}{\mu} \left(\frac{1}{B_{i+1}(U_i - U_{th})} - \frac{1}{B_{i-1}(U_i - U_{th})} \right). \quad (25)$$

Виконавши диференціювання у формулі (25), отримуємо вираз

$$m_{i-1} = B'_3 (I_{i-1}) \quad (26)$$

Визначивши залежність зміни опору каналу вологочутливого транзистора VT2 від дії вологи, перейдемо до визначення параметричної залежності вихідної частоти приладу від зміни вологи. Ця залежність визначається аналогічним чином, як і для вологочутливого перетворювача з вологочутливим МДН-конденсатором, яка розглянута вище. Вхідна потужність для автогенератора визначається на основі виразів (23) і (24), отже

$$P_{in} = I_{i-1} U_i \quad (27)$$

Вихідна потужність визначається формулою (5). Таким чином, виходячи з формул (8) і (27), коефіцієнт корисної дії перетворювача дорівнює

$$Q_i(x_{i-1}) = B_{i-1}; \quad Q_i(x_i) = B_i \quad (28)$$

З рівняння (28) визначається величина еквівалентної ємності коливального контуру автогенератора, яка має вигляд

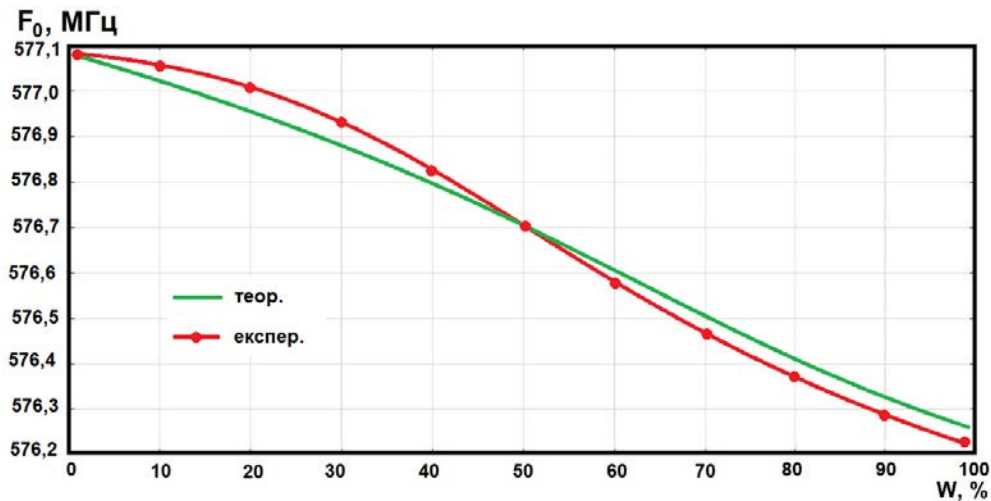


Рис. 5. Залежність функції перетворення приладу від вологості

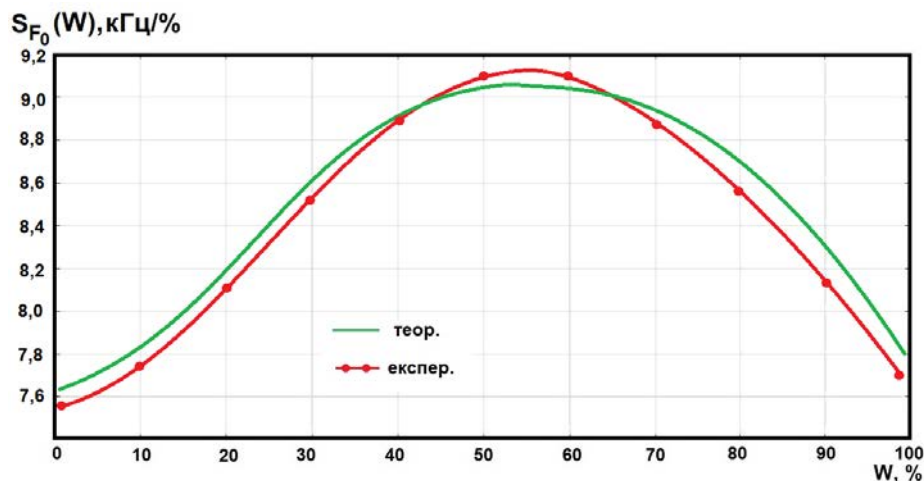


Рис. 6. Залежність функції чутливості приладу від вологи

$$Q'_1(I_{\min}) = B'_{\min}; \quad Q'_{\max}(I_{\max}) = B'_{\max} \quad (29)$$

З іншого боку, еквівалентна ємність коливального ланцюга авто-генераторного перетворювача пов'язана з вихідною частотою виразом (9). Підставивши у вираз (9) рівняння (29) та провівши необхідні математичні перетворення, ми отримуємо параметричну залежність вихідної частоти вологочутливого перетворювача від зміни параметрів вологочутливого польового транзистора та параметрів автогенератора. Ця залежність описується рівнянням

$$Q''_1(I_{\min}) = B''_{\min}; \quad Q''_{\max}(I_{\max}) = B''_{\max} \quad (30)$$

Вираз (30) є параметричною функцією перетворення вологочутливого приладу. На рис. 5 подано розрахункову та експериментальну залежність функції перетворення від дії вологи на перетворювач.

Як видно з рис. 5, вихідна частота змінюється від 577,09 МГц до 576,22 МГц при зміні вологості від 0,1 % до 99,9 %.

Функція чутливості вологочутливого перетворювача визначається на основі виразу (30), при цьому вважається, що вихідна напруга перетворювача також залежить від вологості, як і порогова напруга вологочутливого польового транзистора. З врахування цих зауважень функцію перетворення вологочутливого перетворювача можна подати у вигляді

$$Q''_1(I_{\min}) = 0 \quad \text{і} \quad Q''_{\max}(I_{\max}) = 0 \quad (31)$$

де

$$h_i = I_i - I_{i-1} \cdot , \quad (32)$$

$$Q_i(I) = B_{i-1} \frac{(I - I_i)^2 (2(I - I_{i-1}) + h_i)}{h_i^3} + m_{i-1} \frac{(I - I_i)^2 (I - I_{i-1})}{h_i^2} , \quad (33)$$

Продиференціювавши функцію, описану виразом (31), за аргументом I , отримуємо параметричну функцію чутливості, яка має вигляд

$$Q'_i(I_{i-1}) = m_{i-1}; \quad Q'_i(I_i) = m_i . \quad (34)$$

На рис. 6 подано розрахункові та експериментальні залежності функції чутливості від дії вологи на вологочутливий перетворювач

Як видно з графіка (рис. 6), чутливість вологочутливого перетворювача змінювалась від 7,58 кГц/% до 9,18 кГц/% в діапазоні зміни вологості від 0,1% до 99,9%.

Експериментальні дослідження спектрів вихідного сигналу розроблених вологочутливих перетворювачів на основі МДН-структур з частотним виходом проведено за допомогою спектроаналізатора TyniSSA Ultra. На рис. 7 представлено спектр вологочутливого перетворювача з частотним вихідним сигналом, який побудовано на основі мікроелектронної транзисторної схеми з диференційним від'ємним опором, в якій вологочутливим елементом виступає МДН-конденсатор, частота

передачі дорівнює 525,42 МГц при вологості 50% та температурі 20°C.

На рис. 8 представлено спектр вологочутливого перетворювача на основі мікроелектронного автогенераторного приладу з використанням в якості первинного перетворювача вологості польового транзистора з індукованим каналом при вологості 50% та температурі 20°C, частота передачі складає 576,70 МГц.

Висновки

1. Досліджено основні параметри перетворювачів вологості з частотним виходом, конструкція яких базується на основі транзисторних схем з диференційним від'ємним опором. В якості первинних перетворювачів вологості виступають МДН-конденсатор і МДН-польовий транзистор. Конструкція приладу вимірювання вологості спрощена за рахунок використання первинних перетворювачів як пасивних, так і активних елементів автогенератора.

2. Розроблено математичні моделі приладів вимірювання вологості на основі принципу перетворення енергії постійного електричного поля в енергію змінного електричного поля, що дозволило отримати функції перетворення та чутливості приладів без використання складного методу розрахунку рівнянь Кірхгофа з нелінійних еквівалентних схем перетворювачів та їх розв'язку чисельними методами на сучасних комп'ютерах.

3. Показано, що основний внесок у зміну функцій перетворення і чутливості вносить зміна вологості, що викликає зміну еквівалентної ємності

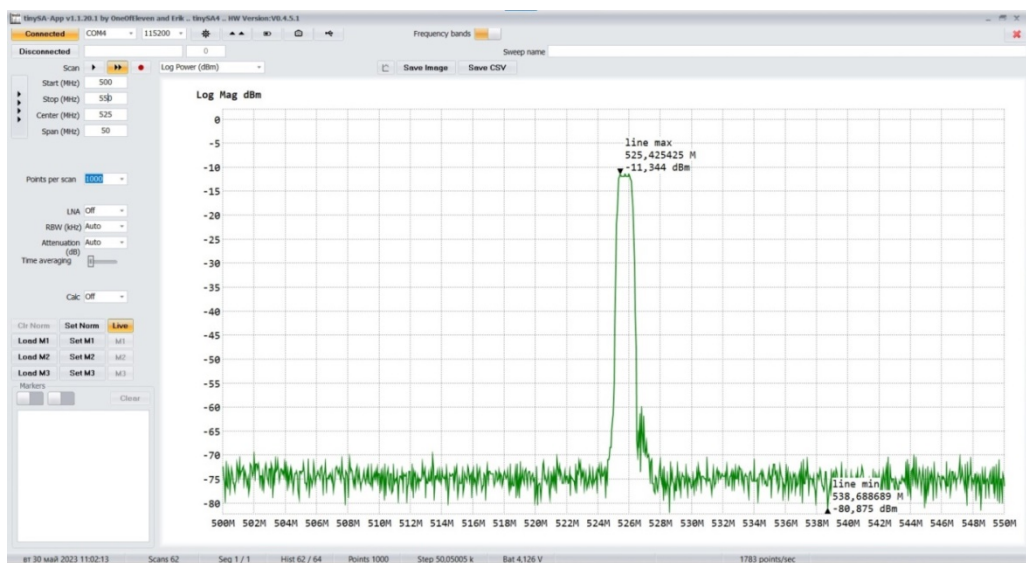


Рис. 7. Спектр вологочутливого перетворювача з частотним вихідним сигналом, який побудовано на основі мікроелектронної транзисторної схеми з диференційним від'ємним опором, в якій вологочутливим елементом виступає МДН-конденсатор при вологості 50% та температурі 20°C



Рис. 8. Спектр вологочутливого перетворювача на основі мікроелектронного автогенераторного приладу з використанням в якості первинного перетворювача вологості польового транзистора з індукованим каналом при вологості 50% та температурі 20 °C

і диференційного від'ємного опору у коливальній системі автогенераторів, що, у свою чергу, змінює вихідну частоту приладів. Чутливість вологочутливих перетворювачів змінюється від 6,75 кГц/% до 9,18 кГц/% в діапазоні зміни вологості від 0,1% до 99,9%.

4. Розраховані аналітичні вирази функцій перетворення і чутливості наочно демонструють вплив кожного елемента первинних перетво-

рювачів і елементів автогенераторів на вихідну частоту приладів. Вологочутливі прилади з частотним вихідним сигналом не потребують аналого-цифрових перетворювачів і підсилювальних пристроїв при подальшій обробці інформаційних сигналів, що здешевлює інформаційно-вимірвальну апаратуру. При роботі приладів у надвисоких частотах можлива передача інформації на відстань.

Список літератури:

1. Lei Hang, Wenquan Jin, Hyeon Sik Yoon, Yong Geun Hong and Do Hyeun Kim. Design and Implementation of a Sensor-Cloud Platform for Physical Sensor Management on CoT Environments // *Electronics*, 2018, 7, 140; P. 1–25. doi:10.3390/electronics7080140
2. Mao H., Tsuchida S., Terada T., Tsukamoto M. Estimating Scalp Moisture in a Hat Using Wearable Sensors // *Sensors*, 2023, 23(10), 4965. <https://doi.org/10.3390/s23104965>
3. Delipinar T., Shafique A., Gohar M.S., Yapici M.K. Fabrication and materials integration of flexible humidity sensors for emerging applications // *ACS Omega*, 2021, 6. P. 8744–8753.
4. Мікроелектронні сенсори фізичних величин: в 3 т. / Вуйцік Вальдемар, Готра Зенон Юрійович, Григор'єв Віталій Вікторович, Каліта Владзімеж, Мельник Олег Миронович, Потенці Єжи; за ред. З. Ю. Готри; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка», Т. 1. 2002. 475 с.
5. Zhang X. et all. Printed Carbon Nanotubes-Based Flexible Resistive Humidity Sensor. // *IEEE Sensors Journal*, 2020, vol. 20, No. 21, P. 12592–12601. doi: 10.1109/JSEN.2020.3002951.
6. Борисов О.В., Яганов П.О. Мікроелектронні сенсори на основі кремнієвих р-п переходів. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 174 с.
7. Невлюдов І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами / І.Ш. Невлюдов, О.В. Токарева. – Київ: НАУ, 2018. 200 с.
8. Chen L., Chang C., Chien L., Lee B., Shieh W. A Novel Packaging of the MEMS Gas Sensors Used for Harsh Outdoor and Human Exhale Sampling Applications // *Sensors*, 2023, 23(11):5087. <https://doi.org/10.3390/s23115087>
9. Damdam A.N., Ozay L.O., Ozcan C.K., Alzahrani A., Helabi R., Salama K.N. IoT-Enabled Electronic Nose System for Beef Quality Monitoring and Spoilage Detection // *Foods*, 2023, 12(11): 2227. <https://doi.org/10.3390/foods12112227>
10. Ambika Nagaraj. Introduction to Sensors in IoT and Cloud Computing Applications. Bangalore, India. 2021. 520 p.

11. Cloete Niel, Malekian Reza, Nai, Lakshmi. Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring // IEEE Access, 2016, 4. 1-1. 10.1109/ACCESS.2016.2592958.
12. Dei, Michele. Design of smart sensors for detection of physical quantities. Anno. 2010. 166 p.
13. V. S. Osadchuk, O. V. Osadchuk, L. V. Krylik, O. O. Seletska. Microelectronic humidity–frequency transducer with humidity-sensitive capacitive elements // Moldavian Journal of the Physical Sciences. Ghitu Institute of Electronic Engineering and Nanotechnologies. Chisinau, Moldova. 2017. Volume 16. No. 1-2. P. 94–100. <http://nano.asm.md/uploads/moldphys/2017/moldphys2017v16n12.pdf>
14. Osadchuk I.O., Osadchuk O.V., Osadchuk V.S., Krylik L.V. Self-oscillating parametric humidity sensor with frequency output signal // Informatyka, Automatyka, Pomiar w Gospodarce i Ochronie Środowiska. IAPGOS, 1/2023, 42–49 p. <http://doi.org/10.35784/iapgos.3476>
15. Осадчук О.В., Крилик Л.В., Звягін О.С., Осадчук Я.О. Математична модель мікроелектронного частотного перетворювача вологості з вологочутливим резистивним елементом // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32(71), Ч. 2, № 1. 2021. С. 175–182.
16. Osadchuk A. V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.A. Mathematical Model of the Generator on the Basis of Transistor Structure with the Negative Differential Resistance // Proceedings of the 2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering. Lviv-Slavske, Ukraine February 20-24, 2018. ISBN (IEEE): 978-1-5386-2555-2. Paper 33.
17. Osadchuk O.V., Osadchuk V.S., Osadchuk I.O., Semenov A.O., Martyniuk V.V., Prytula M.O.. Investigation of a radio-frequency temperature transducer with a thermosensitive resistive element based on a complex compound of heterometallic β -diketonate // ICEMS-BIOMED-2022 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1254 (2022) 012027. doi:10.1088/1757-899X/1254/1/012027
18. Osadchuk A.V., Osadchuk V.S. Frequency Transducers of Gas Concentration Based on Transistor Structures with Negative Differential Resistance. Chapter 12. In: Sidorenko A., Hann H. (eds) Functional nanostructures and sensors for CBRN Defense and Environmental Safety and Security. NATO Space and Security Issues Series C: Environment. Springer, Dordrecht. March 18, 2020, pp. 161–184.
19. Osadchuk O.V., Krylik L.V., Osadchuk I.A. Mathematical model of parametric humidity transducer with frequency output // Applied Issues of Mathematical Modeling. 2020. Vol. 3. No. 2.1. P. 206–215.
20. Osadchuk V.S., Osadchuk A.V. Reactive properties of transistors and transistor circuits. Vinnitsa: “Universum-Vinnitsa”, 1999. 275 p.
21. Nalimova S., Shomakhov Z., Bobkov A., Moshnikov V. Sacrificial Doping as an Approach to Controlling the Energy Properties of Adsorption Sites in Gas-Sensitive ZnO Nanowires // Micro. 2023; 3(2):591-601. <https://doi.org/10.3390/micro3020040>
22. Turkani V.S., Maddipatla D., Narakathu B.B., Saeed T.S., Obare S.O., Bazuin B.J., Atashbar M.Z. A Highly Sensitive Printed Humidity Sensor Based on a Functionalized MWCNT/HEC Composite for Flexible Electronics Application // Nanoscale Adv. 2019, No. 1, P. 2311–2322.
23. Su P-G., Hsu C-C. Flexible Humidity Sensor Based on Au Nanoparticles/Organosilica-Containing Polyelectrolyte Composite // Chemosensors. 2023; 11(5):291. <https://doi.org/10.3390/chemosensors11050291>
24. Liu H., Wang Q., Sheng W., Wang X., Zhang K., Du L., Zhou J. Humidity Sensors with Shielding Electrode Under Interdigitated Electrode // Sensors. 2019; 19(3): 659. <https://doi.org/10.3390/s19030659>
25. Tutov E.A., Bormontov E.N., Kashkarov V.M., Pavlenko M.N., Domashevskaya E.P. Influence of water vapor adsorption on the C-V characteristics of heterostructures containing porous silicon // Technical Physics. 2003. No. 1. P. 1442–1448.
26. Osadchuk A., Osadchuk V., Seletska O., Krylik L. Microelectronic Transducer Gas Concentration based on MOSFET with Active Inductive Element // Przegląd Elektrotechniczny, R. 95 No 4/2019. P. 237–241.
27. Sze S.M., Kwok K.Ng. Physics of Semiconductor Devices. Wiley-Interscience: Hoboken, USA, 2007. 763 p.

Osadchuk I.O., Osadchuk O.V., Osadchuk V.S. HUMIDITY SENSITIVE TRANSDUCERS BASED ON MOS STRUCTURES WITH FREQUENCY OUTPUT

The main parameters of humidity transducers with frequency output, the design of which is built on the basis of transistor structures with differential negative resistance, were studied. The MOS capacitor and the MOS field-effect transistor act as primary humidity transducers. The scheme of the humidity measuring device is simplified due to the use of primary transducers of both passive and active elements of the self-oscillator.

Based on the principle of converting the energy of a constant electric field into the energy of an alternating electric field, mathematical models of humidity measuring devices were developed, which made it possible to obtain the conversion functions and sensitivity of the devices without using the complex method of calculating Kirchhoff equations from equivalent circuits of transducers and solving them on modern computers.

The main contribution to the change in the conversion function and sensitivity is made by the change in humidity, which changes the equivalent capacity and differential negative resistance in the oscillating circuit of the self-oscillator, which, accordingly, changes the output frequency of the measuring devices. The sensitivity of humidity-sensitive transducers varies from 6.75 kHz/% to 9.18 kHz/% in the range of humidity changes from 0.1% to 99.9%.

The calculated analytical expressions of the parametric conversion and sensitivity functions demonstrate the influence of the elements of the primary measuring transducers and the elements of self-oscillator parametric transducers on the output frequency of the devices. Humidity-sensitive transducers with a frequency output signal do not require analog-to-digital transducers and amplifiers for further processing of output information signals, which significantly reduces the cost of information-measuring devices and systems.

Key words: *humidity, transducer, frequency, self-oscillator, MOS-structure.*

Відомості про авторів

Абрамова А.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Андриянова М.В. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Баландіна Н.М. – старший викладач кафедри кібербезпеки Національного університету «Одеська юридична академія»

Бараненко Ю.В. – магістр кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

Богдан Г.А. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бондаренко С.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бондарчук О.Ю. – аспірант кафедри хімічної технології кераміки та скла хіміко-технологічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Василенко В.М. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки факультету наземних споруд і аеродромів Національного авіаційного університету

Василенко І.В. – кандидат економічних наук, доцент кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Василькевич О.І. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри органічної хімії та технології органічних речовин Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Волошин В.С. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Національного університету водного господарства та природокористування

Гейко О.О. – аспірант 1 курсу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Глушко А.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри зварювання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Глущенко М.О. – аспірант кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Головенко В.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Гомеля М.Д. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Грушецький В.О. – студент кафедри технології пластичних мас і біологічно активних полімерів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Гуйда О.Г. – кандидат наук з державного управління, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Денисенко А.М. – аспірант кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Дерман В.А. – аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління Національного університету харчових технологій

Дичко А.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Дрозд О.В. – кандидат технічних наук, доцент, декан енерготехнічного факультету Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

Свтушенко О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та екоменеджменту Національного університету харчових технологій

Сремєєв І.С. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Жеребець О.М. – начальник відділу Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Завгородній В.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

Завгородній В.В. – доктор технічних наук, професор, доцент кафедри інформаційних систем і технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Завгородня Г.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

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 управління в транспортній галузі Дунайського інституту Національного університету «Одеська морська академія»

Карпенко М.І. – аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління Національного університету харчових технологій

Квочка М.Ю. – студент 4-го курсу КБ1911 групи кафедри електронних обчислювальних машин Українського державного університету науки і технологій

Кисельов В.Б. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Козарь І.О. – аспірант кафедри телекомунікаційних систем та мереж Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Кондратець В.О. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

Корчинський В.М. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри телекомунікаційних систем та мереж Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Кравченко С.О. – кандидат технічних наук, в.о. директора ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Кравченко О.П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій Державного університету «Житомирська політехніка»; професор кафедри транспорту та підйомно-транспортної техніки Жилінського університету в Жиліні (Словаччина)

Кругляк Г.В. – аспірант Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Куликовська Н.А. – старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

Кунда Н.Т. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Кучма О.С. – аспірант кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Лебедев В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології пластичних мас і біологічно активних полімерів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Левківський В.Л. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

Лінькова О.В. – магістр кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

Макаренко І.М. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

Маляренко Д.Л. – аспірант кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

Марченко В.А. – магістр кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

Марчук Г.В. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

Марчук Д.К. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

Мацуй А.М. – доктор технічних наук, професор, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

Мінасва Ю.Ю. – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Мірошниченко Д.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Мовчан К.О. – старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Мовчанюк О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мокієнко А.В. – доктор медичних наук, старший науковий співробітник, науковий керівник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мошенський А.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій, штучного інтелекту і кібербезпеки Національного технічного університету харчових технологій

Муковоз В.С. – магістрант кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»

Наритник Т.М. – кандидат технічних наук, професор, директор Інституту електроніки та зв'язку Української академії наук

Огійчук О.В. – магістр факультету транспортних та інформаційних технологій Національного транспортного університету

Олещенко Л.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Омелянюк А.А. – студент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Національного університету водного господарства та природокористування

Омецинська Н.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Осадчук В.С. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету

Осадчук О.В. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету

Осадчук Я.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету

Пантелєєва І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики, електротехніки і електроенергетики Української інженерно-педагогічної академії

Пахомова В.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Українського державного університету науки і технологій

Пилипенко Т.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Поліщук С.М. – начальник відділу Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

Приплюцький С.І. – головний економіст техніко-економічного відділу ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Прокоп Ю.В. – кандидат історичних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного університету «Одеська політехніка»

Прохорчук М.В. – викладач 2-ї кваліфікаційної категорії циклової комісії Транспортні технології (на автомобільному транспорті) Відокремленого структурного підрозділу «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

Пуцик М.С. – студент кафедри комп'ютерних технологій дизайну і графіки факультету наземних споруд і аеродромів Національного авіаційного університету

Ремез Н.С. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри геоінженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Романюк Є.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки Київського національного університету технологій та дизайну

Ромах В.Л. – старший викладач кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

Ромащук О.М. – аспірант 4-го року навчання кафедри інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій

Руденко В.В. – студент групи КНТ-612м кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

Сайко В.Г. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладних інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Сікора О.В. – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Сірик А.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри екології та екоменеджменту Національного університету харчових технологій

Соломаха А.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Спасьонова Л.М. – кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімічної технології кераміки та скла хіміко-технологічного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

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

Стринада П.С. – магістрант науковець, аспірант кафедри теплової та альтернативної енергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Твердохліб М.М. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тіменко А.В. – старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

Толстопалова Н.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Трофименко О.Г. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

Трус І.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Туркіна О.В. – начальник техніко-економічного відділу ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Федотова М.О. – кандидат технічних наук, асистент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

Хлебніков М.В. – магістр групи КН-22М-1 кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Центральноукраїнського національного технічного університету

Чаплянко С.В. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, вчений секретар ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Чеботарьов А.М. – головний інженер проекту ДП «Державний інститут по проектуванню підприємств коксохімічної промисловості»

Чепурна О.Є. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри кібербезпеки Національного університету «Одеська юридична академія»

Черьопкіна Р.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Чуйко С.П. – доктор філософії з автомобільного транспорту, викладач-методист, викладач вищої категорії, голова циклової комісії Транспортні технології (на автомобільному транспорті) Відокремленого структурного підрозділу «Житомирський автомобільно-дорожній фаховий коледж Національного транспортного університету»

Шкарупило В.В. – кандидат технічних наук, доцент Національного університету біоресурсів і природокористування України

Шматько Н.М. – доктор економічних наук, професор, професор кафедри менеджменту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Яременко В.Ю. – студент факультету транспорту, менеджменту та логістики Національного авіаційного університету

Яровий О.В. – начальник навчального відділу Інституту спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ярошевич М.В. – аспірантка кафедри теплової та альтернативної енергетики 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 34 (73) № 4 2023

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. 27,66. Ум. друк. арк. 33,25. Зам. № 0823/531

Підписано до друку 30.08.2023. 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.