

**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 31 (70) № 5 2020



Видавничий дім
«Гельветика»
2020

Головний редактор:

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

Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського
(протокол № 3 від 28.10.2020 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, 2020

ЗМІСТ

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

Василишин В.Я.

ГРАФОАНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНОЇ ФОРМИ.....1

МАШИНОЗНАВСТВО

Велит І.А., Скиба М.М., Дорохін Р.В., Луняк В.О.

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ НА СІМЕЙНІЙ МОЛОЧНІЙ ФЕРМІ
З ВИКОРИСТАННЯМ КОРМОРОЗДАВАЧІВ-ЗМІШУВАЧІВ.....7

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Залюбовський М.Г., Панасюк І.В., Малишев В.В.

СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ШЕСТИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ
ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ (ЧАСТИНА 1: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ МАШИНИ
НА ХОЛОСТОМУ ХОДІ)..... 13

**Пилипенко С.С., Потапенков О.П., Тарасов В.К.,
Воденнікова О.С., Воденнікова Л.В., Бабошко Д.Ю.**

БАГАТОСТУПЕНЕВИЙ РЕДУКТОРНО-МУЛЬТИПЛІКАТОРНИЙ
ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРИВІД МАШИН.....19

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

Колесниченко С.Ф., Рагулін С.В., Шарабайко А.Н.

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ САМОЛЕТОМ
ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ ПО МИНИМАКСНОМУ КРИТЕРІЮ..... 24

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Бугайов М.В.

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РАДІОСИГНАЛІВ OFDM-МОДЕМІВ
КОРОТКОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ В ІНТЕРЕСАХ РАДІОМОНІТОРИНГУ..... 30

Максимюк Т.А., Шубин Б.П., Мисаковець Д.О., Андрущак В.С., Думич С.С.

МЕТОД АДАПТИВНОГО ЛОГІЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ МЕРЕЖІ 5G
НА ОСНОВІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ..... 36

Ольшевський С.В., Танасійчук Я.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФЕКТУ В РЕЗОНАТОРНІЙ СИСТЕМІ МАГНЕТРОНА
НА ПАРАМЕТРИ ЙОГО НВЧ-ПОЛІА.....43

Явісія В.С., Лисенко О.І., Новіков В.І., Кисельов В.Б., Гуйда О.Н.

СИСТЕМНИЙ ТЕХНІКО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
ГЛОБАЛЬНОГО НАНОСУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ..... 49

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Євсєєв В.В., Максимова С.С.

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РОЗРОБКОЮ КІБЕРФІЗИЧНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ... 57

Yerastova V.V., Oleshchenko L.M., Yurchyshyn V.Ya.

FORECASTING SOFTWARE MARKET PRICE USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK... 64

Карпович І.М., Гладка О.М., Наконечна Ю.А.

АНАЛІЗ РИЗИКІВ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ІТ-ПІДПРИЄМСТВА..... 69

Кірсанов В.В., Рибальченко М.О., Шибакінський В.І., Михайловський М.В. ОПТИМІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНОЇ АСР ДЕЯКИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННИХ КОТЛІВ.....	75
Корнага Я.І., Герасименко О.Ю., Базака Ю.А., Базалій М.Ю., Мухін О.В. ВИКОРИСТАННЯ БАЗ ДАНИХ ТА МОВ ПРОГРАМУВАННЯ У ВИСОКОТОЧНИХ ОБЧИСЛЕННЯХ ЧИСЕЛ ІЗ ПЛАВАЮЧОЮ ТОЧКОЮ ВЕЛИКОЇ РОЗРЯДНОСТІ.....	82
Мельник О.Г., Мельник Р.П. ПРОСКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПОЖЕЖНОЮ БЕЗПЕКОЮ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ.....	88
Паулін О.М., Комлева Г.О., Улізко Г.В. РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОПОМОГИ У ВИВЧЕННІ МУЗИЧНИХ ТВОРІВ.....	94
Повхан І.Ф. МОДЕЛІ ДЕРЕВ КЛАСИФІКАЦІЇ ПАВОДКОВИХ ЯВИЩ РІЧКИ УЖ ЗАКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ.....	100
Сікора О.В., Вдовичин Т.Я., Когут У.П. СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В ПЕДАГОГІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ.....	107
Suhoniak I.I., Yefimenko A.A., Marchuk G.V., Feschenko D.I. DECISION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT FOR BLOCKING UNWANTED CONTENT BY NEURAL NETWORKS.....	114
Терейковская Л.А., Терейковский И.А. ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ.....	124
Хорошевська І.О., Цема Є.І. ЕТАПИ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ ДИЗАЙН-КОНЦЕПТУ ЕТИКЕТКИ АЛКОГОЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ.....	129
Чирін Д.А., Іродов В.Ф. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ВІД СОНЯЧНИХ ПЛІВКОВИХ КОЛЕКТОРІВ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ.....	135
Шілінг А.Ю. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОПРАЦЮВАННЯ ОСВІТНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ АБИТУРІЄНТІВ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ В ХОДІ ВСТУПНОЇ КАМПАНІЇ.....	140
Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В. ОЦІНЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СКЛАДНОСТІ ЗАДАЧІ ФОРМАЛЬНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ, ВИРШУВАНОЇ МЕТОДОМ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ.....	147
ЕНЕРГЕТИКА	
Усенко А.Ю., Федоров С.С., Форись С.М., Перерва В.Я., Губинський М.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕЦЕВОЇ СИРОВИНИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ У ЗВАЖЕНОМУ ШАРІ.....	152
РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН	
Малашкевич Д.С., Петльований М.В., Сай К.С., Козій Є.С. КІЛЬКІСНО-ЯКІСНА ОЦІНКА ЗАПАСІВ ВУГІЛЛЯ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЇХ СЕЛЕКТИВНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ.....	158

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Майзеліс А.О., Артеменко В.М.**
ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІПІАНДНОЇ СИСТЕМИ
ДЛЯ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ СПЛАВУ ЦИНК-ОЛОВО.....167
- Смирнова О.Л., Пилипенко А.И.**
АНОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ СПЛАВА Ti_6Al_4V В РАСТВОРАХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ..... 173

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

- Воєвода Н.В., Шинкарук М.В., Панасенко М.М.**
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ СОРТІВ ВИНОГРАДУ У ВИРОБНИЦТВІ ВИН
В УМОВАХ ФЕРМЕРСЬКОГО (СЕЛЯНСЬКОГО) ГОСПОДАРСТВА «КУРІНЬ».....178
- Liubych V.V., Tretiakova S.O., Melnik D.S.**
OPTIMIZATION OF GROATS PRODUCTION AT PROCESSING OF SPELT GRAIN.....184

ТРАНСПОРТ

- Баранов І.О., Пшикун В.В., Мішуков Є.О.**
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ
НА МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ МАРШРУТАХ..... 189
- Єгольников О.О.**
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ І МОНИТОРИНГУ
ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ НА ОБ'ЄКТАХ ЗАЛІЗНИЧНО-ВОДНОГО СПОЛУЧЕННЯ..... 195
- Іванченко О.В., Бойков І.В.**
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧИХ ФАКТОРІВ
НА СЕРЕДНІЙ ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ..... 202
- Козьмініх М.А., Василець Д.І.**
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ПОВІТРООХОЛДЖУВАЧІВ
СУДНОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК..... 208
- Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Прокудін О.Г., Хоботня Т.Г., Ремех І.О.**
РОЗВ'ЯЗАННЯ МЕРЕЖЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ У СЕРЕДОВИЩІ EXCEL..... 214
- Рой М.П.**
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ІНТЕГРОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ
ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.....220
- Тимченко Н.М., Кузьменко О.Ю.**
ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЧНИХ ОРІЄНТИРІВ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....228
- Український Є.О., Українська Т.А., Ганжесв Д.І.**
ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ
ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В УМОВАХ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА..... 234
- Хаврук В.О.**
АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
І СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ОБОВ'ЯЗКОВОГО
ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УКРАЇНІ.....239
- Шапенко Є.М., Гульчак О.Д., Білановська Л.П.**
ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНОСТІ РОБОТИ ВОДІЇВ
НА МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ МАРШРУТАХ..... 248
- Шевчук Д.О., Мединський Д.В.**
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ЗБІЙНИХ СИТУАЦІЙ В АЕРОПОРТУ.....254

ГЕОДЕЗІЯ

В'яткін Р.С.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ОБ'ЄКТІВ
ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ РЕГІОНІВ..... 261

Музика Н.М., Маланчук М.С.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ МЕХАНІЗМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ 3D-КАДАСТРУ В УКРАЇНІ.....267

Савчук Л.В., Доскіч С.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТІВ І КОМПЛЕКСІВ У БАСЕЙНІ Р. ВІСЛА.....273

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....279

CONTENTS

APPLIED GEOMETRY, ENGINEERING GRAPHICS AND ERGONOMICS

Vasylyshyn V.Ia.

GRAPHO-ANALYTICAL MODELING OF ARCHITECTURAL SURFACES OF COMPLEX FORM.....1

MACHINE SCIENCE

Velyt I.A., Skyba M.M., Dorohin R.V., Lunyak V.O.

EFFICIENCY OF THE MECHANIZATION PREPARATION OF FEED
ON A FAMILY DAIRY FARM USING FEEDERS-MIXERS7

INDUSTRIAL ENGINEERING

Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V.

POWER STUDY OF THE SPATIAL SIX-LINK MACHINE FOR PROCESSING PARTS
(PART 1: STUDY WHEN THE MACHINE IS IDLE)13

Pilipenko S.S., Potapenkov A.P., Tarasov V.K., Vodennikova O.S., Vodennikova L.V., Babochko D.Yu.

MULTILEGARY REDUCER-MULTIPLICATOR HYDRAULIC MACHINE DRIVE.....19

AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

Kolesnychenko S.F., Rahulin S.V., Sharabaiko A.N.

AIRCRAFT CONTROL OPTIMIZATION DURING LANDING APPROACH ACCORDING
TO THE MINIMAX CRITERION.....24

RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

Buhaiov M.V.

ANALYSIS OF HIGH FREQUENCY OFDM MODEMS SIGNALS
IN INTEREST OF RADIOMONITORING30

Maksymiuk T.A., Shubyn B.P., Mysakovets D.O., Andrushchak V.S., Dumych S.S.

DEEP LEARNING BASED METHOD FOR ADAPTIVE NETWORK SLICING IN 5G.....36

Olshevskiy S.V., Tanasiichuk Ya.V.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DEFECT IN THE MAGNETRON
RESONATORY SYSTEM ON THE PARAMETERS OF IT'S MICROWAVE FIELD43

Yavisya V.S., Lysenko O.I., Novikov V.I., Kyselov V.B., Guida O.H.

SYSTEM TECHNICAL-ECOLOGICAL-ECONOMIC APPROACH
TO ENSURING GLOBAL NANOS-SATELLITE COMMUNICATION AND NAVIGATION49

INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

Yevsieiev V.V., Maksymova S.S.

CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS DEVELOPMENT
CONTROL PROCESS TECHNOLOGY57

Yerastova V.V., Oleshchenko L.M., Yurchyshyn V.Ya.

FORECASTING SOFTWARE MARKET PRICE USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK... 64

Karpovych I.M., Hladka O.M., Nakonechna Yu.A.

ANALYSIS OF SECURITY RISKS OF THE INFORMATION SYSTEM AT AN IT-ENTERPRISE.....69

Kirsanov V.V., Rybalchenko M.O., Shybakinskyi V.I., Mykhailovskyi M.V.

OPTIMIZATION OF THE COMBINED AUTOMATIC CONTROL SYSTEM
OF SOME PARAMETERS OF DRUM BOILERS75

Kornaha Ya.I., Herasymenko O.Yu., Bazaka Yu.A., Bazalii M.Yu., Mukhin O.V. USING OF DATABASES AND PROGRAMMING LANGUAGES IN HIGH-PRECISION CALCULATIONS OF FLOATING-POINT NUMBERS	82
Melnyk O.G., Melnyk R.P. DESIGN OF CIVIL PROTECTION MEANS FOR MANAGEMENT OF FIRE SAFETY OF HOUSING FUND.....	88
Paulin O.M., Komleva H.O., Ulizko H.V. RECOMMENDATION SYSTEM FOR ASSISTANCE IN THE STUDY OF MUSICAL WORKS.....	94
Povkhan I.F. MODELS OF TREES FOR CLASSIFICATION OF FLOOD EVENTS OF THE UZH RIVER IN THE TRANSCARPATHIAN REGION	100
Sikora O.V., Vdovychyn T.Ya., Kohut U.P. SYSTEM OF COMPUTER SUPPORT OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE PEDAGOGICAL UNIVERSITY	107
Suhoniak I.I., Yefimenko A.A., Marchuk G.V., Feschenko D.I. DECISION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT FOR BLOCKING UNWANTED CONTENT BY NEURAL NETWORKS.....	114
Tereikovska L.A., Tereikovskiy I.A. APPLICATION OF CONVENTIONAL NEURAL NETWORK FOR ANALYSIS OF BIOMETRIC PARAMETERS	124
Khoroshevska I.O., Tsema E.I. STAGES OF THE METHOD OF CREATING A WEB-APPLICATION FOR IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF CHOOSING THE DESIGN CONCEPT OF ALCOHOL LABEL	129
Chirin D.A., Irodov V.F. MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF HEAT SUPPLY SYSTEM FROM SOLAR FILM COLLECTORS WITH HEAT PUMP.....	135
Shilinh A.Yu. IMPROVEMENT OF EDUCATIONAL INFORMATION PROCESSING TECHNOLOGY FOR ENTRANTS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION DURING THE ENTRY CAMPAIGN	140
Shkarupylo V.V., Chemerys O.A., Dusheba V.V. FORMAL VERIFICATION PROBLEM SOLVED WITH THE MODEL CHECKING METHOD SPATIAL COMPLEXITY ESTIMATION	147
POWER ENGINEERING	
Usenko A.Yu., Fedorov S.S., Foris S.M., Pererva V. Ya., Hubynskiy M.V. INVESTIGATION OF HEAT TREATMENT OF BIOMASS DERIVED CARBON MATERIALS IN SUSPENDED FLOW.....	152
RESOURCE DEVELOPMENT	
Malashkevych D.S., Petlovanyi M.V., Sai K.S., Kozii Ye.S. QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ASSESSMENT OF COAL RESERVES AS AN IMPORTANT STAGE THEIR SELECTIVE MINING JUSTIFICATION	158
CHEMICAL TECHNOLOGY	
Maizelis A.O., Artemenko V.M. APPLICATION OF POLYLIGAND SYSTEM FOR ELECTRODEPOSITION OF ZINC-TIN ALLOY.....	167

Smirnova O.L., Pylypenko O.I. ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF THE Ti_6Al_4V ALLOY IN THE SOLUTIONS OF CARBOXYLIC ACIDS	173
--	-----

TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

Voievoda N.V., Shinkaruk M.V., Panasenko M.M. PROSPECTS OF USE OF GRAPE NEW VARIETIES IN WINE PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF FARM (AGRICULTURAL) HOUSEHOLD “KURIN”	178
--	-----

Liubych V.V., Tretiakova S.O., Melnik D.S. OPTIMIZATION OF GROATS PRODUCTION AT PROCESSING OF SPELT GRAIN.....	184
--	-----

TRANSPORT

Baranov I.O., Pshikun V.V., Mishukov Ye.O. IMPROVING EFFICIENCY OF TRANSPORTATION PROCESS MANAGEMENT ON CITY BUS ROUTES	189
--	-----

Yeholnikov O.O. FEATURES OF TECHNICAL MAINTENANCE, DIAGNOSTICS AND MONITORING OF AUTOMATION EQUIPMENT AT RAILWAY AND WATER COMMUNICATION FACILITIES	195
---	-----

Ivanchenko O.V., Boikov I.V. RESEARCH OF THE INFLUENCE OF REPAIR AND MAINTENANCE FACTORS ON THE MIDDLE TIME OF RESTORATION OF VEHICLES	202
---	-----

Kozminykh M.A., Vasylets D.I. DETERMINATION OF THE OPTIMAL MODE OF OPERATION AIR COOLERS FOR SHIP REFRIGERATION UNITS.....	208
---	-----

Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Prokudin O.G., Khabotnia T.G., Remekh I.O. SOLVING NETWORK TRANSPORT PROBLEMS IN THE EXCEL ENVIRONMENT	214
---	-----

Roi M.P. METHOD OF OPTIMIZATION OF THE INTEGRATED TRANSPORT PROCESS OF CARGO ROAD TRANSPORTATION	220
---	-----

Tymchenko N.M., Kuzmenko O.Yu. FORMATION OF STRATEGIC GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF LOGISTICS INFRASTRUCTURE OF TRANSPORT ENTERPRISES	228
--	-----

Ukrainskyi Ye.O., Ukrainka T.A., Ganzheev D.I. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF TRAFFIC FLOWS IN THE CONDITIONS OF THE CITY'S ROAD NETWORK.....	234
--	-----

Khavruk V.O. ANALYSIS OF THE SAFETY OF MOTOR VEHICLES AND THE CURRENT STATE OF THE MANDATORY TECHNICAL CONTROL OF MOTOR VEHICLES IN UKRAINE	239
--	-----

Shapenko Ye.M., Hulchak O.D., Bilanovska L.P. RESEARCH OF METHODS OF EVALUATION OF DRIVERS' TENSION ON CITY BUS ROUTES.....	248
---	-----

Shevchuk D.O., Medynskyi D.V. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CAUSE OF FAILURE SITUATIONS AT THE AIRPORT.....	254
---	-----

GEODESY

Viatkin R.S. GEOINFORMATION SUPPORT OF MONITORING OF LAND USE OF OBJECTS OF NATURE RESERVE FUND OF REGIONS.....	261
--	-----

Muzyka N.M., Malanchuk M.S. THE THEORETICAL AND PRACTICAL MECHANISMS OF THE 3D-CADASTRE FUNCTIONING IN UKRAINE	267
Savchuk L.V., Doskich S.V. RESEARCH OF THE AQUIFERS AND COMPLEXES CONDITIONS IN THE VISLA BASIN	273
INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	279

ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

УДК 72.021.5

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/01>

Василишин В.Я.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ГРАФОАНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ ПОВЕРХОНЬ СКЛАДНОЇ ФОРМИ

У статті запропоновано загальний метод графоаналітичного моделювання поверхонь, який є універсальним, оскільки може застосовуватися для моделювання всіх закономірних лінійчатих і нелінійчатих поверхонь, що містять однопараметричні сім'ї твірних. Виділено три основні практичні задачі, що виникають у процесі графоаналітичного моделювання архітектурних поверхонь складної форми:

- 1) побудова графоаналітичної моделі поверхні, що отримана експериментально;
- 2) побудова графоаналітичної моделі поверхні за деякою множиною базових ліній із заданими граничними умовами;
- 3) побудова графоаналітичної моделі поверхні, що задана базовими лініями, описаними аналітичними функціями й граничними умовами.

Графоаналітичне моделювання архітектурної поверхні полягає в отриманні системи рівнянь, а також початкових і граничних умов, які однозначно визначають будь-яку конкретну поверхню. Розглянуто етапи реалізації методу:

1. Вихідні дані містять теоретичне креслення. Воно складається з деякої множини базових ліній каркаса, що належать двом різним однопараметричним множинам ліній поверхні. Вважаємо лінії однієї із цих множин – твірними, а лінії другої – напрямними.

2. Якщо базові лінії описуються складними, незручними в обчислювальному відношенні функціями або ж задані конструктором у вигляді ескізів, то таке теоретичне креслення буде вихідним для моделювання поверхні складної форми. У цьому випадку необхідно виконати моделювання базових ліній теоретичного креслення загальним методом графоаналітичного моделювання поверхонь.

3. Після отримання рівнянь базових ліній теоретичного креслення будемо відповідну множину твірних ліній, число параметрів якої залежить від кількості напрямних ліній. Запропоновано випадок графоаналітичного моделювання архітектурних поверхонь, утворених чотирма твірними й однією напрямною.

Ключові слова: графоаналітичне моделювання, архітектурна поверхня, твірна, напрямна, базові лінії.

Постановка проблеми. При графоаналітичному моделюванні архітектурних поверхонь складної форми виникають такі основні задачі:

- 1) побудова графоаналітичної моделі поверхні, яка отримана експериментально;
- 2) побудова графоаналітичної моделі поверхні за деякою множиною базових ліній із заданими граничними умовами;
- 3) побудова графоаналітичної моделі поверхні, що задана базовими лініями, описаними аналітичними функціями і граничними умовами.

Базові лінії теоретичного креслення архітектурної поверхні піддаються математичному моделюванню з метою отримання їх рівнянь. Графоаналітичне моделювання поверхні полягає в отриманні системи рівнянь, а також початко-

вих і граничних умов, які однозначно визначають будь-який конкретну поверхню, дозволяють вирішувати різноманітні задачі, пов'язані з їх проектуванням, відтворенням і функціонуванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблеми математичного, графічного, графоаналітичного моделювання поверхонь висвітлювались в багатьох наукових працях вітчизняних і закордонних авторів [1; 2]. Світ поверхонь простягається від елементарної площини, що вирізняється простотою та математичною строгістю, до найскладніших, химерних форм криволінійних поверхонь, що не піддаються точному математичному опису. Більшість існуючих методів моделювання поверхонь накладають значні обмеження на творчі пошуки архітектора в процесі створення

художньо повноцінних архітектурних форм. Ці обмеження пов'язані з чіткими геометричними рамками, оскільки використовуються прості задалегідь задані криві лінії і поверхні, що не завжди характеризуються художньою виразністю. Тому розробка загального методу графоаналітичного моделювання як простих, так і складних архітектурних поверхонь дає архітектору та інженеру-проектувальнику необмежені можливості для створення як класичних, так і довільних новітніх архітектурних форм.

Постановка завдання. Завдання дослідження – отримання графоаналітичної моделі у вигляді системи рівнянь, а також початкових і граничних умов, які однозначно визначають будь-яку конкретну архітектурну поверхню, дозволяють вирішувати різноманітні задачі, пов'язані з її проектуванням.

Виклад основного матеріалу дослідження. Під архітектурними поверхнями складної форми розуміємо поверхні, які задаються теоретичним кресленням, що містить базові лінії поверхні. Дуже часто ці лінії визначені конструктором у вигляді ескізів.

Перша задача ставиться на стадії ескізного проекту, коли архітектор знаходить поверхню так званої довільної форми у вигляді макета. Аналогічна ситуація спостерігається у художньому конструюванні, дизайні, де основним методом знаходження технічних форм є створення моделі (макета). На наступних стадіях проектування та розв'язання питань відтворення в робочому матеріалі створена модель піддається математичному опису. Вихідна інформація для моделювання знімається з макету експериментальним шляхом у вигляді базових ліній або їх масиву точок, після чого розв'язування зводиться до другої задачі.

Друга задача буває найчастіше на практиці.

Створюючи архітектурні форми, архітектор розробляє декілька варіантів ескізного проекту, з яких вибирає оптимальний. Архітектор промальовує при цьому найбільш характерні лінії архітектурної поверхні, які приймаються за вихідні при побудові математичної моделі. У процесі їх побудови необхідно враховувати різні умови. Ними можуть бути функціональні або об'ємно-планувальні вимоги, конструктивно-розрахункові, технологічні, світлотехнічні, естетичні й інші.

Ідея загального методу математичного моделювання поверхонь полягає в такому: оскільки заглиблення напрямної лінії у задану множину ліній понижує кількість параметрів на одиницю, то для моделювання поверхні достатньо на основі

вихідних даних побудувати n – параметричну множину ліній і заглибити в неї $(n - 1)$ – напрямну; внаслідок виділиться однопараметрична множина ліній, що утворює поверхню.

Розглянемо етапи реалізації методу.

1. Вихідні дані для моделювання поверхні містять її теоретичне креслення. Воно складається з деякої множини базових ліній каркаса, що належать двом різним однопараметричним множинам ліній поверхні. Вважаємо лінії однієї з цих множин за твірними, а лінії другої – напрямними.

2. Домовимося вважати, що теоретичне креслення задає поверхню простої форми, якщо рівняння базових ліній відомі і описуються простими функціями. Якщо ж базові лінії описуються складними, незручними в обчислювальному відношенні функціями або ж задані конструктором у вигляді ескізів, то таке теоретичне креслення буде вихідним для моделювання поверхні складної форми. У такому випадку необхідно виконати моделювання базових ліній теоретичного креслення розробленими вище методами.

3. Після отримання рівнянь базових ліній теоретичного креслення будуюмо відповідну множину твірних ліній, число параметрів якої залежить від кількості напрямних ліній. Загалом множина твірних моделюється рівняннями вигляду [3, 4]

$$F(x, y, z, C_1, C_2, \dots, C_n) = 0, \quad G(x, y, z, C_1, C_2, \dots, C_n) = 0, \quad (1)$$

де C_1, C_2, \dots, C_n – параметри. Число n повинно бути на одиницю більше числа напрямних ліній.

4. Нехай рівняння напрямних мають вигляд

$$\begin{aligned} \phi_1(x, y, z) = 0, & \quad \psi_1(x, y, z) = 0, \\ \phi_2(x, y, z) = 0, & \quad \psi_2(x, y, z) = 0, \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots \\ \phi_{n-1}(x, y, z) = 0, & \quad \psi_{n-1}(x, y, z) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

При заглибленні напрямних (2) в множину (1) виділяється однопараметрична множина твірних ліній, що утворює шукану поверхню.

5. Для отримання рівняння шуканої поверхні необхідно встановити функціональний зв'язок між параметрами C_1, C_2, \dots, C_n . Це здійснюється за допомогою рівнянь твірних (1) і пари рівнянь (2), наприклад, першої. Якщо з (1) і одного з рівнянь першої пари (2), наприклад $\psi_1(x, y, z) = 0$, виразити змінні x, y, z через параметри C_1, C_2, \dots, C_n

$$x = x(C_1, C_2, \dots, C_n), \quad y = y(C_1, C_2, \dots, C_n), \quad z = z(C_1, C_2, \dots, C_n) \quad (3)$$

і підставити в рівняння $\phi_1(x, y, z) = 0$, то отримуємо функціональну залежність

$$\Phi(C_1, C_2, \dots, C_n) = 0. \quad (4)$$

Якщо тепер з (1.58) і рівнянь (1.59), що залишилися, визначити параметри C_1, C_2, \dots, C_n через змінні x, y, z

$$C_1 = C_1(x, y, z), \quad C_2 = C_2(x, y, z), \quad C_3 = C_3(x, y, z) \quad (5)$$

і підставити у функцію (4), знайдемо шукане рівняння поверхні

$$\Phi(C_1(x, y, z), C_2(x, y, z), \dots, C_n(x, y, z)) = 0 \quad (6)$$

Загальний метод математичного моделювання поверхонь можна представити також в параметричній формі.

Нехай n – параметрична множина ліній задана параметричними рівняннями

$$\begin{aligned} x &= x(u, C_1, C_2, \dots, C_n), \\ y &= y(u, C_1, C_2, \dots, C_n), \\ z &= z(u, C_1, C_2, \dots, C_n), \end{aligned} \quad (7)$$

а напрямні – рівняннями

$$x = x_i(v), \quad y = y_i(v), \quad z = z_i(v), \quad i = 1, 2, \dots, n/2. \quad (8)$$

Якщо з виразів (7) і (8) виразити параметри C_1, C_2, \dots, C_n через функції $x_i(v), y_i(v), z_i(v)$ і підставити в (7), отримаємо рівняння поверхні в параметричній формі [4]

$$x = x(u, v), \quad y = y(u, v), \quad z = z(u, v). \quad (9)$$

У деяких випадках розрахунки спрощуються при змішаному заданні: множина твірних записується в параметричній формі, а напрямні – явними і неявними рівняннями, і навпаки.

Отже, загальний метод математичного моделювання поверхонь є універсальним, оскільки може застосовуватися для моделювання всіх законних лінійчатих і нелінійчатих поверхонь, що містять однопараметричні сім'ї твірних.

Поверхні з однією напрямною моделюються за допомогою конгруенцій ліній LC_2 . Представимо цю конгруенцію як прямиї добуток двох множин ліній LC_1 , що лежать у координатних площинах. Таке задання відповідає зображенню поверхонь технічних форм на кресленнях.

1. Нехай на відріжку $[AB]$ осі Oz задані такі базові лінії теоретичного креслення (рис. 1):

$$(\tilde{u}_1): \quad y = f_1(z), \quad x = 0, \quad (\text{координатна площина } Oyz);$$

$$(\tilde{u}_2): \quad y = f_2(z), \quad x = 0, \quad (\text{координатна площина } Oyz);$$

$$(\tilde{u}_3): \quad x = f_3(z), \quad y = 0, \quad (\text{координатна площина } Oxz); \quad (10)$$

$$(\tilde{u}_4): \quad x = f_4(z), \quad y = 0, \quad (\text{координатна площина } Oxz);$$

$$(\tilde{v}): \quad y = \phi(x), \quad z = 0, \quad (\text{координатна площина } Oxy).$$

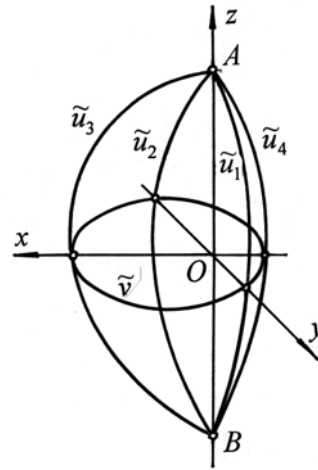


Рис. 1.

Вважаємо криві $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3, \tilde{u}_4$ твірними, а поперечний переріз \tilde{v} – напрямною.

Згідно з п. 1.5 конгруенцію LC_2 запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{y}{y - f_1(z)} : \frac{f_2(z)}{f_2(z) - f_1(z)} &= C_1, \\ \frac{x}{x - f_3(z)} : \frac{f_4(z)}{f_4(z) - f_3(z)} &= C_2. \end{aligned} \quad (11)$$

Для встановлення функціональної залежності між параметрами C_1 і C_2 виразимо з виразу (11) і другого рівняння напрямної \tilde{v} , тобто $z = 0$, координати x і y через параметри C_1 і C_2 :

$$y = \frac{a \cdot C_1}{b \cdot C_1 + c}, \quad x = \frac{d \cdot C_2}{e \cdot C_2 + g}, \quad (12)$$

де сталі

$$\begin{aligned} a &= f_1(0) \cdot f_2(0), \quad b = f_2(0), \quad c = f_1(0) - f_2(0), \\ d &= f_3(0) \cdot f_4(0), \quad e = f_4(0), \quad g = f_3(0) - f_4(0), \end{aligned} \quad (13)$$

і підставимо в рівняння $y = \phi(x)$ напрямної:

$$\frac{d \cdot C_2}{e \cdot C_2 + g} = \phi\left(\frac{a \cdot C_1}{b \cdot C_1 + c}\right). \quad (14)$$

Зі співвідношення (11) визначимо

$$C_1 = \frac{y \cdot f_2(z) - y \cdot f_1(z)}{y \cdot f_2(z) - f_1(z) \cdot f_2(z)}; \quad C_2 = \frac{x \cdot f_4(z) - x \cdot f_3(z)}{x \cdot f_4(z) - f_3(z) \cdot f_4(z)}$$

і підставимо в рівняння (14); отримаємо шукане рівняння поверхні у вигляді

$$x = \frac{\phi(y, z)}{x_1(z) \cdot \phi(y, z) + x_2(z)}, \quad (15)$$

де функції

$$\phi(y, z) = \phi\left(\frac{y}{y_1(z) \cdot y + y_2(z)}\right),$$

$$\begin{aligned}
 y_1(z) &= \frac{(b+c) \cdot f_2(z) - b \cdot f_1(z)}{a[f_2(z) - f_1(z)]}, \\
 y_2(z) &= \frac{c \cdot f_1(z) \cdot f_2(z)}{a[f_2(z) - f_1(z)]}, \\
 x_1(z) &= \frac{(e+g) \cdot f_4(z) - e \cdot f_3(z)}{d[f_4(z) - f_3(z)]}, \\
 x_2(z) &= \frac{g \cdot f_3(z) \cdot f_4(z)}{d[f_4(z) - f_3(z)]}.
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Будь-який поперечний переріз поверхні можна визначити так:

$$x = \frac{\phi\left(\frac{y}{a_1 \cdot y + b_1}\right)}{c_1 \cdot \phi\left(\frac{y}{a_1 \cdot y + b_1}\right) + d_1}, \quad z = m, \tag{17}$$

де сталі

$$a_1 = y_1(m), \quad b_1 = y_2(m), \quad c_1 = x_1(m), \quad d_1 = x_2(m). \tag{18}$$

Рівняння твірної поверхні (15) визначаються з виразів (11), де необхідно визначити значення параметрів C_1 і C_2 з умови проходження твірної через початкову точку $M(x_0, y_0, z_0)$ поверхні.

Якщо напрямна \tilde{v} задається рівнянням у неявному виді

$$\phi(x, y) = 0, \quad z = 0, \tag{19}$$

тоді замість виразу (14) приходимо до неявного рівняння

$$\phi\left(\frac{a \cdot C_1}{b \cdot C_1 + c}, \frac{d \cdot C_2}{e \cdot C_2 + g}\right) = 0. \tag{20}$$

Тоді рівняння поверхні (15) має вигляд

$$\phi\left(\frac{a \cdot y[f_2(z) - f_1(z)]}{\{b[f_2(z) - f_1(z)] + c \cdot f_2(z)\}y - c \cdot f_1(z) \cdot f_2(z)}, \frac{dx[f_4(z) - f_3(z)]}{\{e[f_4(z) - f_3(z)] + g \cdot f_4(z)\}x - g \cdot f_3(z) \cdot f_4(z)}\right) = 0 \tag{21}$$

На практиці буває симетричний випадок, за якого $f_2(z) = -f_1(z)$ (рис. 2). Тоді функції $\phi(y, z)$, $y_1(z)$, $y_2(z)$ рівняння поверхні значно спрощуються:

$$y_1(z) = \frac{[f_2(0) + f_1(0) - f_2(0)] \cdot f_2(z) - f_2(0) \cdot f_1(z)}{f_1(0) \cdot f_2(0)[f_2(z) - f_1(z)]} = 0,$$

$$y_2(z) = \frac{[f_1(0) - f_2(0)] \cdot f_1(z) \cdot f_2(z)}{f_1(0) \cdot f_2(0)[f_2(z) - f_1(z)]} = \frac{f_1(z)}{f_1(0)}, \tag{22}$$

$$\phi(y, z) = \phi\left(\frac{f_1(0)}{f_1(z)} \cdot y\right).$$

Якщо криві \tilde{u}_3 і \tilde{u}_4 також симетричні відносно осі Oz , тобто $f_4(z) = -f_3(z)$, то рівняння поверхні має вигляд

$$x = \frac{f_3(z)}{f_3(0)} \cdot \phi\left(\frac{f_1(0)}{f_1(z)} \cdot y\right). \tag{23}$$

Якщо ж всі чотири твірні $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3, \tilde{u}_4$ симетричні відносно осі Oz рівняння (23) має вигляд (рис. 3)

$$x = \frac{f(z)}{f(0)} \cdot \phi\left(\frac{f(0)}{f(z)} \cdot y\right). \tag{24}$$

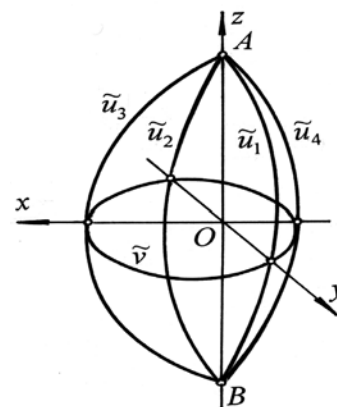


Рис. 2.

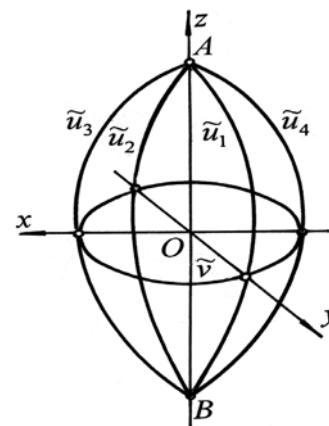


Рис. 3.

2. Теоретичне креслення розглянутої поверхні містить чотири базові твірні, які лежать в координатних площинах. Якщо базові твірні займають загальне положення відносно координатних площин, то з побудови твірних LC_2 випливає, що їх кількість на теоретичному кресленні не повинна перевищувати трьох (рис. 4).

Нехай базові твірні $\tilde{u}_1, \tilde{u}_2, \tilde{u}_3$ описуються відповідно рівняннями

$$\begin{aligned}(\tilde{u}_1): & y = f_1(z), & x = f_2(z), \\(\tilde{u}_2): & y = f_3(z), & x = f_4(z), \\(\tilde{u}_3): & y = f_5(z), & x = f_6(z),\end{aligned}$$

а напрямна \tilde{v} – виразами

$$z = 0, \quad x = \phi(y). \quad (25)$$

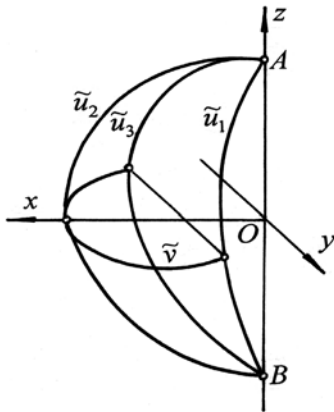


Рис. 4.

Складаємо рівняння множин твірних другого порядку:

$$\begin{aligned}\frac{y - f_1(z)}{y - f_3(z)} \cdot \frac{f_5(z) - f_1(z)}{f_5(z) - f_3(z)} &= C_1, \\ \frac{x - f_2(z)}{x - f_4(z)} \cdot \frac{f_6(z) - f_2(z)}{f_6(z) - f_4(z)} &= C_2.\end{aligned} \quad (26)$$

З рівнянь (2.16) і (2.17) маємо:

$$y = \frac{a + C_1}{b \cdot C_1 + c}, \quad x = \frac{d + C_2}{e \cdot C_2 + g}, \quad (27)$$

звідки

$$\frac{d + C_2}{e \cdot C_2 + g} = \phi\left(\frac{a + C_1}{b \cdot C_1 + c}\right), \quad (28)$$

де постійні

$$\begin{aligned}a &= \frac{f_1(0)[f_3(0) - f_5(0)]}{f_3(0)[f_5(0) - f_1(0)]}; & b &= \frac{1}{f_3(0)}; \\ c &= \frac{f_3(0) - f_5(0)}{f_3(0)[f_5(0) - f_1(0)]};\end{aligned} \quad (29)$$

$$d = \frac{f_2(0)[f_4(0) - f_6(0)]}{f_4(0)[f_6(0) - f_2(0)]}; \quad e = \frac{1}{f_4(0)}; \quad g = \frac{f_4(0) - f_6(0)}{f_4(0)[f_6(0) - f_2(0)]}.$$

Підставляючи в (28) значення параметрів C_1 і C_2 з (2.17) отримуємо рівняння поверхні

$$x = \frac{\phi(y, z) + x_1(z)}{x_2(z) \cdot \phi(y, z) + x_3(z)}. \quad (30)$$

Тут функції:

$$\begin{aligned}\phi(y, z) &= \phi\left(\frac{y + y_1(z)}{y_2(z) \cdot y + y_3(z)}\right), \\ y_1(z) &= -\frac{a \cdot f_3(z) \cdot [f_5(z) - f_1(z)] + f_1(z) \cdot [f_5(z) - f_3(z)]}{a \cdot [f_5(z) - f_1(z)] + f_5(z) - f_3(z)}, \\ y_2(z) &= \frac{b \cdot [f_5(z) - f_3(z)] + c \cdot [f_5(z) - f_1(z)]}{f_5(z) - f_3(z) + a \cdot [f_5(z) - f_1(z)]}, \\ y_3(z) &= -\frac{b \cdot f_1(z) \cdot [f_5(z) - f_3(z)] + c \cdot f_3(z) \cdot [f_5(z) - f_1(z)]}{f_5(z) - f_3(z) + a \cdot [f_5(z) - f_1(z)]}, \\ x_1(z) &= -\frac{d \cdot f_4(z) \cdot [f_6(z) - f_2(z)] + f_2(z) \cdot [f_6(z) - f_4(z)]}{g \cdot f_4(z) \cdot [f_6(z) - f_2(z)] + e \cdot f_2(z) \cdot [f_6(z) - f_4(z)]}, \\ x_2(z) &= \frac{e \cdot [f_6(z) - f_4(z)] + g \cdot [f_6(z) - f_2(z)]}{e \cdot f_2(z) \cdot [f_6(z) - f_4(z)] + g \cdot f_4(z) \cdot [f_6(z) - f_2(z)]}, \\ x_3(z) &= -\frac{d \cdot [f_6(z) - f_2(z)] + f_6(z) - f_4(z)}{g \cdot f_4(z) \cdot [f_6(z) - f_2(z)] + e \cdot f_2(z) \cdot [f_6(z) - f_4(z)]}.\end{aligned} \quad (31)$$

Вирази для поперечних перерізів поверхні мають вигляд

$$x = \frac{\phi(m, y) + x_1(m)}{x_2(m) \cdot \phi(m, y) + x_3(m)}, \quad z = m. \quad (32)$$

Рівняння твірної, що проходить через точку $M(x_0, y_0, z_0)$ поверхні, випливає з (26).

Маючи рівняння (15) і (30) поверхонь з однією напрямною, можемо розв'язувати метричні і позиційні задачі, пов'язані з ними.

У випадку необхідності моделювання конкретної поверхні з більшою кількістю напрямних необхідно всі розрахунки проводити за викладеною вище методикою математичного моделювання поверхонь.

Висновки. Загальний метод математичного моделювання поверхонь дає архітектору та інженеру-проектувальнику необмежені можливості для створення як класичних, так і довільних новітніх архітектурних форм. Це пояснюється тим, що він не накладає жорстких геометричних рамок на створювану форму: базові лінії поверхні можуть бути задані проектувальником у вигляді ескізів із врахуванням технологічних, естетичних, функціональних та інших умов.

Список літератури:

1. Фокс А., Прагг М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве / пер. с англ. Москва : Мир, 1982. 304 с.
2. Цвицинский И.В. Математическое моделирование поверхностей сложной формы. Кишинев : «Штиинца», 1984. 109 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / пер. с американского изд. Москва : Наука, 1974. 831 с.
4. Ефимов М.В. Квадратичные формы и матрицы. Москва : Физматгиз, 1963. 159 с.

**Vasylyshyn V.Ia. GRAPHO-ANALYTICAL MODELING
OF ARCHITECTURAL SURFACES OF COMPLEX FORM**

The article proposes a general method of graphoanalytical modeling of surfaces, which is universal because it can be used to model all regular linear and nonlinear surfaces containing one-parameter families of generators. There are three main practical problems that arise in the graph-analytical modeling of architectural surfaces of complex shape: 1) construction of a graph-analytical model of the surface obtained experimentally; 2) construction of a graph-analytical model of the surface on a set of baselines with given boundary conditions; 3) construction of a graph-analytical model of the surface, given by the base lines described by the analytical functions and boundary conditions. Graphoanalytical modeling of an architectural surface consists in obtaining a system of equations, as well as initial and boundary conditions, which unambiguously define any specific surface. The stages of method implementation are considered: 1) The initial data contain a theoretical drawing. It consists of some set of base lines of the framework belonging to two different one-parameter sets of surface lines. We consider the lines of one of these sets to be generative, and the lines of the second to be directing; 2) If the baselines are described by complex, computationally inconvenient functions or given by the designer in the form of sketches, then such a theoretical drawing will be the source for modeling a surface of complex shape. In this case it is necessary to perform modeling of the basic lines of the theoretical drawing by the general method of graphoanalytical modeling of surfaces; 3) After obtaining the equations of the base lines of the theoretical drawing, we construct a corresponding set of generating lines, the number of parameters of which depends on the number of guide lines. A case of graphoanalytical modeling of architectural surfaces formed by four generators and one guide is proposed.

Key words: graphoanalytical modeling, architectural surface, generating, guide, base lines.

МАШИНОЗНАВСТВО

УДК 636.084

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/02>**Велит І.А.**

Полтавська державна аграрна академія

Скиба М.М.

Полтавська державна аграрна академія

Дорохін Р.В.

Полтавська державна аграрна академія

Луняк В.О.

Полтавська державна аграрна академія

ЕФЕКТИВНІСТЬ МЕХАНІЗАЦІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ НА СІМЕЙНІЙ МОЛОЧНІЙ ФЕРМІ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРМОРОЗДАВАЧІВ-ЗМІШУВАЧІВ

У статті розглянуто ефективність використання кормороздавачів-змішувачів на сімейній молочній фермі. Застосування спеціальних енергоефективних машин для механізації трудомістких процесів приготування та роздавання корму на сімейній молочній фермі дає можливість приготувати кормову суміш із різних видів компонентів для кожної групи тварин за своїм раціоном із точним дозуванням ваги компонентів. Використання кормороздавачів-змішувачів дозволяє економити основні корми на 20–25 %, час для приготування кормової суміші, підвищити якість приготовленого корму, усунути ручну працю, зменшити чисельність обслуговчого персоналу, підвищити продуктивність тварин. У роботі проведено аналіз використання кормороздавачів-змішувачів у сімейних господарствах молочних ферм України. Широке застосування знайшли машини різних фірм виробників із вертикальним і горизонтальним розташуванням шнека. Проаналізовані конструкції кормороздавачів-змішувачів, які найбільше використовуються в невеликих тваринницьких господарствах: TRIOLIET SOLOMIX, V-mix, NDEco FS Series, Minos. Місткість бункера різних моделей кормороздавачів-змішувачів знаходиться в діапазоні від 1,5 до 45 м³. Вибрана модель кормороздавача-змішувача Minos для малої ферми. Вказані переваги й недоліки машини. Ураховуючи кліматичні умови та якість доріг на господарствах, ходова частина кормороздавача може не витримати навантажень і схильна до частого ремонту. Удосконалена конструкція кормороздавача-змішувача. Замінені колеса моделі Minos на колеса із шинами типу 215/75 R17,5, встановлено лапу для стійкості, вдосконалено викидне вікно, збільшено розмір платформи для викидання корму. У роботі проаналізовано залежність ефективності використання кормороздавачів-змішувачів від об'єму бункера. Встановлено, що збільшення об'єму бункера призводить до підвищення маси, потужності на привід, габаритів машини, зростання капіталовкладень у під'їзні дороги, будівництво приміщень, погіршує її керованість. Використання кормороздавача-змішувача Minos для малої ферми в потоково-технологічних лініях завантаження, подрібнення, змішування, вивантаження корму позитивно впливає на продуктивність тварин, якість молока, що особливо актуально в сучасних умовах господарювання.

Ключові слова: кормороздавач-змішувач, кормова суміш, сімейна молочна ферма, бункер, шнек, міксер.

Постановка проблеми. Натепер для птиці, свиней, дрібних тварин, що утримують фермери на малих сімейних фермах можна без проблем придбати готові комбіновані корми. Вирішити питання з годівлею великої рогатої худоби складніше. Основні компоненти корму – сіно, сінаж,

солому, силос фермерам потрібно заготовляти самостійно і готувати кормові суміші з додаванням високопротеїнових складників.

Процес змішування має важливе значення у виготовленні кормів для тварин, а завдяки збільшенню використання різноманітних інгредієнтів

підвищується цінність кормів та збільшуються надой молока.

Механізація приготування кормів на сімейних фермах не достатньо розвинута. Одним із прогресивних заходів економії затрат на приготування та роздавання кормів є використання кормороздавачів-змішувачів, які забезпечують функції подрібнення, змішування, транспортування і розподілення в годівниці тваринам компонентів суміші. Кормороздавачі-змішувачі є універсальними високотехнологічними машинами, які забезпечують вагове дозування та є складовими в технологічних процесах на молочній фермі [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Україні на тваринницьких фермах широко використовують кормороздавачі-змішувачі вітчизняного й закордонного виробництва з вертикальним і горизонтальним розташуванням шнека для змішування та подрібнення кормів. Сучасні, удосконалені кормороздавачі – змішувачі розроблені фірмами, як Kuhn (Франція), Trioliet (Нідерланди), DeLaval (Швеція), Seko (Італія), Roto-mix (США). Така техніка дедалі ширше впроваджується в господарствах. Виробники сучасного обладнання пропонують великий вибір мобільних кормороздавачів-змішувачів, які комплектують з різними типами завантажувальних, подрібнювальних та роздавальних видів конструкцій [2]. Показники ступеня подрібнення кормів визначають виробники [3], але в більшості

випадків, вони роблять такі конструкції для обслуговування великої кількості ВРХ.

Ці машини виконують функції «кормоцехів на колесах» і існує велика кількість типів і моделей. Місткість бункера різних моделей кормозмішувачів-роздавачів становить від 1,5 до 45 м³, потужність - від 48 до 275 к.с. При використанні в різних умовах машини мають свої переваги і недоліки. Досвід використання новітніх моделей кормороздавачів-змішувачів, дає змогу зменшити витрати праці та питому метало і енергоємність однієї тони приготованої і розданої кормосуміші. Економити основні корма на 20–25 %, час приготування кормової суміші, підвищити якість приготовленого корму, усунути ручну працю, зменшити численність обслуговуючого персоналу, підвищити продуктивність тварин [4]. Технологічна лінія з приготування та роздавання кормів включає процеси: приготування кормосуміші (кормоцех) і роздача корму в годівницю кормороздавачем, або приготування кормосуміші з різних компонентів та роздачу на кормовий стіл в готовому вигляді. Натепер фермери впроваджують в своїх сімейних господарствах нові технології утримання тварин з використанням універсальних міксерів-подрібнювачів з одночасною роздачею кормів для ВРХ [5; 6]. Проаналізуємо конструкції кормороздавачів-змішувачів, які найбільше використовуються на тваринницьких фермах.



Рис. 1. Кормороздавач-змішувач TRIOLIET SOLOMIX [7]



Рис. 2. Кормороздавач-змішувач V-mix [7]



Рис. 3. Кормороздавач-змішувач NDEco FS Series [8]



Рис. 4. Кормороздавач-змішувач Minos [9]

На рисунку 1 приведено мобільний кормороздавач TRIOLIET SOLOMIX, який застосовують для роздачі кормів на тваринницьких фермах [7]. Транспортування та роздача кормових сумішей і здріблених кормів на молочній та відгодівельній фермі, великій і дрібній рогатій худобі (коровам, телятам, вівцям) відбуваються в одну праву сторону по ходу руху агрегату. Технологічний процес приготування і роздавання корму простий, в завантажений бункер (місткість бункера 12 м³) подають компоненти кормів відповідно до раціону, при обертанні робочого органу інтенсивно подрібнюються його ножами і опускається до дна бункера. Звідси гвинтовий шнек захоплює корм і піднімає його знову до гори. З такою багатократною дією відбуваються інтенсивне перемішування та подрібнення кормових компонентів. Ступінь подрібнення та рівномірність перемішування регулюється часом обробки кормів. Приготовлену кормову масу через вивантажувальну горловину подають на кормовий стіл вздовж фронту лінії годівлі. Норму видачі корму можна регулювати ступенем швидкості транспортера.

На рисунку 2 представлена причіпна конструкція, виготовлена з якісної зносостійкої сталі, робочим органом якого є вертикальний шнек з ножами, які служать для якісного змішування та подрібнення корму і його рівномірної роздачі [7]. Надійна вагова система з ваговимірвальними датчиками дозволяє точно дотримуватися ваги компонентів в раціоні тварин. Недоліком такої конструкції можна вважати стрімке зношення гострості ножів. Але цю конструкцію використовувати для молочних ферм з невеликою кількістю голів ВРХ не економічно і не вигідно, за рахунок великої ємності бункера 10 м³.

На рисунку 3 представлений двошнековий змішувач кормів від компанії NDEco обсягом бункера від 13 до 17 м³, дуже компактний і малогабаритний кормозмішувач [8]. Агрегат здійснює роздачу кормів великими обсягами навіть у вузьких проходах. Двошнекові кормороздавачі – змішувачі кормів об'ємом бункера 20, 24, 27, 28 і 30 м³ змішують і транспортують велику кількість корму.

На рисунку 4 показаний кормороздавач-змішувач [9], призначений для подрібнення та роздавання збалансованого корму для ВРХ. Кормороздавач-змішувач має міцну та надійну конструкцію, що є простою у використанні. Вертикально працююча шнекова система забезпечує шліфування та різання різних видів корму, завдяки спеціально сплавленим та виготовленим ножам. Завдяки електронній цифровій системі, може бути зважена з високою чутливістю суміш і правильно підготовлені раціони. Ця спеціальна конструкція вимагає значно меншої

потужності трактора та має малу місткість бункера 1,5 м³, тому його доцільніше використовувати в сімейних фермах.

На сімейних фермах ефективно використовувати кормороздавачі-змішувачі, які мають високу продуктивність та малі затрати часу на приготування кормів. Для приготування кормів на молочній фермі прив'язного утримання в сімейному господарстві, вибираємо мобільний кормороздавач-змішувач фірми Minos, він є найбільш ефективним та найменш працезатратним у використанні.

Постановка завдання. Формулювання цілей роботи полягає у визначенні найбільш ефективного та найменш затратного кормороздавача-змішувача, який буде повністю себе виправдовувати в роботі, та якісно подрібнювати корм.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для приготування кормів в сімейному господарстві, молочної ферми прив'язного утримання, вибираємо мобільний кормороздавач-змішувач, він є найбільш ефективним та найменш працезатратним в використанні.

Отже для сімейних молочних ферм ми беремо до уваги мобільний кормороздавач-змішувач Minos.



Рис. 5. Кормороздавач-змішувач Minos

Кормороздавач-змішувач має міцну та надійну конструкцію, що є простою у використанні. Вертикально працююча шнекова система забезпечує різання різних видів корму, завдяки спеціально сплавленим та виготовленим ножам. Агрегат забезпечений електронною цифровою системою, що забезпечує зважування кормів з високою точністю. Кормороздавач-змішувач працює від ВПП трактора і вимагає значно меншої потужності, це дозволяє об'їхати таким міксером місця зберігання основних компонентів корму, де їх завантажують, а дорогою до ферми ретельно подрібнюють й змішують, після чого готову суміш можна вивантажувати на кормові столи тваринам.

Але враховуючи кліматичні умови, та якість доріг в господарствах, ходова частина кормороздавача може не витримати навантажень і схильна до частого

ремонту. Ми вирішили удосконалити конструкцію такого кормороздавача. Отже провівши розрахунки та урахування різних зовнішніх показників, ми прийняли рішення змінити конструкцію такого типу коліс, на інші, які гарантують перевезення кормів навіть по різним видам доріг, гарантуючи більш високу прохідність. Використали шини типу 215/75 R17,5.

Було встановлено лапу для стійкості, це гарантує нерухомість обладнання, коли не буде використовуватись кормороздавач-змішувач.

Удосконалили викидне вікно в конструкції кормороздавача-змішувача Minos, збільшили розмір платформи викидного вікна, тим самим зменшили відстань від годівниці до кормороздавача.

Удосконалена конструкція кормороздавача-змішувача представлена на рисунку 6.

Кормороздавач-змішувач для малої сімейної ферми має місткість бункера 1,5м³, вертикальний шнековий вал з вмонтованими ножами для подріблення та перемішування, змінену ходову частину. Рама – зварна конструкція, яка виконана із двох поздовжніх лонжеронів, з'єднаних між собою передньою балкою та поперечинами. Синиця – забезпечує надійне приєднання кормороздавача до причіпного пристрою (зчіпки) трактора. Ходова система – колісна пара, яка кріпиться до колісної осі. Бункер має конусоподібну форму. У нижній частині бункера розміщений вертикальний шнек, у верхній частині змонтовано захисне кільце для запобігання випаданню корму при максимальному

завантаженні бункера. Вивантажувальна горловина – прямокутної, видовженої форми, відкривається та закривається заслінкою за допомогою гідроциліндра, гарантує подачу корму в годівницю, та забезпечує мінімальні втрати. Вертикальний шнек має вісім ріжучих ножів, які різнонаправлені у вигляді спіралі, що забезпечує подрібнення, перемішування кормової маси та подачу до вивантажувальної горловини. Кормороздавач-змішувач обладнаний електронною системою для зважування корму, яка відображає на дисплеї загальну масу усіх кормів і зберігає точні пропорції компонентів кормів у відповідності до раціону.

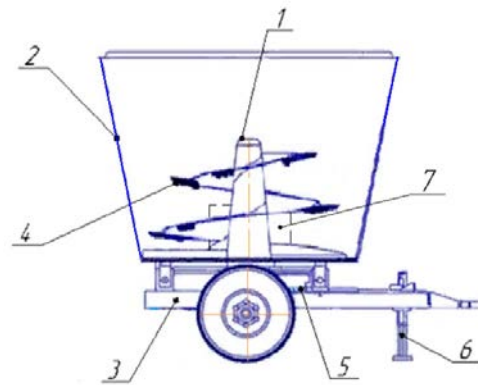


Рис. 6. Схема удосконаленого кормороздавача-змішувача: 1 – робочий орган (шнек); 2 – бункер; 3 – рама; 4 – ніж; 5 – редуктор; 6 – лапа для стійкості; 7 – вивантажувальна горловина; 8 – синиця

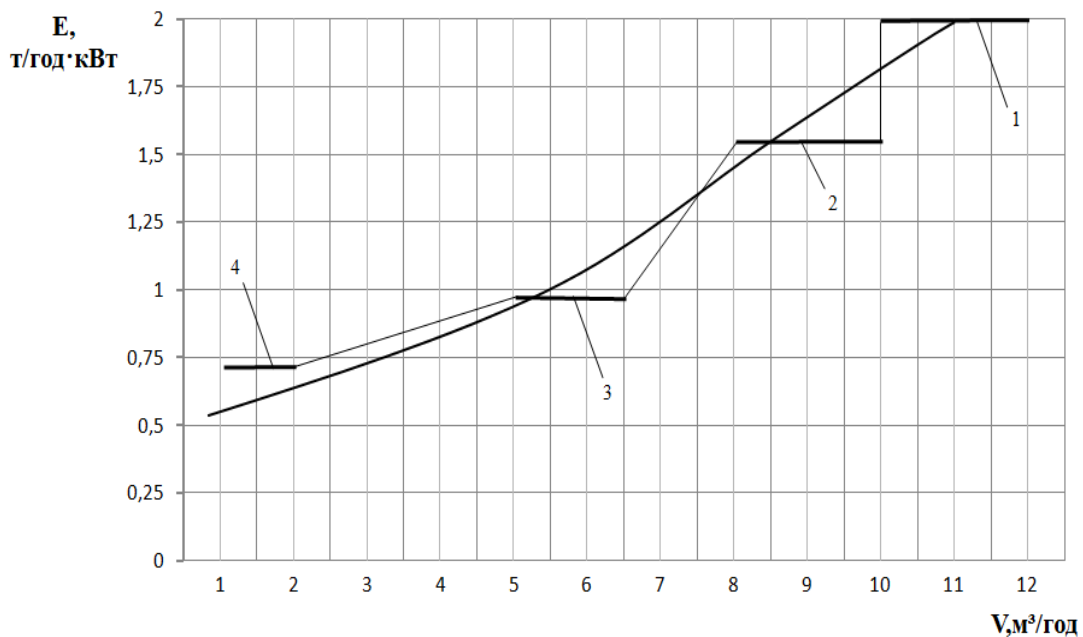


Рис. 7. Залежність ефективності використання кормороздавачів-змішувачів від об'єму бункера: 1 – NDEco FS Series, 2 – Triolet solomix, 3 – V-mix, 4 – Minos

В роботі проаналізовано залежність ефективності використання кормороздавачів-змішувачів від об'єму бункера [10] для малих сімейних ферм. Результати досліджень представлені на рисунку 7.

Зі збільшенням об'єму бункера (13м³), збільшується ефективність використання кормороздавача-змішувача, що призводить до використання трактора з більшою потужністю, практично у декілька разів. Проте збільшення об'єму бункера призводить до підвищення маси, потужності на привід, габаритів машини, погіршує її керованість, зростання капіталовкладень у під'їзні дороги, будівництво приміщень.

Висновки. Отже проаналізувавши такі види типів конструкцій та робочі органи корморозда-

вачів-змішувачів, для роботи на сімейній фермі ми приймаємо до уваги кормороздавач-змішувач Minos. Він є більш раціональним в використанні та потребує значно меншої потужності від ВВП трактора. Його універсальна конструкція дозволяє нам перемішувати, подрібнювати та роздавати кормову суміш відразу тваринам.

Використання кормороздавачів-змішувачів нового покоління сьогодні є реальністю, для приготування високоякісних кормів на сімейних фермах ВРХ.

Ефективна організація годівлі тварин є запорукою високопродуктивного ведення тваринництва на сімейних фермах.

Список літератури:

1. Kitun A., Perednia V., Tanaś W. Мобильные средства для раздачи кормов крупному рогатому скоту и методика расчета области их эффективного применения. URL: http://www.pimr.poznan.pl/biul/2005_3_11KT.pdf (дата об'єкта: 06.04.2016).
2. Костенко В.І., Заболотько О.О., Хмельовський В.С. Перспективи використання комбінованого кормоприготувального агрегату для великої рогатої худоби. *Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження*. 2008. № 12. С. 235–238.
3. Велит І.А., Бондаренко О.Д. Агрегат для плющення зерна в потоково-технологічних лініях кормоприготувального відділення молочної ферми. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 2018. № 48. С. 164–170.
4. Котова Н.М. Селянське (фермерське) господарство «Котової Н.М.». *Тваринництво для всіх*. 2004. № 6. С. 16.
5. Рожківський М.Ф. Розробка наукових основ, створення впровадження прогресивних технологій та комплексу машин нового покоління. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваху : ННЦ «ІМЕСГ». 2006. Вип. 90. С. 324–338.
6. Суржикова В.Г. Оборудование для малых ферм. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1989. № 6. С. 18.
7. Кормороздавачі-змішувачі. *Агробізнес Сьогодні* : вебсайт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/831-kormorozdavachi-zmishuvachi.html>.
8. Мобільні кормороздавачі-змішувачі. *Агробізнес Сьогодні* : вебсайт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1297-mobilni-kormorozdavachi-zmishuvachi.html>.
9. Trade farm machinery. Web-site. URL: <https://www.tradefarmmachinery.com.au/detail/minos-agri-tdykm1.5-559701>.
10. Бурлака В.А., Водяницький Г.П., Тимків В.В. Оцінка технічного рівня кормороздавачів-змішувачів світових виробників. *Тваринництво України*. 2016. № 3. С. 8–12.

Velyt I.A., Skyba M.M., Dorohin R.V., Lunyak V.O. EFFICIENCY OF THE MECHANIZATION PREPARATION OF FEED ON A FAMILY DAIRY FARM USING FEEDERS-MIXERS

The article considers the efficiency of using feeders-mixers on a family dairy farm. The use of special energy-efficient machines for mechanization of labor-intensive processes of preparation and distribution of feed on a family dairy farm makes it possible to prepare a feed mixture of different types of components for each group of animals according to their diet, with accurate dosage of components. The use of feeders-mixers saves basic feed by 20–25 %, time to prepare the feed mixture, improve the quality of cooked feed, eliminate manual labor, reduce the number of staff, increase animal productivity. The analysis of use work of feed mixers-distributors in farms of Ukraine. Machines of various manufacturers with vertical and horizontal arrangement of the auger have found wide application. The designs of feed mixers that are most used in small livestock farms are analyzed: TRIOLIET SOLOMIX, V-mix, NDEco FS Series, Minos. The hopper capacity of different models of feed-mixers is in the range from 1.5 to 45 m³. The selected model of the Minos feeder-mixer for a small farm. The advantages and disadvantages of the machine are specified. Include the climatic conditions and the quality of roads on the farms, the running gear of the feeder may not withstand loads and inclined to frequent repairs. Improved design of the feed mixer: Replaced wheel models Minos on a wheel with

tires of type 215/75 R17,5, installed a paw for stability, improved the ejection window, increased the size of the platform for ejecting feed. This work analyzes the dependence of the efficiency of the use of feed mixers on the volume of the hopper.

It is established that the increase in the volume of the hopper leads to an increase in weight, drive power, dimensions of the machine, impairs its controllability, increased investment in access roads, construction of premises. The use of Minos feeder-mixer for a small family farm in the flow – technological lines of loading, grinding, mixing and unloading of feed has a positive effect on animal productivity, milk quality, which is especially relevant in today's modern business conditions.

Key words: feed mixer, feed mixture, family dairy farm, hopper, auger, mixer.

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.924.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/03>**Залюбовський М.Г.**

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

Панасюк І.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

Малишев В.В.

Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна»

СИЛОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОГО ШЕСТИЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ МАШИНИ ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ (ЧАСТИНА 1: ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИ РОБОТІ МАШИНИ НА ХОЛОСТОМУ ХОДІ)

Високопродуктивне виконання галтувальних технологічних операцій обробки дрібних металевих і полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул, відділення деталей від ливників, подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо) здійснюється з використанням машин, в яких робоча місткість виконує складний просторовий рух. За допомогою системи автоматизованого проєктування SolidWorks 2016 Motion виконано 3D моделювання та подальше силове дослідження просторового шестиланкового механізму галтувальної машини під час її роботи на холостому ході. У просторовому механізмі досліджуваної машини наявний пасивний (надлишковий) зв'язок, який може мати негативний вплив на її експлуатаційні властивості. Суть силового дослідження полягає у визначенні й порівнянні величини максимальних значень реакцій у всіх обертальних кінематичних парах машини, водночас кожену реакцію розподіляли на радіальну й осьову складові частини. На основі проведеного силового дослідження просторового механізму машини встановлено, що зміна реакцій у кожній кінематичній парі має індивідуальну особливість і відмінні екстремальні значення. Максимальні значення мають радіальні складники реакцій, мінімальні значення – осьові складники реакцій. Також визначено найбільші значення реакцій – це радіальні складники реакцій, які виникають у кінематичній парі «станина – ведучий вал» і кінематичній парі «станина – ведений вал». Циклічна зміна реакцій у всіх кінематичних парах має два періоди за один повний оберт ведучого валу машини. Отримані результати досліджень можуть бути основою для проведення подальших досліджень, у тому числі виконання подальшого порівняльного силового дослідження інших, розроблених авторами, конструкцій галтувальних машин без надлишкового зв'язку.

Ключові слова: просторовий рух, силове дослідження, реакції, кінематична пара, робоча місткість.

Постановка проблеми. Для виконання галтувальних технологічних операцій [1, с. 145–150] обробки металевих та полімерних деталей (шліфування та полірування дрібних деталей абразивом у вигляді гранул [2, с. 24–25], відділення деталей від ливників [3, с. 120], подрібнення, очищення металевих деталей від продуктів корозії тощо) використовують машину [4, с. 21], в якій робоча ємкість виконує складний просторовий рух. Попередніми дослідженнями доведено [5, с. 159–174], що використання такої машини для виконання вищезгаданих технологічних операцій дозволяє значно інтенсифікувати процес

обробки, підвищити продуктивність виготовлення деталей з одночасним зменшенням енерговитрат. Однак, «базова» конструкція машини [6], яка використовується для виконання усіх вищезгаданих технологічних операцій має суттєвий недолік – наявність пасивного (надлишкового) зв'язку [7, с. 10], який негативно впливає на її експлуатаційні властивості, може призвести до передчасного її виходу з ладу. Наприклад, при збільшенні динамічного навантаження на рухомі ланки машини може виникнути їх деформація, що призведе до заклинювання просторового механізму «базової» конструкції машини. Авторами

були розроблені просторові механізми [8, с. 54–58; 9, с. 1-4] аналогічних конструкцій машини без пасивного (надлишкового) зв'язку шляхом введення в кінематичний ланцюг додаткової рухомої ланки. В результаті, ступінь рухомості таких механізмів збільшився на одиницю. Збільшення ступеня рухомості призводить до виникнення додаткової складової переміщення рухомих ланок механізму між собою, яка, в свою чергу, також здатна призвести до збільшення навантажень в кінематичних парах та подальшого зменшення їх ресурсу роботи. Таким чином, необхідно провести порівняльне силове дослідження просторового механізму «базової» конструкції машини, а також інших, розроблених авторами конструкцій машин без пасивного зв'язку, для можливості визначення найбільш раціональної для використання у промисловості конструкції галтувальної машини. Суть силового дослідження полягає у визначенні та порівнянні величини реакцій у всіх обертальних кінематичних парах машини, яке виконувалося на основі моделювання відповідної конструкції машини та подальшого силового дослідження у САПР SolidWorks.

Постановка завдання. Мета роботи – визначення та аналіз реакцій в усіх кінематичних парах просторового шестиланкового механізму машини при її роботі на холостому ході за допомогою САПР SolidWorks.

Виклад основного матеріалу досліджень. «Базова» конструкція машини [4, с. 21; 10, с. 77–79] зі складним просторовим рухом робочої ємкості є прототипом промислового змішувача «Turbula T10B», який, на сьогоднішній день, є в серійному виробництві швейцарської компанії «Willy A. Bachofen Group» [6]. При моделюванні такої конструкції машини в САПР SolidWorks усі геометричні та конструктивні параметри приймали аналогічними до геометричних параметрів промислового змішувача «Turbula T10B», які представлені у таблиці 1. Модель «базової» конструкції машини представлена на рис. 1.

Силове дослідження «базової» конструкції машини в САПР SolidWorks виконувалося на холостому (без завантаженого робочого масиву) ході, при максимальній кутовій швидкості ведучого валу, що здатна забезпечити інтенсивну реалізацію відповідних галтувальних технологічних операцій.

Далі, за допомогою САПР SolidWorks (додаток Motion) визначали зміну реакції в кожній обертальній кінематичній парі просторового механізму машини за один повний оберт її ведучого

валу, при цьому, кожену реакцію розподіляли на радіальну та осьову складові. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини представлено на рис. 2.

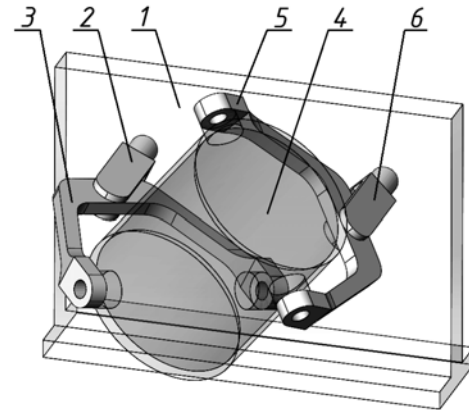


Рис. 1. Модель «базової» конструкції машини: 1 – станина, 2 – ведучий вал, 3 – ведуча вилка, 4 – робоча ємкість, 5 – ведена вилка, 6 – ведений вал

Таблиця 1

Технічна характеристика моделі «базової» конструкції машини	
Діаметр робочої ємкості d_{PC}	0,318 м (318 мм)
Довжина (між торцями) робочої ємкості l_{II}	0,342 м (342 мм)
Міжосьова відстань робочої ємкості l_{PC}	0,272 м (272 мм)
Об'єм робочої ємкості V_{PC}	0,0024 м ³ (24 л)
Коефіцієнт δ , що характеризує співвідношення l_{PC} / l_B	1
Маса усіх рухомих деталей машини m_D	42 кг
Кутова швидкість ведучого валу машини $\omega_{ведч.}$	3,3 с ⁻¹ (32 об/хв)

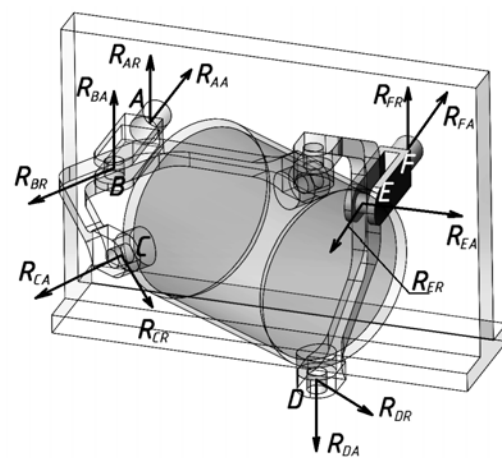


Рис. 2. Схематичне зображення векторів реакцій в кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини

Було визначено реакції R в 6 обертальних кінематичних парах машини: A, B, C, D, E та F . Реакція R в кожній кінематичній парі (далі КП) була розподілена на дві складові: радіальну та осьову, таким чином:

R_{AA} – осьова складова реакції в КП «станина – ведучий вал»;

R_{AR} – радіальна складова реакції в КП «станина – ведучий вал»;

R_{BA} – осьова складова реакції в КП «ведучий вал – ведуча вилка»;

R_{BR} – радіальна складова реакції в КП «ведучий вал – ведуча вилка»;

R_{CA} – осьова складова реакції в КП «ведуча вилка – робоча ємкість»;

R_{CR} – радіальна складова реакції в КП «ведуча вилка – робоча ємкість»;

R_{DA} – осьова складова реакції в КП «робоча ємкість – ведена вилка»;

R_{DR} – радіальна складова реакції в КП «робоча ємкість – ведена вилка»;

R_{EA} – осьова складова реакції в КП «ведена вилка – ведений вал»;

R_{ER} – радіальна складова реакції в КП «ведена вилка – ведений вал»;

R_{FA} – осьова складова реакції в КП «ведений вал – станина»;

R_{FR} – радіальна складова реакції в КП «ведений вал – станина».

На рис. 3–8 у вигляді графіків представлено залежності реакцій у відповідних кінематичних парах просторового механізму «базової» конструкції машини від кута повороту ведучого валу машини, при роботі машини на холостому ході.

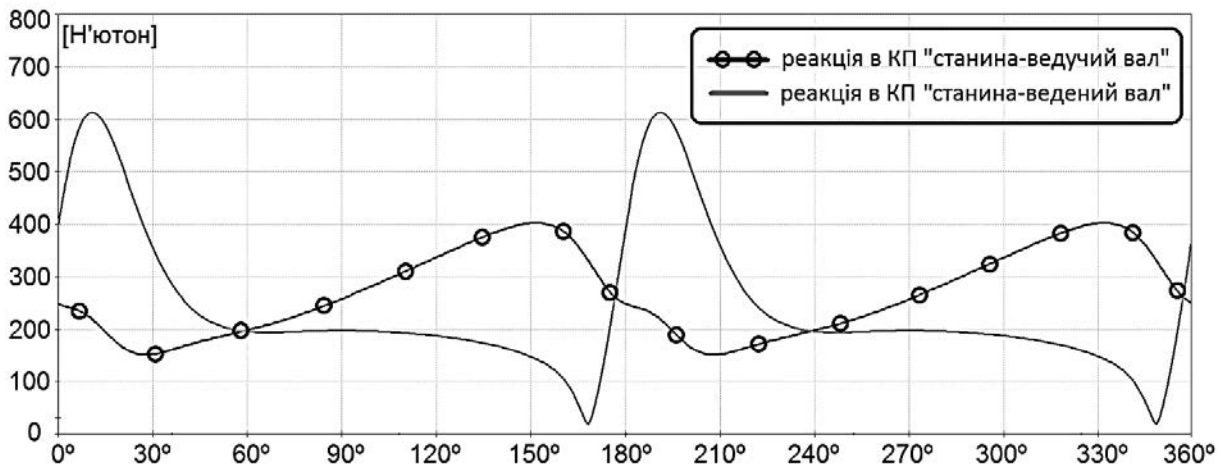


Рис. 3. Залежності величини радіальних реакцій R_{AR} та R_{FR} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

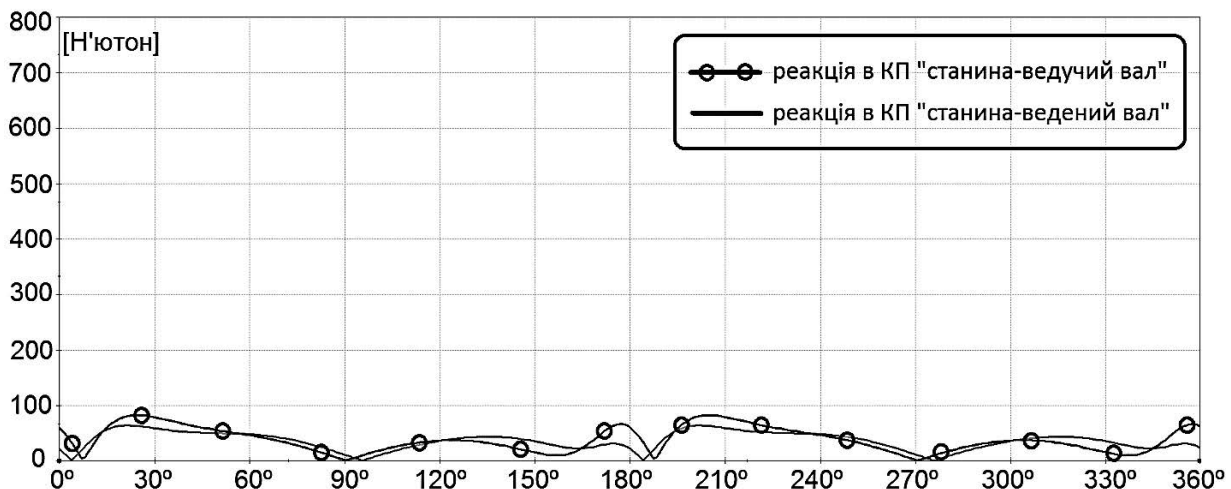


Рис. 4. Залежності величини осьових реакцій R_{AA} та R_{FA} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

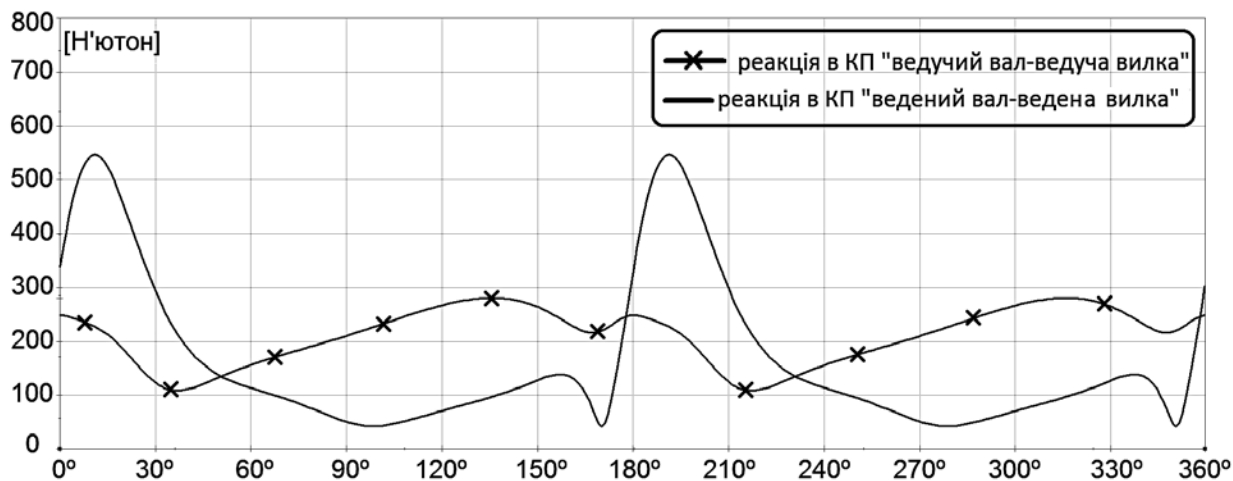


Рис. 5. Залежності величини радіальних реакцій R_{BR} та R_{ER} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

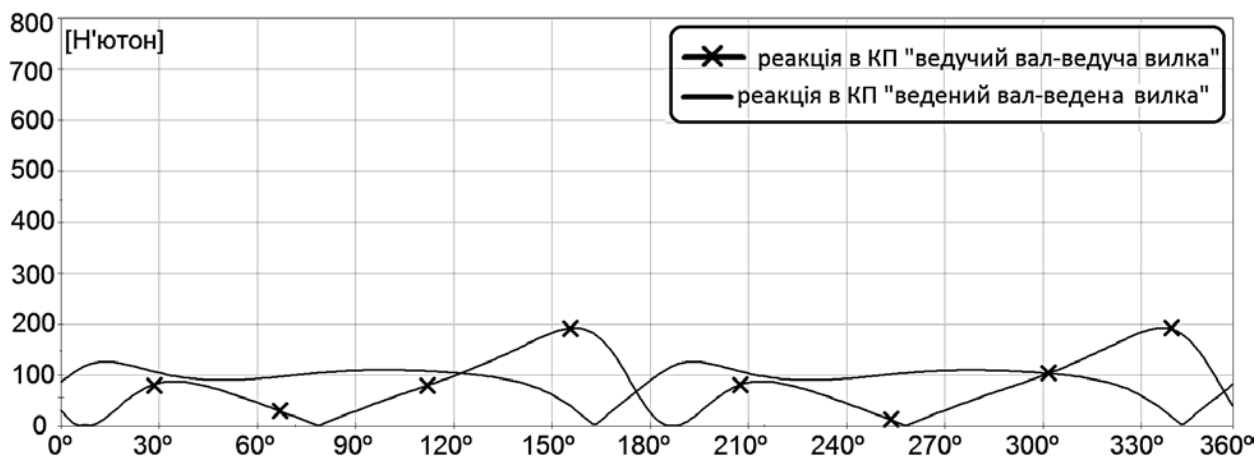


Рис. 6. Залежності величини осьових реакцій R_{BA} та R_{EA} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

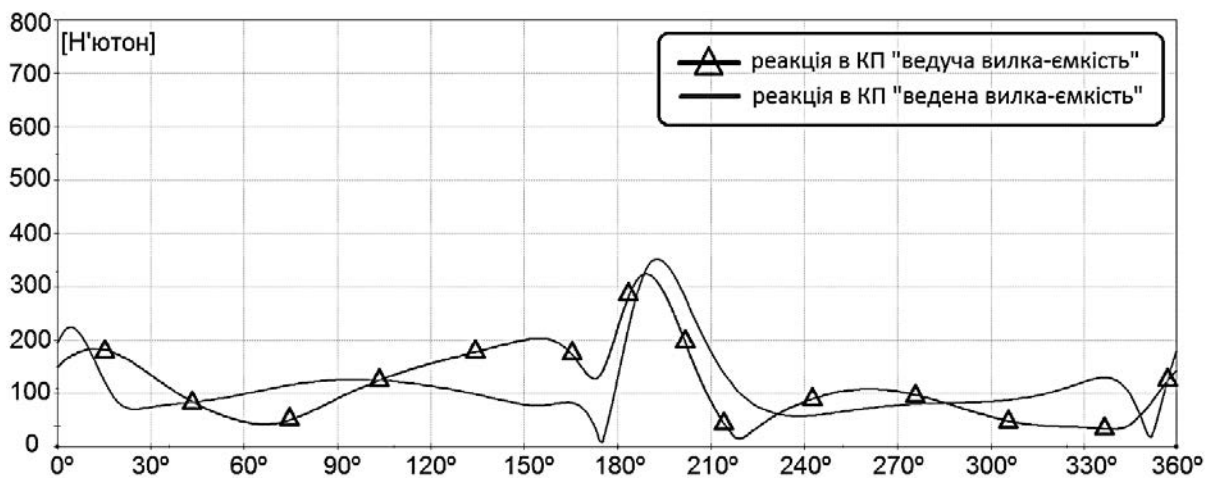


Рис. 7. Залежності величини радіальних реакцій R_{CR} та R_{DR} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

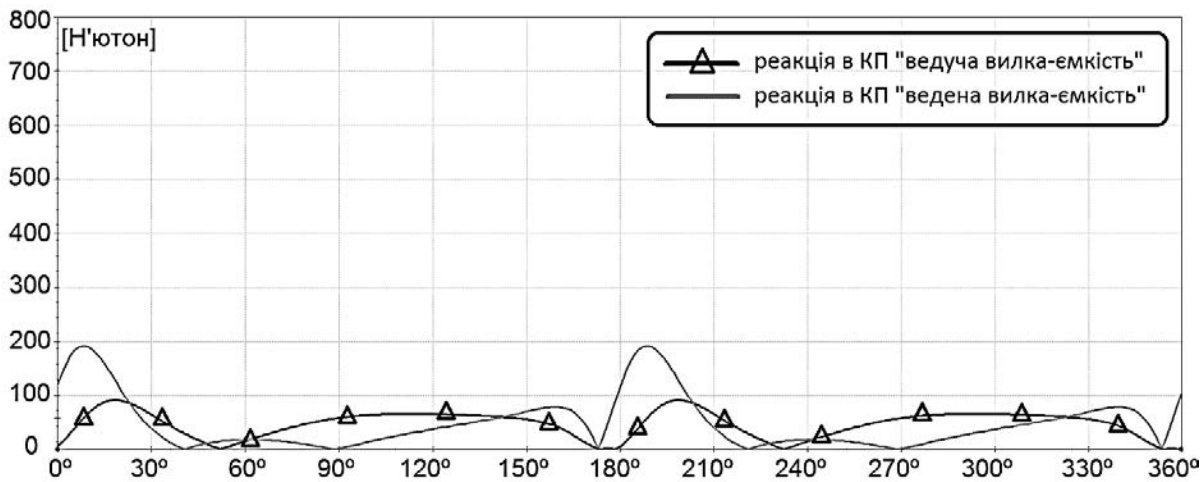


Рис. 8. Залежності величини осьових реакцій R_{CA} та R_{DA} від кута повороту ведучого валу «базової» конструкції машини на холостому ході

Проаналізувавши графіки, представлені на рис. 3 – рис. 8, можна стверджувати таке: зміна реакцій у кожній кінематичній парі має індивідуальну особливість та відмінні екстремальні значення; найбільше значення має радіальна складова реакції R_{FR} , яка виникає в кінематичній парі «станина – ведений вал» та досягає 610 Н; найменше значення мають осьові складові реакцій R_{AA} та R_{EA} , які виникають в кінематичній парі «станина – ведений вал» та досягають приблизно 80 Н; екстремуми радіальних реакцій R_{DR} , R_{ER} та R_{FR} спостерігається при повороті ведучого валу на кут 15° та 200° (за кут повороту ведучого валу машини, який відповідає 0° прийнято таке положення рухомих ланок, при якому геометрична вісь з'єднання ведучої вилки та робочої ємкості приймає горизонтальне положення).

Оскільки змодельована у САПР SolidWorks машина відповідає геометричним та конструктивним параметрам промислового змішувача «Turbula T10B», який успішно використовується

у промисловості, то значення реакцій, які виникають в кінематичних парах просторового механізму машини, під час експлуатації її на холостому ході, можуть бути «базовими» для проведення подальших досліджень, в тому числі, виконання подальшого порівняльного силового дослідження інших, розроблених авторами, конструкцій галтувальних машин без надлишкового зв'язку.

Висновки. Визначено реакції в усіх кінематичних парах просторового шестиланкового механізму машини при її роботі на холостому ході за допомогою САПР SolidWorks.

Максимальні значення усіх радіальних складових реакцій у всіх кінематичних парах машини значно більші за максимальні значення відповідних осьових складових реакцій. Найбільші значення реакцій (радіальні реакції) виникають в кінематичній парі «станина – ведучий/ведений вал».

Циклічна зміна реакцій у всіх кінематичних парах має два періоди за один повний оберт ведучого валу машини.

Список літератури:

1. Бурмістенков О.П. Виробництво литих деталей та виробів з полімерних матеріалів у взуттєвій та шкіргалантерейній промисловості : монографія / за ред. В.П. Коновала. Хмельницький : ХНУ, 2007. 255 с.
2. Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Smirnov Y.I., Klaptsov Y.V., Malyshev V.V. Experimental investigation of the handling process of polymeric units in a machine with a compacted space movement of working capacity. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*. 2019. № 2. P. 24–32.
3. Копин В.А., Макаров В.Л., Ростовцев А.М. Обработка изделий из пластмасс. Москва : Химия, 1988. 176 с.
4. Marigo M. Discrete Element Method Modelling of Complex Granular Motion in Mixing Vessels: Evaluation and Validation : dissertation EngD. The University of Birmingham, UK., 2012. 311 p.
5. Залюбовський М.Г. Панасюк І.В. Малишев В.В. Машини зі складним рухом робочих ємкостей для обробки полімерних деталей : монографія. Київ : Університет «Україна», 2018. 228 с.

6. Willy A. Bachofen (WAB): сайт. Willy A. Bachofen AG, Maschinenfabrik. 2019. URL: <https://www.wab-group.com/en/> (дата звернення: 08.08.2020).
7. Решетов Л.Н. Конструирование рациональных механизмов. Изд. 2-е, переработ. и доп. Москва : Машиностроение, 1972. 256 с.
8. Zalyubovskii M.G., Panasyuk I.V. On the study of the basic design parameters of a seven-link Spatial mechanism of a part processing machine. *International Applied Mechanics*. 2020. Issue 1. P. 54–64.
9. Машина для обработки деталей : пат. 143097 Україна ; МПК В01F 11/00. № и 202000655 ; заявл. 04.02.20 ; опубл. 10.07.20, Бюл. № 13. 4 с.
10. Панасюк І.В., Залюбовський М.Г. Визначення деяких конструктивних параметрів змішувачів з тривимірним обертанням барабану. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*. 2013. № 5. С. 76–81.

Zalyubovskiy M.G., Panasyuk I.V., Malyshev V.V. POWER STUDY OF THE SPATIAL SIX-LINK MACHINE FOR PROCESSING PARTS (PART 1: STUDY WHEN THE MACHINE IS IDLE)

High-performance execution of tumbling technological operations for processing small metal and polymer parts (grinding and polishing small parts with abrasive in the form of granules, separating parts from sprues, grinding, cleaning metal parts from corrosion products, etc.) is carried out using machines in which a working capacity performs complex spatial movement. With the help of the SolidWorks 2016 Motion computer-aided design system, 3D modeling and further power studies of the spatial six-link mechanism of the tumbling machine when it is idling have been performed. In the spatial mechanism of the machine under study, there is a passive (redundant) connection, which can have a negative impact on its operational properties. The essence of force research consists in determining and comparing the magnitude of the maximum values of the reactions in all rotational kinematic pairs of the machine, while each reaction was divided into radial and axial components. On the basis of the conducted power study of the spatial mechanism of the machine, it was found that the change in reactions in each kinematic pair has an individual peculiarity and different extreme values. The radial components of the reactions have the maximum values, and the axial components of the reactions have the minimum values. The greatest values of the reactions are also determined – these are the radial components of the reactions that arise in the kinematic pair “bed – drive shaft” and the kinematic pair “bed – driven shaft”. Cyclic change of reactions in all kinematic pairs has two periods for one complete revolution of the machine drive shaft. The obtained research results can serve as a basis for further research, including the performance of further comparative force research of other, developed by the authors, designs of tumbling machines without redundant communication.

Key words: spatial motion, force research, reactions, kinematic pair, working capacity.

УДК 62-82

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/04>**Пилипенко С.С.**

ФДБОУ ВО «Норільський державний індустріальний інститут»

Потапенков О.П.

ФДБОУ ВО «Норільський державний індустріальний інститут»

Тарасов В.К.

Запорізький національний університет

Воденнікова О.С.

Запорізький національний університет

Воденнікова Л.В.

Запорізький державний медичний університет

Бабошко Д.Ю.

Криворізький національний університет

БАГАТОСТУПЕНЕВИЙ РЕДУКТОРНО-МУЛЬТИПЛІКАТОРНИЙ ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРИВІД МАШИН

Розглянуто актуальне для машинобудування завдання підвищення ефективності роботи насосного мультипликаторного гідравлічного приводу машин. Проведено аналіз роботи простого насосного та насосно-акумуляторного приводів. Визначено можливості вдосконалення простого насосного приводу за рахунок зниження настановної потужності. Забезпечення постійного режиму роботи насоса можливе за таких умов: ступеневе або безперервне регулювання подачі насосів з урахуванням зміни навантаження; ступеневе регулювання робочого тиску насосів за збереження їх постійної подачі; зниження настановної потужності приводних електродвигунів за збереження максимальної настановної потужності насосів. Показана доцільність використання ступеневого регулювання робочого тиску насосів за збереження їх постійної подачі шляхом включення до складу приводу проміжного гідравлічного мультипликатора, який функціонує на ділянках високого навантаження (режимі мультиплікації), що дозволяє використовувати насоси низького тиску. На ділянках із низьким навантаженням (режимі редукування) пропонується розширити зону регулювання тиску. Режим редукування забезпечується використанням гідравлічного редуктора, який повторює конструкцію мультипликатора. Розглянуто доцільність використання багатоступінчастого приводу із блочним редуктором-мультипликатором. Запропонована схема приводу гідравлічного преса з чотирма ступенями тиску та швидкості, котра забезпечує додатковий ступінь тиску, за якого рідина в силовий циліндр подається від насосів безпосередньо, відповідно прес має більш широкий ступінь регулювання тиску та швидкості. Визначено умови ефективної роботи гідроприводу за різних ступенів редукації та мультиплікації, що дозволяє знизити встановлену потужність і збільшити коефіцієнт корисної дії пресу, підвищити термін служби гідроприводу внаслідок зниження нерівномірності навантаження насосів.

Ключові слова: насосний гідропривід, гідравлічний прес, редуктор-мультипликатор, режим редукування, режим мультиплікації.

Постановка проблеми. Сьогодні створення працездатних машин, які мають підвищену надійність і забезпечують безвідмовне функціонування у всіх експлуатаційних режимах, є актуальним напрямом досліджень у галузі машинобудування. Зокрема, підвищення надійності насосного гідроприводу можливе шляхом оптимізації конструкції, змінюючи в широкому діапазоні основні параметри агрегату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що насосний гідропривід використовується у вигляді насосного безакумуляторного (простого насосного) та насосно-акумуляторного приводів [1]. Суттєвими перевагами простого насосного приводу є більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД), простота конструкції й управління. Слід зазначити також і його

недоліки – велику настановну потужність і неповне використання потужності насосів і їхніх приводних електродвигунів [2].

Сьогодні серед робіт, присвячених удосконаленню конструкції гідравлічного пресу, підвищенню його продуктивності та ККД, слід виділити праці [3–7].

Питанню використання гідравлічного мультиплікатора в металорізальних станках присвячена робота [8]. Підвищення надійності роботи гідравлічних ножиць за рахунок забезпечення можливості вирівнювання траверси у її вихідне положення розглянуто у роботі [9].

Постановка завдання. Мета роботи – підвищити ефективність роботи насосного мультиплікаторного приводу за рахунок розширення зони регулювання тиску на ділянках із низьким навантаженням.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- розширити зону регулювання тиску гідроприводу на ділянках із низьким навантаженням, використовуючи режим редукування;
- розробити та дослідити конструкцію дво-режимного насосного гідроприводу із застосуванням блочного редуктора-мультиплікатора;
- визначити умови ефективної роботи гідроприводу за різних ступенів редукації та мультиплікації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні основним напрямом удосконалення простого насосного приводу є зниження настановної потужності насосів [10]. Відомі способи вирішення цього завдання спрямовані на наближення режиму навантаження насосів до характеристики так званого «ідеального насоса», для якого добуток величин подачі насосів (Q_i) та тиску (P_i), що розвивається насосами, дорівнює постійній величині.

Серед основних напрямів вирішення цього завдання слід запропонувати:

- поетапне або безперервне регулювання подачі насосів з урахуванням зміни навантаження (тиску насосів);
- поетапне регулювання робочого тиску насосів за збереження їхньої постійної подачі;
- зниження настановної потужності приводних електродвигунів за збереження максимальної настановної потужності насосів.

Перевагою способів другого напрямку є те, що вони спираються на використання простого насоса постійної подачі, та найбільш цінним із них є варіант включення до складу приводу проміжного гідравлічного мультиплікатора, який

функціонує на ділянках високого навантаження (режимі мультиплікації), що дозволяє використовувати насоси низького тиску [11; 12].

У режимі, протилежному режиму мультиплікації, режимі редукування на ділянках із низьким навантаженням, пропонується розширити зону регулювання тиску. Режим редукування забезпечується використанням гідравлічного редуктора, який повторює конструкцію мультиплікатора.

Введення до складу простого насосного приводу двох режимів регулювання тиску (режиму мультиплікації та режиму редукування) робить його редукторно-мультиплікаторним, який у режимі мультиплікації забезпечує на ділянках високого навантаження зниження робочої швидкості та тиску насоса, а в режимі редукування на ділянці низького навантаження – підвищення робочої швидкості та тиску насоса [12; 13]. Вирівнювання величини тиску насоса на рівні, набагато меншому за максимальний рівень у силовому циліндрі ($P_n < P_n^{\max}$), за постійної подачі ($Q_n = \text{const}$) забезпечує зниження настановної потужності насоса.

Підвищення швидкості на ділянці редукування компенсує зниження швидкості на ділянці мультиплікації, що дозволяє зберегти тривалість робочого циклу [13–15].

Пропонується варіант багатоступінчастого редукторно-мультиплікаторного приводу із використанням блочного редуктора-мультиплікатора.

Для прикладу розглянемо привід гідравлічного преса з чотирма ступенями тиску і швидкості.

Гідравлічний прес (рис. 1) містить силовий циліндр 1, насосну станцію 2, гідравлічний редуктор-мультиплікатор 3 із вхідним плунжерним циліндром 4 і системою двовихідних плунжерних циліндрів 5 і 6. Плунжер вхідного циліндра діаметром D і плунжери вихідних циліндрів діаметром d_1 і d_2 тягами об'єднані до загального рухливого блоку 7, дотримується співвідношення $D > d_1 > d_2$ та $D^2 < d_1^2 + d_2^2$.

Система включає чотириходовий трипозиційний реверсивний золотник 8, входи якого окремо з'єднані з напірною та зливною магістралями насосної станції, а один із виходів – трубопроводом 9 із поворотною порожниною силового циліндра. Другий вихід реверсивного золотника з'єднаний із входом триходового двопозиційного золотника 10. Закритий вихід цього золотника трубопроводом 11 з'єднаний із робочою порожниною силового циліндра, а відкритий вихід – із вхідним циліндром 4. До всіх вихідних циліндрів редуктора-мультиплікатора підключені триходові двопозиційні золотники 12 і 13, закриті виходи цих золотників з'єднані зі

зливом, а відкриті виходи, трубопроводом 14 – із поршневою порожниною силового циліндра і трубопроводом 15 – із поворотною порожниною силового циліндра. На трубопроводі 14 встановлений нормально відкритий двоходовий двопозиційний відсічний золотник 16, а на трубопроводі 15 – нормально закритий двоходовий двопозиційний відсічний золотник 17.

При роботі гідравлічного преса робочий цикл преса відбувається при працюючих насосах станції та включає періоди холостого, робочого і зворотного ходу. Холостий хід починається з положення, за якого поршень силового циліндра займає крайнє ліве положення, а блок плунжерів редуктора-мультиплікатора – крайнє нижнє положення (за схемою). Для його здійснення реверсивний золотник 8 займає позицію, за якої вхідний циліндр 4, через який перебуває у вихідній позиції золотник 10, з'єднується з напірною магістраллю насосної станції, а трубопровід 9 і поворотна порожнина силового циліндра – зі зливом. Рідина, яка надходить від насосної станції в циліндр 4, переміщує блок плунжерів 7 вгору (за схемою). Відбувається витіснення рідини з вихідних циліндрів 5 і 6, через що знаходяться в вихідних позиціях золотники 12 і 13 по трубопроводу 14 через відсічний золотник 16 в робочу порожнину силового циліндра 1. Поршень силового циліндра переміщується вправо (за схемою), витісняючи рідину з поворотної порожнини по трубопроводу 9 на злив. При прийнятому співвідношенні розмірів плунжерів циліндрів мультиплікатора ($D^2 < d_1^2 + d_2^2$) мультиплікатор функціонує як редуктор, що забезпечує підвищення швидкості поршня силового циліндра з одночасним підвищенням тиску в напірній магістралі (тиску, який розвивається насосами) відносно тиску в робочій порожнині силового циліндра, яке визначається зусиллям на штоку циліндра:

$$V_p = \frac{Q_n}{S_n \cdot K_p}, \quad (1)$$

$$P_{np} = \frac{P_u}{K_p} = \frac{R}{S_n \cdot K_p}, \quad (2)$$

де V_p – швидкість поршня, м/с; Q_n – подача насосів, м³/с; S_n – площа поршня, м²; P_{np} – тиск, що розвивається насосами, Н/м²; P_u – тиск

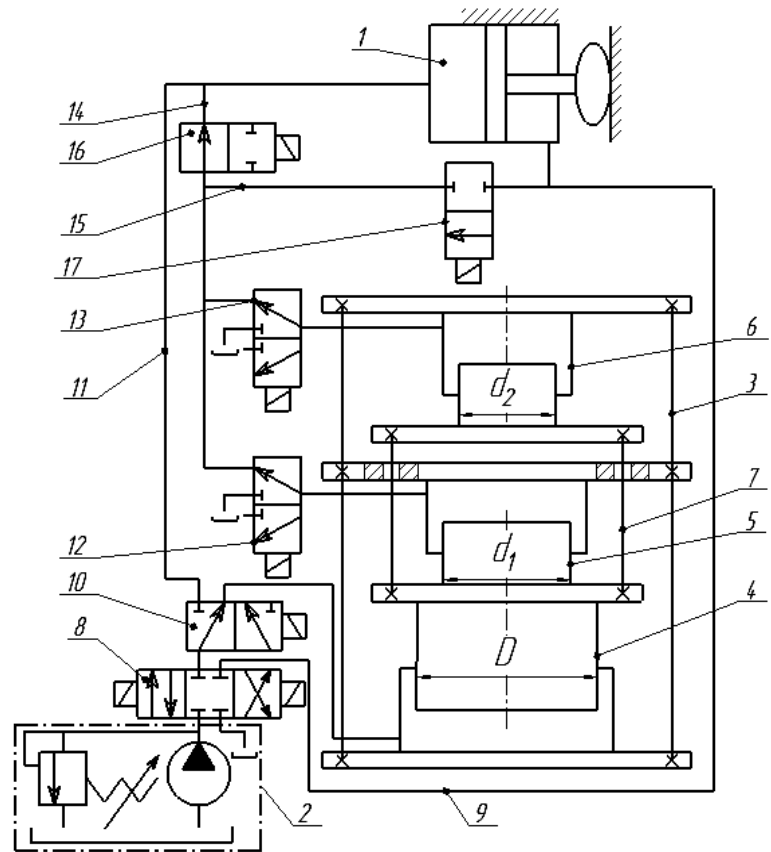


Рис. 1. Схема приводу гідравлічного преса з чотирма ступенями тиску і швидкості

у робочій порожнині силового циліндра, Н/м²; R – зусилля ходу, Н; K_p – коефіцієнт редукції на першому ступені редукування:

$$K_p = \frac{D^2}{d_1^2 + d_2^2}. \quad (3)$$

При дії технологічного зусилля на початку робочого ходу, коли тиск у робочій порожнині силового циліндра (P_u) менше за номінальний тиск ($P_{ном}$), золотник 10 займає позицію, за якої рідина від насосів по трубопроводу 11 надходить у робочу порожнину силового циліндра ($K_p = 1$).

Порівняно з режимом редукування відбувається зниження швидкості поршня за рівності тиску в робочій порожнині силового циліндра та тиску, що розвивається насосами, згідно з рівнянням:

$$V = \frac{Q_n}{S_n}, \quad (4)$$

$$P_u = P_u = \frac{R}{S_n}. \quad (5)$$

У міру подальшого зростання технологічного навантаження і тиску в силовому циліндрі до величини, що перевищує номінальний тиск

насосів ($P_u > P_{ном}$), золотник 10 перемикається у вихідну позицію, і вхідний циліндр редуктора-мультиплікатора знову підключається до напірної магістралі. Відповідно до прийнятих умов $d_1^2 < d_2^2 < D^2$ редуктор-мультиплікатор функціонує в мультиплікаторному режимі з перемиканням ступенів мультиплікації, що забезпечується відключенням одного вихідного циліндра від трубопроводу 14. Відбувається подальше зниження швидкості поршня і зниження тиску, який розвивається насосами, відносно тиску в робочій порожнині силового циліндра:

$$V_m = \frac{Q_n}{S_n \cdot K_m}, \quad (6)$$

$$P_n = P_{им} = \frac{P_u}{K_m} = \frac{R}{S_n}, \quad (7)$$

де K_m – коефіцієнт мультиплікації, м:

Перший менший ступінь мультиплікації за прийнятих умов дорівнює:

$$K_{M_2} = \frac{D^2}{d_2^2}, \quad (8)$$

відключається циліндр 6.

Другий великий ступінь мультиплікації дорівнює:

$$K_{M_2} = \frac{D^2}{d_1^2}, \quad (9)$$

відключається циліндр 5.

Відключення вихідних циліндрів здійснюється перемиканням золотників 13 і 12 відповідно.

При зворотному ході преса одночасно з поверненням поршня силового циліндра в початкове положення відбувається також повернення в початкове положення блоку плунжерів редуктора-мультиплікатора. Використовується рідина, що витісняється з робочої порожнини силового циліндра, яка заповнює порожнини вихідних циліндрів 5 і 6. Починається зворотний хід перемиканням реверсивного золотника 8 в позицію, за якої напірна магістраль насосної станції з'єднується з трубопроводом 9 і далі з поворотною порожниною силового циліндра, а силовий циліндр 4 редуктора-мультиплікатора через відкритий золотник 10 і реверсивний золотник – зі зливом. Поршень силового циліндра рухається вліво (за схемою), блок плунжерів 7 – вниз (за схемою), витісняючи рідину із вхідного циліндра 4 на злив. Обсяг рідини в робочій порожнині силового циліндра перед початком зворотного ходу може перевищувати обсяг вихідних циліндрів високого тиску мультиплікатора або бути меншим за цей обсяг. У першому випадку в крайнє нижнє положення (за схемою) виходить

блок плунжерів 7. Золотник 10 займає позицію, за якої трубопровід 11 з'єднується з реверсивним золотником. Поршень силового циліндра, продовжуючи рух вліво (за схемою), витісняє залишки рідини з робочої порожнини на злив по трубопроводу 11 через золотники 10 і 8. У другому випадку в крайнє ліве положення (за схемою) виходить поршень силового циліндра. Внаслідок цього буде вимкнено золотники 17 і 16, золотник 16 закриває трубопровід 14, золотник 17 відкриває трубопровід 15. Тепер рідина у вихідні циліндри редуктора-мультиплікатора надходить від насосної станції по трубопроводах 9 і 15 через відсічний золотник 17 і золотники 12 і 13. Виходом блоку плунжерів 7 редуктора-мультиплікатора у крайнє нижнє положення і поршня силового циліндра у крайнє ліве положення (за схемою) закінчується робочий цикл преса.

Сигнали на необхідне переключення електромагнітів золотників можна отримати від кінцевих перемикачів, які контролюють положення рухомих елементів преса і редуктора-мультиплікатора, а також від реле тиску [11; 16].

Загальна кількість (n) ступенів тиску, що забезпечується редуктором-мультиплікатором (ступені редукції та ступені мультиплікації), визначається числом вихідних циліндрів (m) зі співвідношення:

$$n = 2^m - 1. \quad (10)$$

Схема преса забезпечує також додаткову ступінь тиску, за якого рідина в силовий циліндр подається від насосів безпосередньо. Як наслідок, прес має чотири ступені тиску і швидкості [17].

Робота преса з декількома ступенями тиску і швидкості (в цьому випадку 4 ступеня) розширює технологічні можливості, наближає навантаження насосів до навантаження ідеального насоса, що дозволяє знизити встановлену потужність і підвищити коефіцієнт корисної дії преса.

Висновки. Проведено аналіз роботи діючих гідроприводів, зокрема простого насосного приводу та приводу з використанням акумуляторів. Показано доцільність використання ступеневого регулювання робочого тиску насосів при збереженні їх постійної подачі. Запропонована конструкція приводу з регулюванням режиму роботи шляхом включення до складу приводу проміжного гідравлічного мультиплікатора, який функціонує на ділянках високого навантаження. Встановлено можливість використання насосів низького тиску, тобто за рахунок використання гідравлічного редуктора забезпечується регулювання тиску і на ділянках із низьким наван-

таженням. Для промислового гідравлічного преса запропоновано гідропривід із чотирма ступенями тиску і швидкості. Визначено умови ефективної роботи гідроприводу за різних ступенів редукції

та мультиплікації, показано, що внаслідок зниження нерівномірності навантаження насосів підвищується термін служби гідроприводу і розширюються можливості технологічного процесу.

Список літератури:

1. А. с. СССР, М. Кл. В23D 15/24. Система управления подвижной траверсой гидравлических ножниц / Н.В. Становой, Л.Н. Кузьменко. № 979033; заявл. 09.07.80; опубл. 07.12.82, Бюл. № 45.
2. Разработка и исследование гидравлического редукторно-мультипликаторного привода металлургических машин / А.П. Потапенков и др. *Известия вузов. Чёрная металлургия*. 2009. № 8. С. 54–59.
3. Гидравлический привод преса: пат № 2078640 РФ: МПК В21J 9/12, В30В 15/16 / Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М.; заявл. 08.08.1995; опубл. 10.05.1997.
4. Гидравлический привод подвижной траверсы преса: пат № 2468919 РФ: МПК В30В15/16, В21J9/12, В30В1/34 / Гойдо М.Е., Бодров В.В., Багаутдинов Р.М.; заявл. 15.08.2011; опубл. 10.12.2012.
5. Гидравлический привод преса: пат № 2043930 РФ: МПК В30В15/16 / Б.А. Лабковский; заявл. 12.11.1992; опубл. 20.09.1995.
6. Гидравлический пресс: пат № 2206456 РФ: МПК В30В15/16 / Потапенков А.П., Чернобай В.М., Миняков О.В.; заявл. 03.06.1999; опубл. 20.06.2003.
7. Гидропривод: пат № 2067225 Украина: МПК F15B11/08/ Салтан С.С., Оренбойм Б.Д.; заявл. 24.10.1991; опубл. 27.09.1996.
8. Гилязетдинова А.Ф. Использование гидравлического мультипликатора в металлорежущих станках. *Актуальные вопросы техники и технологии* : сборник материалов IV Международной заочной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов. 2018. С. 409–411.
9. А. с. СССР, М. Кл. В23D 15/24, В26D 5/04. Система управления подвижной траверсой гидравлических ножниц / В.К. Викторов. № 902990; заявл. 30.06.80; опубл. 07.02.82, Бюл. № 5.
10. Гидравлический пресс: пат. № 2084348 РФ: В30В 15/24. Гидравлический пресс / А.П. Потапенков и др.; заявл. 23.03.95; опубл. 20.09.97, Бюл. № 5.
11. Добринский Н.С. Гидравлический привод прессов. Москва : Машиностроение, 1975. 222 с.
12. Бочаров Ю.А., Прокофьев В.Н. Гидропривод кузнечно-прессовых машин. Москва : Высшая школа, 1969. 247 с.
13. Yulin Wu. *Vibration of Hydraulic Machinery*. Springer. 2015. P. 500.
14. Singal R.K. *Hydraulic Machines: Fluid Machinery*. International Publishing House. 2009. P. 328.
15. Добринский Н.С. Гидравлический привод прессов. Москва : Машиностроение, 1975. 222 с.
16. Dr. Sadhu Singh. *Fluid Machinery (Hydraulic Machines)*. Khanna : Book Publishing, 2014. 550 p.
17. Разработка и исследование двухцилиндрового гидропривода металлургических машин / А. П. Потапенков и др. *Известия вузов. Чёрная металлургия*. 2011. № 2. С. 58–62.

Pilipenko S.S., Potapenkov A.P., Tarasov V.K., Vodennikova O.S., Vodennikova L.V., Babochko D.Yu. MULTILEGARY REDUCER-MULTIPLICATOR HYDRAULIC MACHINE DRIVE

The problem of increasing the efficiency of the pump multiplier hydraulic drive of machines, which is relevant for mechanical engineering, is considered. The analysis of operation of simple pump and pump-accumulator drives is carried out. The possibilities of simple pump drive improvement due to its decreasing in installation capacity are defined. Provision of pump's constant operation mode is possible under the following conditions: stage or continuous regulation of the pump supply considering the change in load; stage regulation of pump's operation pressure at preservation of their constant giving; reducing of the installation power of the drive motors while maintaining the maximum installation power of the pumps. The expediency of using stage regulation of working pressure of pumps while maintaining their constant supply by including in the drive an intermediate hydraulic multiplier, which operates in high load areas (multiplication mode), which allows the use of low pressure pumps. In areas with low load (reduction mode), it is proposed to expand the pressure control zone. The reduction mode is provided by the use of a hydraulic reducer, which structurally repeats the design of the multiplier. The expediency of using a multistage drive with a block reducer-multiplier is considered. Scheme of the hydraulic press drive with four pressure stages and speed that provides additional pressure stage is proposed. Moreover, applying it, the fluid is directly and respectively fed into the power cylinder from the pumps. Therefore, the press has a wider degree of pressure and speed control. The conditions of efficient operation of the hydraulic drive at different degrees of reduction and multiplication, which allows to reduce the installed capacity and increase the efficiency of the press and increase the service life of the hydraulic drive as a result of reducing uneven loading of pumps are determined.

Key words: pump hydraulic drive, hydraulic press, reducer-multiplier, reduction mode, multiplication mode.

АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 629.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/05>

Колесниченко С.Ф.

Летная академия

Национального авиационного университета

Рагулин С.В.

Летная академия

Национального авиационного университета

Шарабайко А.Н.

Летная академия

Национального авиационного университета

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ ПРИ ЗАХОДЕ НА ПОСАДКУ ПО МИНИМАКСНОМУ КРИТЕРИЮ

У статті вирішується проблема оптимізації управління повітряним судном під час заходу на посадку по мінімаксному критерію. Досліджується випадок бічного руху для відновлення положення по осі злітно-посадкової смуги за мінімальний час при екстремальних зовнішніх збуреннях, що включають максимально допустимий боковий вітер. Мінімізація функціоналу часу здійснюється за рахунок екстремального керування, обмеженого кутами відхилення керма управління. Детально розглянуто задачу максимально швидкого усунення бокового відхилення з довільного початкового положення в потрібне кінцеве положення. Використовуючи принцип максимуму і методи вирішення завдань управління рухом літальних апаратів, отримано рішення поставленого завдання. Особливе значення мають розрахунки фазових характеристик, параметри яких мають важливе значення як із теоретичної точки зору, так і з практичної, що полягає у важливості їх для визначення на висоті прийняття рішення і на початку вирівнювання, а також можливості їх контролю на директорних приладах заходу на посадку. В аналітичному вигляді записані умови оптимальності режиму і вивчені властивості оптимального руху. Представлені формалізовані рівняння і розрахункові вирази для побудови оптимальної програми управління з урахуванням можливих збурень. Дано ключові співвідношення, що визначають оптимальні значення параметрів закону управління. Наводяться результати математичного моделювання руху при оптимальному управлінні, що демонструють практичну реалізованість розробленого алгоритму управління. Сформульовано умову для визначення моменту початку і перемикання управління за поточними параметрами руху, що значно підвищує точність приведення повітряного судна в заданий стан за наявності обмежень на керуючі кути відхилення рулів. Даються рекомендації щодо моделювання керуючих ланок, визначення параметрів ступеня підготовки і якості пілотування по відношенню до теоретичних значень оптимальних процесів управління.

Ключові слова: оптимальне керування, задача швидкодії, мінімаксний критерій, якість системи управління, управління рухом літального апарату.

Постановка проблемы. Посадка является завершающим трудным и наименее надежным этапом полета, где в наибольшей степени сказываются все внешние факторы, усложняющие деятельность экипажа. Она выполняется практически одним человеком – пилотом, деятельность которого резко меняется от монотонности до максимальной мобилизации внимания и про-

фессиональных навыков, от полета по приборам к визуальному полету. Исправление ошибок при посадке по мере приближения к земле ограничено крайне малыми резервами времени и пространства. ВС на посадке имеет ухудшенные характеристики устойчивости и управляемости.

Усложнение летной деятельности особенно на этапе посадки вызывает необходимость деталь-

ного контролю и анализа качества управления на этом этапе.

Изложение основного материала. При управлении самолетом на посадке ставятся задачи гарантированного оптимального управления по быстрдействию при известных ограничениях на возмущающие воздействия и построение допустимых начальных состояний объекта, для которых задача посадки успешно решается, то есть необходимо построить область допустимых отклонений на высоте принятия решения (ВПР), из любой точки которого самолет может быть выведен при ручном управлении на заданный участок ВПП [2]. Наибольшие трудности вызывает компенсация боковых отклонений z и \dot{z} , поэтому рассмотрим только боковое движение. Положение самолета определяется координатами центра масс углом рыскания ψ , углом крена γ , углом скольжения $\beta = \psi + (\dot{z} - W_z)/V$ (рис. 1).

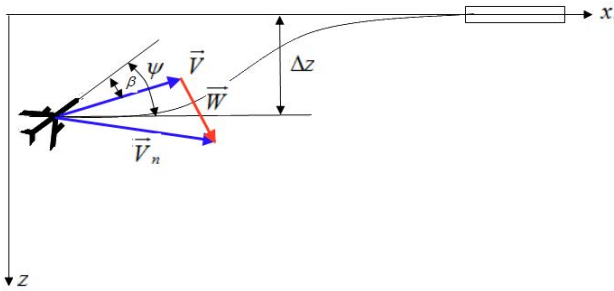


Рис. 1

Уравнения бокового движения рассматриваем в виде

$$\begin{aligned} \ddot{z} &= a_{z\beta}\beta + a_{z\gamma}\gamma + a_{z\delta_r}\delta_r \\ \ddot{\psi} &= a_{\psi\beta}\beta + a_{\psi}\dot{\psi} + a_{\psi\gamma}\dot{\gamma} + a_{\psi\delta_r}\delta_r + a_{\psi\delta_a}\delta_a \\ \dot{\gamma} &= a_{\gamma\beta}\beta + a_{\gamma\psi}\dot{\psi} + a_{\gamma}\dot{\gamma} + a_{\gamma\delta_r}\delta_r + a_{\gamma\delta_a}\delta_a \end{aligned} \quad (1)$$

δ_r – угол отклонения руля направления;

δ_a – угол отклонения элеронов.

Коэффициенты a_{ij} определяются массовыми и аэродинамическими характеристиками самолета.

$$\begin{aligned} a_{z\beta} &= \frac{qS c_z^\beta}{m}; \quad a_{\psi\delta_r} = a_{\psi\beta} \frac{m_y^{\delta_r}}{m_y^\beta}; \quad a_{\psi} = \frac{qSI^2}{2I_y V}; \quad a_{\gamma\delta_r} = a_{\gamma\beta} \frac{m_x^r}{m_x^\beta}; \\ a_{z\gamma} &= g; \quad a_{\psi\delta_a} = a_{\psi\beta} \frac{m_y^{\delta_a}}{m_y^\beta}; \quad a_{\psi\gamma} = a_{\psi} \frac{m_x^{\delta_a}}{m_y^\beta}; \quad a_{\gamma\delta_a} = a_{\gamma\beta} \frac{m_x^a}{m_x^\beta}; \quad (2) \\ a_{z\delta_r} &= \frac{a_{z\beta} c_z^r}{c_z^\beta}; \quad a_{\gamma\beta} = a_{\psi\beta} \frac{I_y m_x^\beta}{I_x m_y^\beta}; \quad a_{\gamma\psi} = a_{\psi} \frac{I_y m_x^{\delta_r}}{I_x m_y^{\delta_r}}; \end{aligned}$$

Здесь S – площадь крыла, l – размах крыла, m – масса самолета, g – ускорение свободного падения, I_i – моменты инерции относительно соответствующих осей, q – скоростной напор, ρ – плотность воздуха, c_i, m_i – безразмерные аэроди-

намические коэффициенты, c_i^j, m_i^j – производные коэффициентов по соответствующим переменным, V – воздушная скорость.

Но на предпосадочной прямой значение V стабилизируется изменением тяги двигателей. Поэтому в дальнейшем величину V , а следовательно, и коэффициенты a_{ij} будем считать постоянными. Таким образом, объект описывается системой линейных уравнений с постоянными коэффициентами шестого порядка.

Таким образом, мы получили сложную систему уравнений, которую можно упростить путем разделения программного движения, возмущений и погрешностей при управлении. Важным является вопрос учёта инерционности звеньев системы управления, таких как пилот и система управления самолета, но мы будем рассматривать медленно меняющиеся переменные – к ним относятся положение и скорость центра масс самолета.

Тогда траектория бокового движения определяется первым уравнением, весовым коэффициентом $a_{z\gamma}$ и управлением по крену.

Оптимизация управления при таком движении заключается в быстрейшем выходе в заданную точку траектории в точке начала выравнивания. С математической точки зрения в этом случае рассмотрим задачу быстрейшего с использованием принципа максимума Понтрягина [1].

В этом случае рассматривается система второго порядка

$$z = f(\dot{\gamma}, \gamma) \quad (3)$$

$$\dot{z} = f(\dot{\gamma}, \gamma) \quad (4)$$

На управляющее воздействие $u = g \sin \gamma$ (5) наложено ограничение на угол крена $|\gamma| \leq \gamma_0$ (5).

В условиях захода на посадку задаются начальные условия бокового отклонения и сноса самолета z_0 и \dot{z}_0 . Задача заключается в выборе такого управления (5), удовлетворяющего условию (6), при котором система переходит из начального состояния в начало координат, то есть в положение $z(T)$ и $\dot{z}(T)$ за минимальное время. Здесь T – момент времени начала выравнивания, который следует выбрать минимальным. Эта задача эквивалентна требованию минимизации функционала $J = \int_0^T dt$ (6).

Функцию Гамильтона

$$H = p_1 \dot{z} + p_2 u + 1,$$

где p_1 и p_2 вспомогательные переменные удовлетворяют уравнениям максимума H . Таким образом, оптимальным управлением является релейное

управление, которое принимает значения $u(t) = u_0 \text{sign } p_2(t)$, причем перемена знака происходит в моменты времени, в которых функция $p_2(t)$ пересекает нулевой уровень. Качеством управления в данном случае служит минимизация времени маневра и подготовленность пилота обеспечить выполнение оптимального управления при заходе на посадку.

При заходе на посадку различают отрезки автоматического (полуавтоматического) управления от точки входа в глиссаду до ВПР и отрезок ручного управления от ВПР до точки начала выравнивания, где $z(T) = 0$ и $\dot{z}(T) = 0$.

Моделирование бокового движения проводилось при поддержке программного пакета

Simulink [3] для самолета с массой $m=10^5$ кг и скорости захода на посадку $V=250$ км/час.

Общая схема системы моделирования представлена на рис. 2. Параметры всех звеньев настраивались с учетом характеристик самолета, в качестве управляющего сигнала и принимался угол крена γ . Начальными параметрами при моделировании служили боковое отклонение φ , а также \dot{z} , что подразумевает начальную скорость сноса или наличие ошибки курса. На рисунке 3 отображена траектория бокового движения при крене $\gamma = 30^\circ$, начальном боковом отклонении $\varphi = 200$ м и боковом ветре $W = 0$ м/сек и $W = 15$ м/сек. Время выхода в точку начала выравнивания

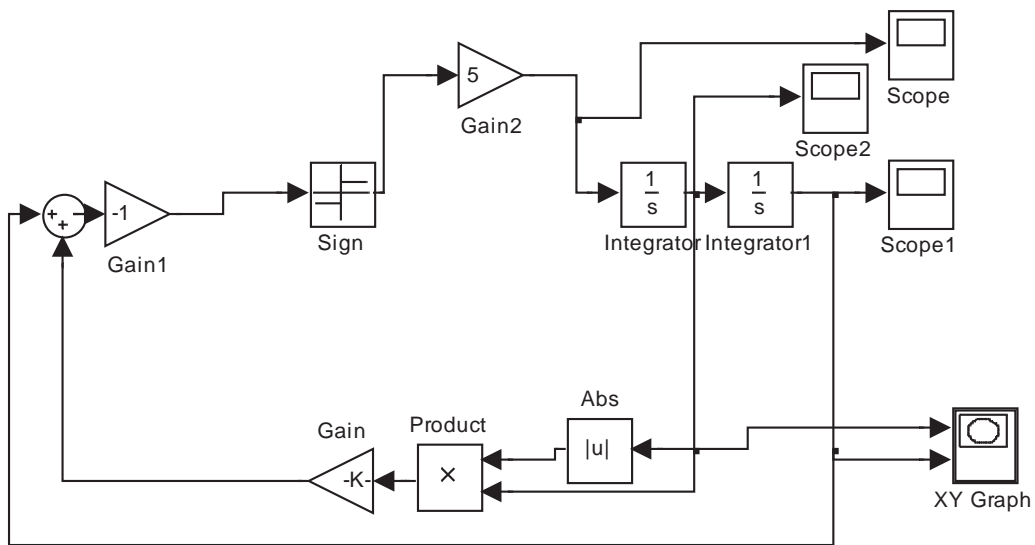


Рис. 2

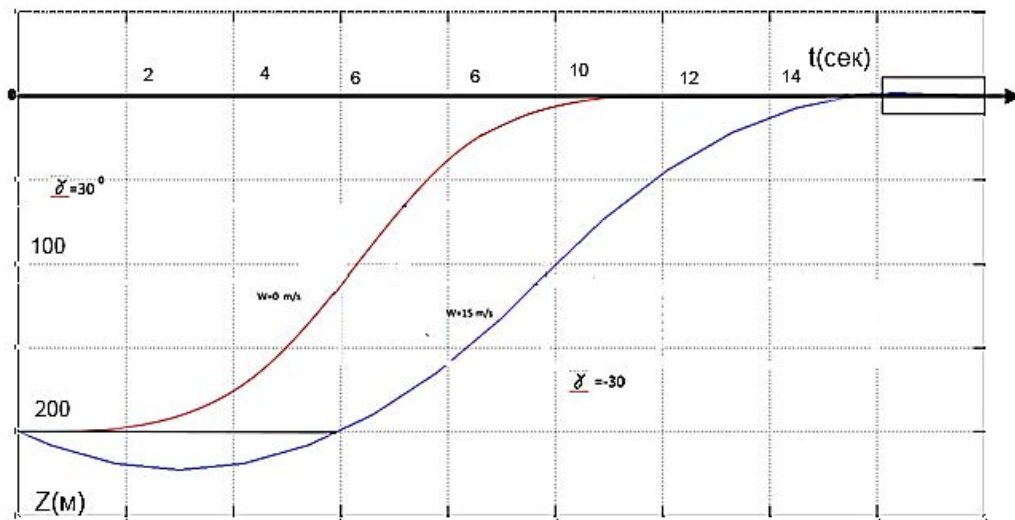


Рис. 3

нивания равнялось $t = 11$ сек при отсутствии бокового ветра $w = 0$ м/сек и боковом отклонении $\Delta_z = 200$ м и $t = 16$ сек при бокового ветра $w = 0$ м/сек. При этом следует обратить внимание на простой график траектории движения при отсутствии ветра, из которого видно, что перекладка рулей осуществляется симметрично на половине временного положения и при боковом отклонении $\Delta_z = 100$ м. При наличии бокового ветра время и место перекладки рулей изменяется, что значительно усложняет задачу пилоту.

На рисунке 4 представлены траектории бокового движения с креном $\gamma = 6^\circ$ при различном боковом ветре. Уменьшение управляющего крена повышает безопасность полета, однако время восстановления и попадания на ось ВПП значительно увеличивается и может достигать одной минуты.

На рисунке 5 представлены фазовые траектории оптимального управления боковым движением. Для решения задач синтеза оптимальных систем управления важное значение для представления имеют фазовые траектории системы, которые отображают отклонение от нулевой точки с координатами $\Delta_z = 0$ м и $\dot{z} = 0$ м/сек. Из графика видно, что для парирования начальных отклонений и точного выхода в конечную точку требуется точное определение времени и места на траектории для переключения управления. Фазовые координаты, кроме теоретического значения, имеют важное практическое значение для пилота, так как они характеризуют отклонение

от оси ВПП и скорость ухода от линии заданного пути и отражаются на директорных приборах. Значение этих параметров на высоте принятия решения может гарантировать посадку и выход в точку начала выравнивания с нулевыми значениями этих параметров. В качестве примера на рисунке 6 представлены допустимые отклонения параметров (фазовых координат) пролета ВПП для гарантированного обеспечения посадки. График построен для управляющих сигналов, соответствующих ступенчатому отклонению элеронов, обеспечивающих крен $\gamma = 6^\circ$ и расчетном времени маневра $t = 15$ сек.

В качестве примера на рисунке 6 представлены допустимые отклонения параметров (фазовых координат) пролета ВПП для гарантированного обеспечения посадки. График построен для управляющих сигналов, соответствующих ступенчатому отклонению элеронов, обеспечивающих крен $\gamma = 6^\circ$ и расчетном времени маневра $t = 15$ сек. Следует учесть, что в общем случае график носит симметричный характер, соответствующий различному отклонению от оси ВПП, направлению ветра и скорости сноса.

Из графика можно определить, что максимальное отклонение даже при отсутствии ветра составляет не более $\Delta_z = 50$ м и при выходе на ось ВПП с боковым сносом со скоростью $\dot{z} = 6$ м/сек оптимальное управление может обеспечить гарантированную посадку только через $t = 15$ сек. Это время является теоретически минимальным и служит

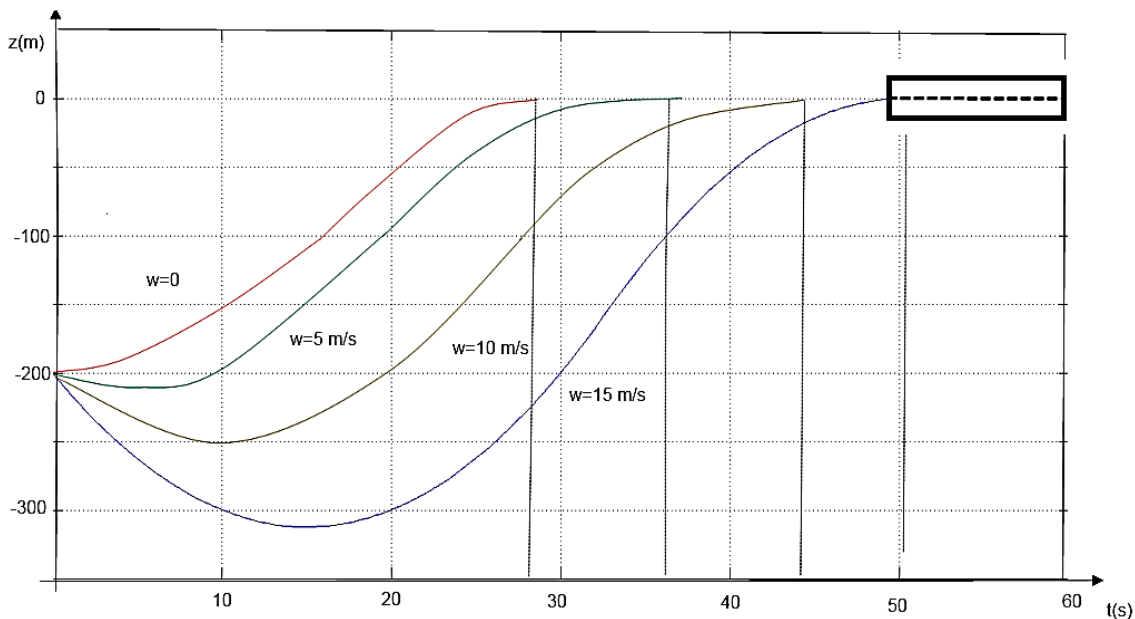


Рис. 4

для оценки качества пилотирования при обучении курсантов. С практической стороны для расчета реального времени необходимо учитывать инерционность звеньев управления, а также человеческий фактор, заключающийся в оценке профессиональной подготовки пилота. Эти факторы могут быть учтены путем введения звеньев управления в виде передаточных функций, соответствующих характеристикам воздушного судна и пилота. Основными параметрами, характеризующими пилота (управляющего звена), являются постоянная времени и коэффициент усиления, которые могут быть скорректированы профессиональной подготовкой и оценены с точки зрения соответствия максимальным теоретическим значениям, полученным в результате математического моделирования опти-

мальных процессов управления воздушным судном на таком важном этапе, как заход на посадку и посадка. Эти параметры с учетом человеческих факторов должны обеспечить гарантированное приземление в заданных пределах отклонения.

Выводы. Используя методы математического моделирования, в работе определены:

- 1) параметры оптимального управления по быстродействию для самолетов на этапе предпосадочного маневрирования;
- 2) предельные отклонения фазовых координат для гарантированного обеспечения безопасной посадки;
- 3) полученные результаты могут быть использованы для оценки качества управления с различным уровнем профессиональной подготовки.

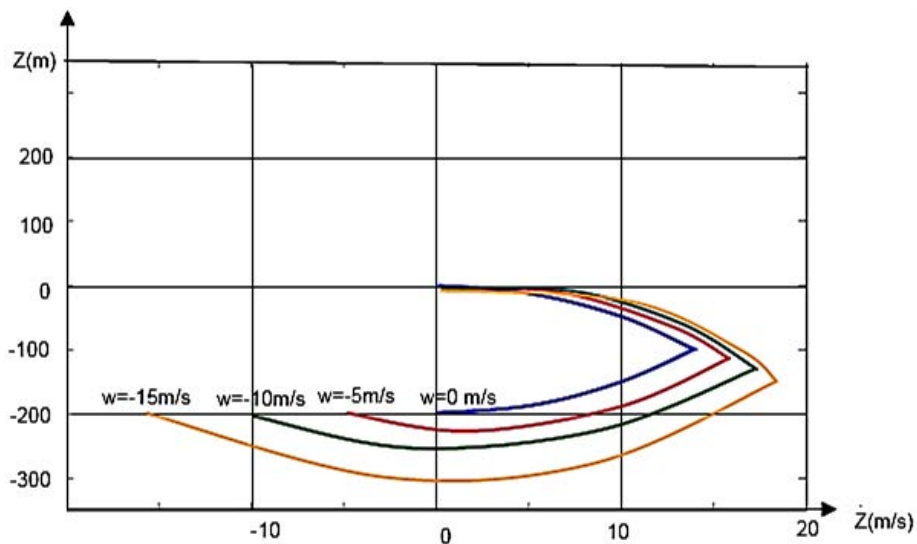


Рис. 5

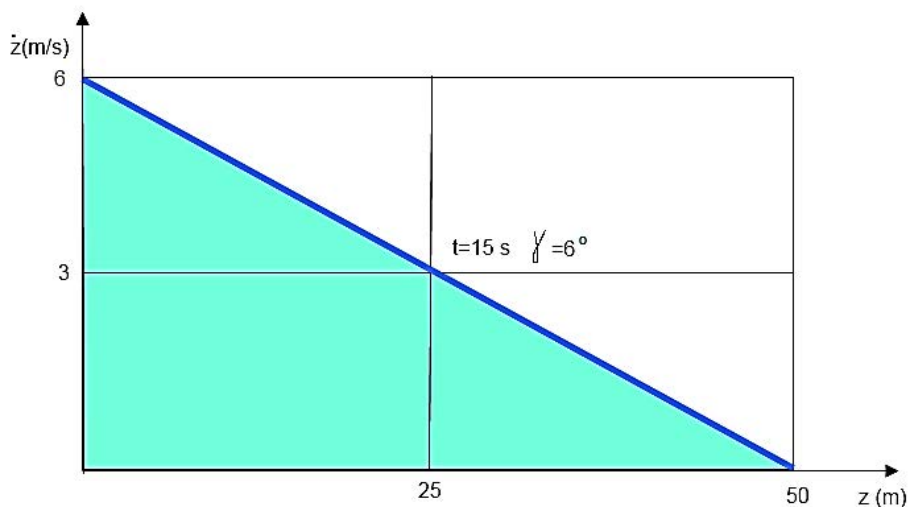


Рис. 6

Список литературы:

1. Э. П. Сейдж, Ч. С. Уайт. Оптимальное управление системами. Москва : Радио и связь, 1982. 392 с.
2. Кейн В. М. Оптимизация систем по минимаксному критерию. Москва : Наука, 1985. 247 с.
3. Тунік А.А., Абрамович О.О. Основи сучасної теорії управління. Київ : Вид. НАУ, 2010. 260 с.

Kolesnychenko S.F., Rahulin S.V., Sharabaiko A.N. AIRCRAFT CONTROL OPTIMIZATION DURING LANDING APPROACH ACCORDING TO THE MINIMAX CRITERION

The article solves the problem of optimization of aircraft control during landing approach according to the minimax criterion. The case of lateral movement is investigated to restore the position along the runway axis in the minimum time under extreme external disturbances, including the maximum allowable crosswind. Minimization of the time functional is carried out due to the extreme control limited by the control rudder deflection angles. The problem of the fastest elimination of lateral deviation from an arbitrary initial position to the required final position is considered in detail. Using the maximum principle and methods for solving problems of controlling the movement of aircraft, a solution to the problem is obtained. Of particular importance are the calculations of the phase characteristics, the parameters of which are important both from a theoretical point of view and from a practical point of view, which is their importance for determining at the height of decision-making and at the beginning of the alignment, as well as the possibility of their control on the director approach devices. In an analytical form, the conditions for the optimality of the regime are written down and the properties of the optimal movement are studied. Formalized equations and calculated expressions are presented for constructing an optimal control program taking into account possible disturbances. Key relationships are given that determine the optimal values of the control law parameters. The results of mathematical modeling of motion under optimal control are presented, demonstrating the practical feasibility of the developed control algorithm. A condition is formulated for determining the moment of starting and switching control according to the current parameters of movement, which significantly increases the accuracy of bringing the aircraft to a given position in the presence of restrictions on the control angles of deflection of the rudders. Recommendations are given regarding the modeling of control links, the determination of the parameters of the degree of training and the quality of piloting in relation to the theoretical values of the optimal control processes.

Key words: *optimal control, performance problem, minimax criterion, the quality of the management system, control of the movement of the aircraft.*

РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/06>

Бугайов М.В.

Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РАДІОСИГНАЛІВ OFDM-МОДЕМІВ КОРОТКОХВИЛЬОВОГО ДІАПАЗОНУ В ІНТЕРЕСАХ РАДІОМОНІТОРИНГУ

У статті показано, що в сучасних бездротових стандартах передавання інформації досить часто зустрічається використання OFDM технології, зокрема для організації радіозв'язку в короткохвильовому діапазоні. OFDM сигнали в порівнянні з іншими технологіями мають такі характерні особливості: наявність преамбули, циклічного префікса, частотних каналів і пілотних несучих, що забезпечує необхідну частотну й часову синхронізацію та стійкість до багатопроменевого поширення. Проведено аналіз особливостей радіосигналів OFDM-модемів короткохвильового діапазону цивільного й військового призначення, зокрема сімейства CIS, HFDVL, різних протоколів STANAG, Marconi Selenia, PRC-16, Q-MAC, WINDRM51, DRM, MT63, Robust PACKET. Показано, що для кожного стандарту кількість частотних каналів і схема розміщення пілотних несучих, а також структура преамбули й тривалість циклічного префікса суттєво відрізняються. Зважаючи на різноманітність структур OFDM сигналів і значень їхніх параметрів, для систем радіомоніторингу їхніми характерними й стійкими ознаками на етапі виявлення можна вважати структурні особливості автокореляційної функції та спектра. На автокореляційній функції спостерігаються сплески зі значними амплітудами в процесі суттєвої кореляції суміжних тактових інтервалів (через наявність циклічного префікса й пілотних несучих). Використання таких ознак також дозволить досить точно визначити тривалість інтервалу ортогональності й схему розміщення пілотних несучих. Під час глибоких завмирань, що характерно для короткохвильових каналів, форма спектру OFDM сигналу може суттєво відрізнитися від прямокутної, що ускладнює їхню ідентифікацію. Тому як характерну ознаку таких сигналів доцільно використовувати їхню гребінчасту форму спектру. Використання таких ознак у процесі розроблення автоматичних алгоритмів для систем радіомоніторингу може забезпечити надійне виявлення сигналів OFDM модемів під час швидкого сканування широких смуг частот.

Ключові слова: OFDM-модем, структура сигналу, циклічний префікс, частотні канали, пілотні несучі, модуляція.

Постановка проблеми. У сучасних бездротових стандартах передавання інформації все частіше зустрічається використання OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) технології. Крім цивільних радіосистем, OFDM-модеми використовують також у військовій сфері для організації радіозв'язку в короткохвильовому (далі – КХ) діапазоні [1; 2]. Це пов'язано з ефективним використанням радіочастотного спектра й стійкістю таких сигналів у разі поширення через канали із частотно-селективним завмиранням. Для забезпечення таких переваг OFDM сигнали в порівнянні з іншими технологіями мають такі характерні особливості: наявність преамбули, циклічного префікса, частотних каналів і пілотних несучих, що забезпечує необхідну частотну

й часову синхронізацію та стійкість до багатопроменевого поширення. Проте для кожного стандарту кількість і схеми розміщення частотних каналів і пілотних несучих, а також структура преамбули й тривалість циклічного префікса суттєво відрізняються. Тому для розроблення алгоритмів автоматичного виявлення, оцінювання параметрів і розпізнавання типу модуляції радіосигналів вказаних OFDM-модемів необхідно провести детальний аналіз їхніх особливостей для виділення характерних і стійких ознак.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складність структури сигналів OFDM-модемів суттєво ускладнює розв'язання завдань радіомоніторингу в КХ діапазоні. Питання аналізу особливостей таких сигналів розглядалися в роботах [3–7].

У [3] показано, що інформативними ознаками OFDM сигналів є наявність і знак циклічного префікса, пілотні несучі, синхронувальна послідовність, кількість несучих частот. Запропоновано загальні підходи до ідентифікації структури OFDM сигналів. У [4] як характерні ознаки OFDM визначено циклічний префікс. Для виявлення таких сигналів запропоновано розраховувати циклічну автокореляційну функцію (далі – АКФ). У [5] аналіз сигналів OFDM ґрунтується на виявленні періодичних властивостей пілотних несучих і визначенні їхнього частотного рознесення. Водночас ураховуються такі особливості несучих: частотне рознесення між ними є постійним і більшим за смугу когерентності, пілотні несучі розташовані на однакових позиціях кожного символу з однаковими фазами, а їхня потужність приблизно на 2,5 дБ вища, ніж інформаційних. У [6] за характерні ознаки було запропоновано використовувати кепстральні оцінки, які для OFDM мають 1–2 виражені піки. У [7, с. 133] показано, що перед початком OFDM фрейма передаються нульові символи (без передачі потужності) для оцінювання рівнів шуму й інтерференції та грубої синхронізації за часом. За нульовими символами прямують опорні сигнали, в результаті оброблення яких досягається точна синхронізація.

Стислий аналіз публікацій за напрямком дослідження вказує на необхідність проведення детальнішого аналізу радіосигналів OFDM-модемів КХ діапазону й подальшого узагальнення його результатів.

Постановка завдання. Метою статті є проведення аналізу радіосигналів OFDM-модемів КХ діапазону, виділення їхніх характерних і стійких ознак і формування рекомендацій для розроблення автоматичних алгоритмів оброблення таких сигналів у сучасних системах радіомоніторингу.

Виклад основного матеріалу дослідження. OFDM є схемою модуляції, яка використовує велику кількість близько розташованих ортогональних несучих. Кожна несуча модулюється за звичайною схемою на низькій символній швидкості, зберігаючи загальну швидкість передачі даних, як і у звичайних системах на одній несучій у тій же смузі пропускання. Амплітуда й початкова фаза кожного модульованого коливання залежить від значень інформаційних бітів, які воно переносить. Для часової та частотної синхронізації та боротьби з інтерференцією між несучими використовується циклічний префікс. Через його наявність у процесі спектрального аналізу OFDM сигналів виникає можливість визначити кількість несучих та їхнє рознесення. Чим довшим є такий префікс,

тим краще проглядаються частотні канали. Спектр OFDM сигналу без циклічного префікса має практично рівний шумоподібний спектр.

Пілотні несучі застосовуються для захвату фази й вирівнювання каналу. Часто вони мають модуляцію BPSK, а бінарні дані утворені псевдо-випадковою послідовністю. Для боротьби з ефектом Доплера в кожному символі OFDM кілька несучих не модулюються, а сусідні несучі залишають нулями для легшого виділення пілотних несучих. Потужність і кількість пілотних несучих – компроміс між якістю оцінки стану каналу й втратами в значенні відношення сигнал-шум (далі – ВСШ). Потужність пілотних несучих, як правило, вища за потужність інформаційних.

Перед OFDM пакетом завжди розміщується преамбула для виявлення початку пакету, автоматичного регулювання підсилення, часової синхронізації, оцінювання частоти та якості каналу. У преамбулі також передаються значення швидкості кодування, довжини пакету й типу модуляції.

Деякі характеристики сигналів OFDM-модемів КХ діапазону цивільного й військового призначення наведено у [8–9]. У процесі подальшого викладення матеріалу використано узагальнення цих даних, а також результати аналізу записів відповідних радіосигналів.

Сімейство російських модемів CIS OFDM HDR (High Data Rate) працюють у п'яти режимах CIS-45, CIS-60, CIS-93, CIS-112 і CIS-128, де цифри відповідають кількості несучих OFDM у сигналі. Немодульована пілотна несуча зміщена від крайньої верхньої несучої OFDM на 2 канали для CIS-45, на 3 канали для CIS-60 і на 4 канали для CIS-93. Сигнал модема CIS-112 має преамбулу з 7 тонів у каналах із номерами 1, 7, 33, 49, 65, 81, 97 (крок складає 16 каналів або 410,25 Гц), що передаються на тривалості 19 символів OFDM (рис. 1а). Після цієї частини преамбули розташовані 56 несучих на непарних каналах (рознос складає 51,28 Гц) тривалістю 11 символів. Немодульована несуча зміщена від крайньої верхньої несучої OFDM на 4 канали й має на 6 дБ більшу потужність, ніж перші 7 несучих преамбули, й на 12 дБ більшу, ніж у разі передачі даних на 112 каналах із даними. У сигналі модема CIS-128 використано 128 каналів з однією подавленою несучою в центрі спектра таким чином, що спектр сигналу поділено на дві частини по 64 канали.

Модем HFDV (High Frequency Data and Voice Link) (Іспанія) призначений для використання у військовій сфері відповідно до STANAG 5066. Преамбула складається з 3 частин. Перша

частина містить одну немодульовану несучу тривалістю 19 або 13 символів (рис. 1б). Друга частина складається з двох символів із відомими даними. Третя частина містить 1 символ на парних несучих і 3 символи на непарних несучих. Загальна кількість несучих 73, з них 13 – пілотні. На 73-му каналі передається немодульована пілотна несуча. Інші 12 пілотних несучих передаються в непарних каналах за трьома різними схемами, які змінюються кожного символу.

Протоколи передачі OFDM-модема за STANAG 4197 визначаються MIL-STD-188-110B [10]. Кількість частотних каналів становить 39, а 40-й використовує немодульовану несучу для корекції частотних зсувів, потужність якої на 6 дБ вища за будь-яку іншу несучу. Преамбула містить три частини. Перша має тривалість 14 символів і містить 4 немодульовані несучі (рис. 2а). Друга частина тривалістю 8 символів має 3 модульовані несучі, причому на межі символів фаза зміню-

ється на 180° . Третя частина має тривалість 1 символ і містить 39 несучих і немодульовану несучу. Потужність сигналу в преамбулі приблизно така ж як і під час передачі даних. При низьких значеннях ВЧШ існує можливість обрати розширену преамбулу, в якій тривалість першої, другої та третьої частин складає 58, 27 і 18 символів відповідно.

Модем Marconi Selenia 25-Tone використовує 12 несучих у нижній частині спектра й 13 у верхній, розділених нульовою несучою (рис. 2б). Преамбула тривалістю 510 мс має дві частини. Перша частина (260 мс) містить 1 немодульовану несучу й 2 несучі з модуляцією FSK. У другій частині преамбули передаються службові дані на всіх несучих.

Китайський модем PRC-16 під час передачі даних використовує формат, подібний до MIL-STD-188-110 App.A 16-tone OFDM. Немодульована несуча повторюється кожні 720 мс. Дані передаються пакетами тривалістю 1150 мс кожен

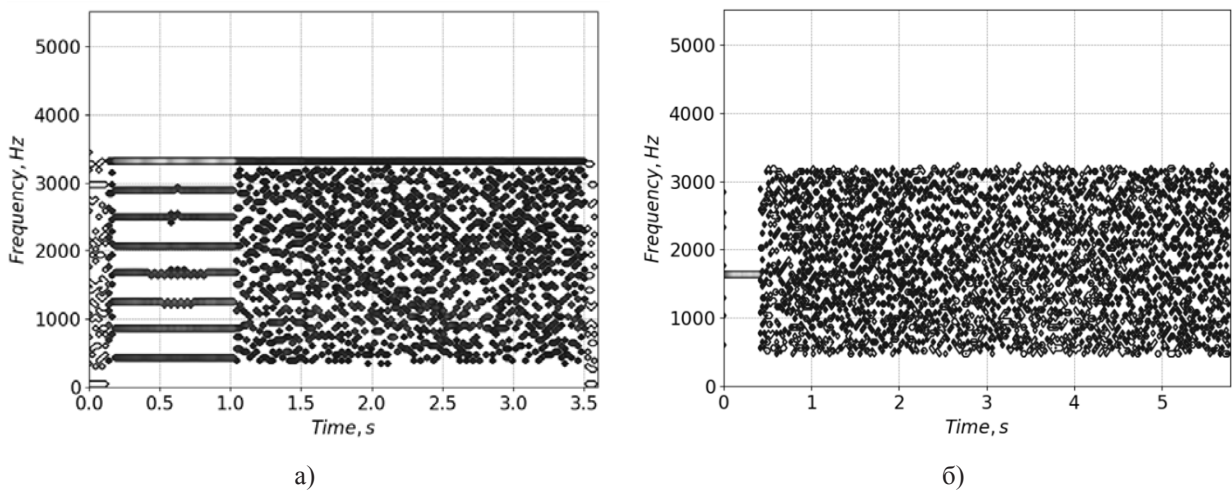


Рис. 1. Спектрограма сигналу модемів CIS-112 (а) й HFDVL (б)

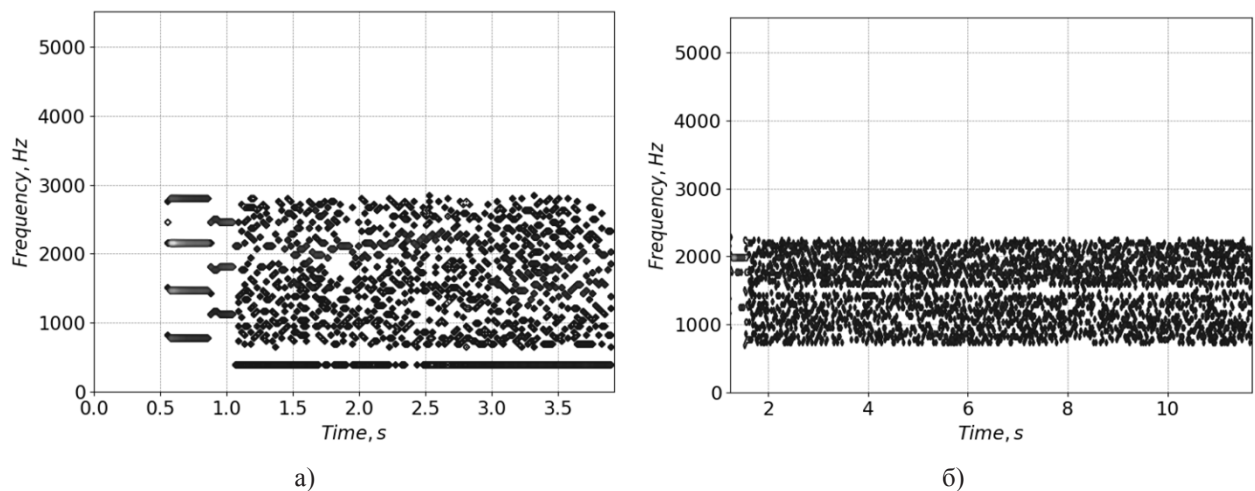


Рис. 2. Спектрограма сигналу модемів MIL-STD-188-110B (а) й Marconi Selenia (б)

(600 мс для преамбули й 550 мс для передачі даних) (рис. 3а).

Модем Q-MAC має в нижній частині спектру 20 несучих з модуляцією DQPSK, через 200 Гц передається несуча синхронізації з BPSK, а ще через 190 Гц – 10 несучих із модуляцією DQPSK (рис. 3б).

Сигнал модема STANAG4197 подібний до MIL-STD-188-110B, проте в ньому відсутня пілотна несуча на частоті 393,7 Гц, а передачі даних на 39 несучих передеує заголовок на 16 несучих.

Британський модем UK GOV MIL WINDRM51 є частинним випадком OFDM, що використовує лише один із кожних двох символів.

Стандарт цифрового радіо Digital Radio Mondiale (DRM) є цифровою альтернативою КХ радіо з амплітудною модуляцією. DRM використовує COFDM і модуляцію QAM. Найчастіше використовується смуга частот 10 кГц. Система може працювати в чотирьох режимах залежно від умов поширення радіохвиль. У кожному режимі використовується різна кількість несучих, рознесення між ними, ширина смуги, тривалість символу й захисного інтервалу. Протокол WinDRM (відомий також як HamDRM або Digital SSTV) – аматорська адаптація DRM.

Модем MT63 було розроблено для використання під час високих рівнів шуму (для ВСШ від -8 дБ). Стійкість до перешкод забезпечується перемежуванням кожного символу, що передається, в часі й між кількома несучими. Самі дані кодуються з використанням перетворення Уолша-Адамара (128×64). Глибина перемежування може складати 8, 32 або 64 біти. Такий модем дуже чутливий до неточностей встановлення частоти дискретизації. Подібний аматорський модем

Q15X25 використовує перемежування, 4 типи перешкодостійкого кодування та ARQ.

Аматорський модем Robust PACKET є оптимізованою для КХ діапазону версією протоколу PACKET. Використовує згортковий код корекції помилок. Робоче значення ВСШ складає 7–10 дБ. Швидкість коду й символна швидкість обирається залежно від рівня шумів у каналі.

Параметри сигналів розглянутих OFDM-модемів наведено в табл. 1.

Зважаючи на різноманітність структур розглянутих OFDM сигналів і значень їхніх параметрів, для систем радіомоніторингу їхніми характеристиками й стійкими ознаками на етапі виявлення можна вважати такі:

1. Сплески АКФ зі значними амплітудами в разі суттєвої кореляції суміжних тактових інтервалів (рис. 4а) (через наявність циклічного префікса й пілотних несучих). Використання таких ознак також дозволить досить точно визначити тривалість інтервалу ортогональності й схему розміщення пілотних несучих.

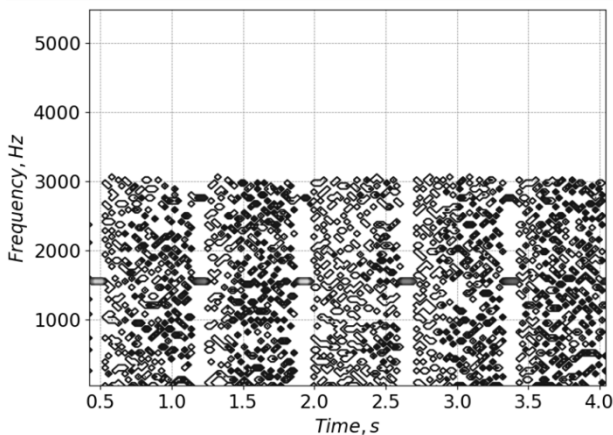
2. Під час глибоких завмирань, що характерно для КХ каналів, форма спектру OFDM сигналу може суттєво відрізнитися від прямокутної, що ускладнює їхню ідентифікацію. Тому як характерну ознаку таких сигналів доцільно використовувати їхню гребінчасту форму спектру (рис. 4б).

Використання таких ознак може забезпечити надійне виявлення сигналів OFDM модемів у разі швидкого сканування широких смуг частот.

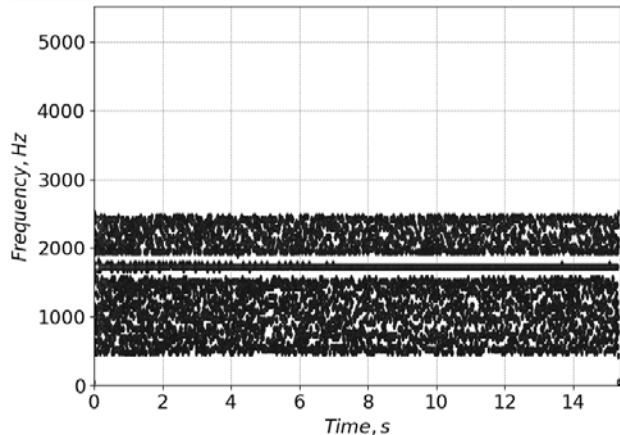
Для розпізнавання конкретного модема доцільно використовувати такі ознаки:

1. Структуру преамбули.

2. Значення основних параметрів: кількості каналів, ширини спектру, тривалостей інтервалу ортогональності, циклічного префікса.



а)



б)

Рис. 3. Спектрограма сигналу модемів PRC-16 (а) й Q-MAC (б)

Параметри сигналів OFDM-модемів

Тип модема	Значення параметра				
	Тип модуляції	Ширина смуги, кГц	Кількість несучих	Швидкість передачі даних, біт/с	Рознесення несучих, Гц
CIS-45	BPSK	2,95	45	1 800 (1 500)	62,5
CIS-60	DPSK-8	2,8	60	2 133,33	44,44
CIS-93	QPSK	3	93	2 046	31,25
CIS-112	DQPSK	2,9	112	2 488,64	25,6
CIS-128	QAM-16, PSK	3,1 (6,1)	128	2 688 (5376)	23,5 (47)
HFDVL	PSK, QAM-16, QAM-64	3	73	~8 000+	37,62
MIL-STD-188-110B	pi/4 DQPSK	2,4	39	75–2 400	56,25
Marconi Selenia 25-Tone	QPSK	1,6	25	2 400	60
PRC-16	PSK	2,2	16	1 200	110
Q-MAC	pi/4 DQPSK	2	30	2 586	54,1
STANAG 4197	QPSK	2,3	39	2 400	56
UK GOV MIL WINDRM51	QPSK, QAM	2,5	51	2 400	47,12
DRM	QAM	4,5; 5; 9; 10; 18; 20	88-460	7 100–7 2000	41,66-107,14
WinDRM	QAM-64	2,2-2,4	51	10 800	46,875
MT63	BPSK	0,5; 1; 2	64	640; 1 280; 2 560	7,81; 15,635; 31,25
Q15X25	QPSK	1,95; 2,35	15	1 000–5 000	125; 150
Robust PACKET	DBPSK, DQPSK	0,5	8	200–600	60

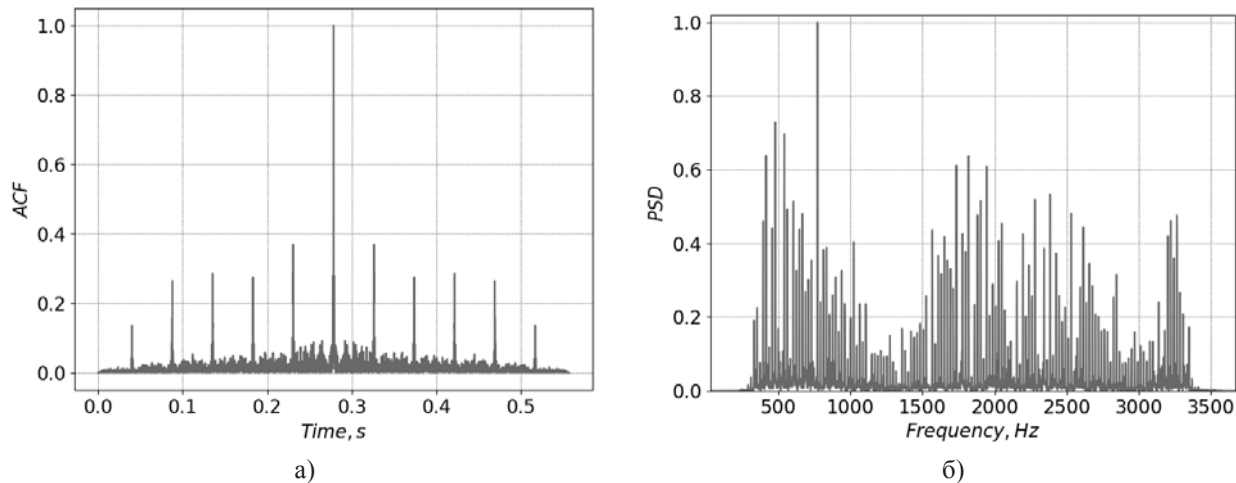


Рис. 4. Типова АКФ (а) й спектр (б) OFDM сигналу

3. Наявність і параметри немодульованої несучої.
4. Наявність нульової (віртуальної) несучої в спектрі.
5. Схему розміщення пілотних несучих.

Висновки. Сигнали OFDM-модемів КХ діапазону довжин хвиль суттєво відрізняються між собою за структурою преамбули, кількістю

частотних каналів, кількістю та схемою розміщення пілотних несучих, тривалістю захисного інтервалу. Під час розроблення автоматичних алгоритмів виявлення таких сигналів доцільно використовувати структурні особливості їхньої автокореляційної функції та спектральної щільності потужності.

Список літератури:

1. Next Generation COFDM Microwave Links for Military Surveillance. Special Report. Global Business Media. 2013. 16 p.
2. Міщенко А.О., Шишацький А.В., Бондаренко Т.В., Бігун Н.В., Ляшенко Г.Т. Аналіз використання сучасних технологій радіозв'язку у збройних силах провідних країн світу. *Системи обробки інформації*. 2019. Вип. 4 (159). С. 50–57. DOI: 10.30748/soi.2019.159.06
3. Белокуров А.А., Кузниченко В.С., Рассомахин С.Г. Принципы и подходы к анализу параметров OFDM сигналов в системах автоматического радиомониторинга. *Обработка информации в складних технічних системах*. 2010. С. 55–59.
4. Vizziello A., Akyildiz I.F. et al. OFDM Signal Type Recognition and Adaptability Effects in Cognitive Radio Networks. *IEEE Globecom proc.* 2010. P. 1–5.
5. Sohn S.H., Han N., Kim J.M., Kim J.W. OFDM Signal Sensing Method Based on Cyclostationary Detection. *IEEE Xplore*. 2009. P. 1–6.
6. Liedtke F., Albers U. Evaluation of features for the automatic recognition of OFDM signals in monitoring or cognitive receivers. *Journal of Telecom. and Inf. Techn.* 2008. P. 30–36.
7. Fazel K., Kaiser S. Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems: From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX. 2nd Edition. John Wiley & Sons, Ltd. 2008. 380 p.
8. High Frequency (HF). URL: <https://www.sigidwiki.com/wiki/Category:HF> (дата звернення: 14.08.2020)
9. HF utility / milcomm and signals. URL: <https://i56578-swl.blogspot.com/search/label> (дата звернення: 10.08.2020)
10. MIL-STD-188/110B. Department of defense interface standard: interoperability and performance standards for data modems (27-APR-2000).

Buhaiov M.V. ANALYSIS OF HIGH FREQUENCY OFDM MODEMS SIGNALS IN INTEREST OF RADIOMONITORING

The article shows that in modern wireless standards of information transmission the use of OFDM technology is quite common, in particular for the organization of radio communication in the shortwave (HF) band. OFDM signals in comparison with other technologies have the following characteristics: the presence of a preamble, cyclic prefix, frequency channels and pilot carriers, which provides the necessary frequency and time synchronization and resistance to multipath propagation. Was analyzed features of radio signals of HF OFDM modems of civil and military purpose of family CIS, HFDVL, various protocols STANAG, Marconi Selenia, PRC-16, Q-MAC, WINDRM51, DRM, MT63, Robust PACKET. It is shown that for each standard the number of frequency channels and the layout of the pilot carriers, as well as the structure of the preamble and the duration of the cyclic prefix differ significantly. Due to diversity of OFDM signal structures and the values of their parameters, for radio monitoring systems as their characteristic and stable features at the stage of detection can be considered structural features of autocorrelation function (ACF) and spectra. ACF has bursts with significant amplitudes due to correlation of adjacent clock intervals. The use of such features will also allow to determine quite accurately the duration of the orthogonality interval and the layout of the pilot carriers. With deep fading, which is characteristic of HF channels, the shape of the OFDM signal spectrum can differ significantly from the rectangular, which complicates their identification. Therefore, as a characteristic feature of such signals, it is advisable to use their comb shape of the spectrum. The use of these features in the development of automatic algorithms for radio monitoring systems can provide reliable detection of OFDM modem signals during fast scanning of wide frequency bands.

Key words: OFDM modem, signal structure, cyclic prefix, frequency channels, pilot carriers, modulation.

УДК 621.396

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/07>

Максимюк Т.А.

Національний університет «Львівська політехніка»

Шубин Б.П.

Національний університет «Львівська політехніка»

Мисаковець Д.О.

Національний університет «Львівська політехніка»

Андрущак В.С.

Національний університет «Львівська політехніка»

Думич С.С.

Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОД АДАПТИВНОГО ЛОГІЧНОГО РОЗДІЛЕННЯ МЕРЕЖІ 5G НА ОСНОВІ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ

Сучасні мережі мобільного зв'язку 5G поставлені перед викликом забезпечення сервісів із різними вимогами до якості обслуговування, що пов'язано зі значною гетерогенністю їх застосувань. Таким чином, вимоги до сервісів у мережах 5G розділені на три основні категорії: широкосмуговий доступ із високою пропускною здатністю (eMBB), сервіси зв'язку машинного типу (mMTC) та сервіси, які потребують ультранизької затримки та високої надійності доставки даних (URLLC).

Відповідно, наявна концепція побудови мережі мобільного зв'язку повинна бути трансформована для забезпечення автоматизованого наскрізного логічного розділення мережних ресурсів під конкретний тип сервісу в мережі 5G. Логічне розділення мережних ресурсів дає змогу створювати окремі ізолювані сегменти мережі 5G в рамках спільної фізичної інфраструктури. Таке розділення забезпечує точне управління ресурсами залежно від різних типів сервісу, а також забезпечує гнучкий їх розподіл для різних складних сценаріїв функціонування мережі.

У статті запропоновано новий метод адаптивного логічного розділення радіочастотних ресурсів у мережах 5G, який використовує комбіновану архітектуру глибоких нейронних мереж. Розв'язано завдання класифікації мережного трафіку на основі повнозв'язних нейронних мереж, що враховує сукупність взаємопов'язаних вимог до пропускної здатності, затримки та надійності доставки пакетів, а це дає змогу розподіляти трафік між сегментами eMBB, mMTC та URLLC. Запропоновано метод прогнозування трафіку окремо для кожного логічного сегменту мережі 5G на основі рекурентних нейронних мереж LSTM. Результати експериментальних досліджень показують, що запропонована система дає змогу прогнозувати інтенсивність трафіку та частку абонентів окремих сегментів мережі. Таким чином, запропонований метод підвищує ефективність використання радіочастотних ресурсів у мережах 5G.

Ключові слова: мережі мобільного зв'язку 5G, eMBB, mMTC, URLLC, глибокі нейронні мережі, LSTM.

Постановка проблеми. Мережі мобільного зв'язку 5G поставлені перед викликом забезпечення різноманітних вимог до параметрів мережі, що пов'язано зі значною гетерогенністю їх застосувань. Загалом вимоги до послуг у мережі 5G поділяються на три категорії. До першої належить широкосмуговий доступ із високою пропускною здатністю (eMBB – Enhanced Mobile Broadband) для підтримки мультимедійних послуг, віртуальної та доповненої реальності та ряду інших сервісів із високими вимогами до швидкості передавання інформації. Такі сервіси характеризуються порів-

няно невеликою кількістю пристроїв, які повинні одночасно взаємодіяти у мережі. До другої категорії – сервіси масового зв'язку машинного типу (mMTC – Massive Machine Type Communications), що використовуються для підключення різноманітних пристроїв у рамках концепції Інтернету речей (IoT – Internet of Things). Такі сервіси характеризуються низькою пропускною здатністю та невисокими вимогами до затримки передавання даних. Проте mMTC потребують підтримки одночасного функціонування кількох тисяч кінцевих пристроїв у межах одного квадратного кілометра.

Третя категорія стосується сервісів, які потребують ультранизької затримки та високої надійності доставки даних (URLLC – Ultra-Reliable Low Latency Communications), що пов'язано із важливими застосуваннями на об'єктах критичної інфраструктури (атомних електростанціях, системах газопостачання та інших типових об'єктах) або в системах контролю дорожнього руху.

Відповідно, наявна концепція побудови мережі мобільного зв'язку повинна бути трансформована для забезпечення автоматизованого наскрізного логічного розділення мережних ресурсів під конкретний тип сервісу в мережі 5G (network slicing).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] автори досліджують мульти-сегментне віртуальне розділення ресурсів мережі 5G з погляду впливу кількості користувачів на пропускну здатність оператора мобільного зв'язку. Схожі підходи використовуються у [2], де запропоновано архітектуру мережі 5G на основі інтеграції технологій програмно-конфігурованих мереж (SDN – Software Defined Network) і віртуалізації мережних функцій (NFV – Network Functions Virtualization). Для підвищення ефективності процесу планування радіочастотних ресурсів у [3] запропоновано використання інтелектуальних алгоритмів на основі глибоких нейронних мереж. У праці [4] представлено платформу для віртуалізації та логічного розділення ресурсів у мережах 5G з одночасним спільним використанням ресурсів кількома операторами мобільного зв'язку. У такій системі віртуалізовані фрагменти мережі призначаються для конкретних прикладних застосувань на основі ідентифікатора класу сервісу та рівня безпеки, необхідного для конкретної послуги [5]. У [6] пропонується новий підхід до логічного розділення мережної інфра-

структури для сегменту управління транспортними засобами (V2x – Vehicle-to-Infrastructure) на основі принципів проектування мережі згідно із рекомендаціями консорціуму 3GPP (3rd Generation Partnership Project), які закладені у стандарт LTE (Long Term Evolution). У роботі [7] запропоновано модель оптимізації процесу розгортання логічних мережних фрагментів, що дозволяє операторам мобільного зв'язку більш ефективно розподіляти ресурси фізичного рівня відповідно до потреб кінцевих користувачів.

Проте у жодній із вищенаведених праць повною мірою не розглядається проблематика прогнозування трафіку для окремих логічних сегментів мережі з метою балансування навантаження між ними та забезпечення оптимального розподілу мережних ресурсів. У нашій роботі пропонується розв'язання цієї проблеми на основі комплексної моделі, яка складається з двох різних архітектур глибоких нейронних мереж.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Логічне розділення мережної інфраструктури. Технологія логічного розділення мережі все ще знаходиться на початковій стадії свого розвитку, тому потребує подальшого вдосконалення та дослідження, що сприятиме розвитку мереж 5G загалом. Незважаючи на переваги логічного розділення інфраструктури мережі 5G, воно також спричиняє ряд нових викликів, які повинні вирішуватися операторами та виробниками обладнання.

Численні дослідження показали, що ключовою проблемою у мережах 5G є спільне використання радіочастотних ресурсів між окремими мережними сегментами, а також їх динамічний перерозподіл при зміні трафіку в мережі (рис. 1).

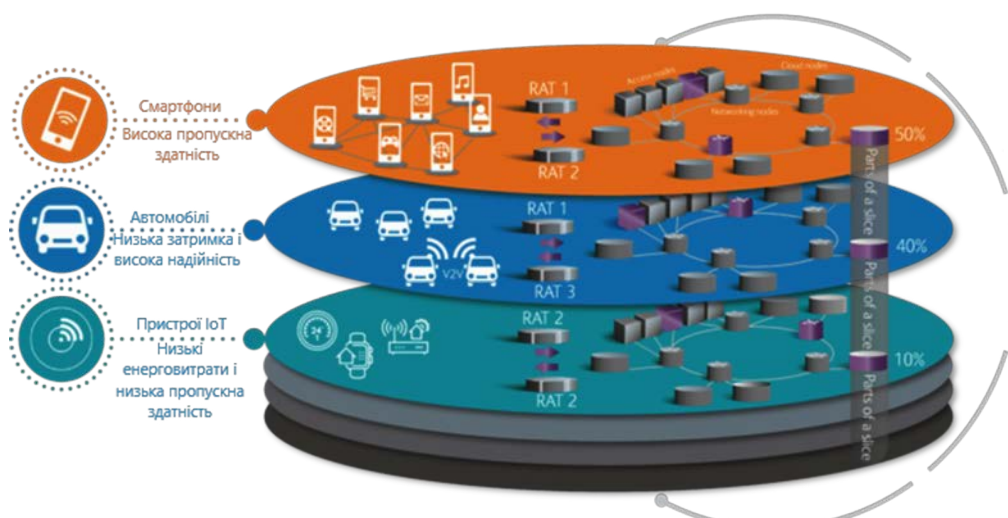


Рис. 1. Принцип логічного розділення мережних ресурсів у мережах мобільного зв'язку 5G

Враховуючи флуктуації навантаження в мережі, динамічний розподіл ресурсів є більш ефективним технічним рішенням. Проте в такому разі необхідно враховувати усі аспекти планування радіочастотних ресурсів між окремими комітками мережі, що дасть змогу уникнути небажаної інтерференції та забезпечити належну якість функціонування мережі 5G.

Для підтримки максимальної кількості різноманітних запитів на обслуговування операторам мережі потрібно розгортати віртуалізовані компоненти мережних функцій, які можна швидко активувати для створення нових сегментів мережі та швидкого розподілу мережеских ресурсів для нових сегментів. Крім того, оператори повинні мати можливість динамічно масштабувати сегменти залежно від зміни навантаження певних типів сервісу. Управління мережеским сегментом потрібно здійснювати автоматизовано, щоб мінімізувати втручання людей і зменшити кількість помилок.

Іншим аспектом, який вже згадувався вище, є велике різноманіття послуг у мережах 5G з унікальними вимогами, які часто суперечать одна одній. Як наслідок, потрібні спеціальні ресурси віртуальної мережі, котрі б дали змогу контролювати та гарантувати якість обслуговування в кожному ізольованому сегменті мережі. Ізоляція між мережескими сегментами може бути досягнута за допомогою ізоляції площини передавання даних і площини управління. Здебільшого функцію управління можна реалізувати спільно для всіх сегментів. Проте для деяких особливо важливих сервісів доцільно використовувати індивідуальні функції управління для забезпечення кращої надійності та відмовостійкості. Крім того, ефективна ізоляція мережеских сегментів може гарантувати, що вихід із ладу або атака на один сегмент не впливає на роботу інших сегментів. Отже, механізм ізоляції таких сегментів є ключовою проблемою при впровадженні логічного розділення мережі.

Іншим важливим аспектом є мобільність користувачів. Безрозривне обслуговування та плавний хендовер абонентів має вирішальне значення для надання послуг у режимі реального часу, що безпосередньо впливає на якість обслуговування [8]. Проте для деяких сегментів мережі цими аспектами можна знехтувати. Наприклад, мережескі сегменти, що обслуговують системи індустріального типу із фіксованим положенням кінцевих пристроїв, не потребують функцій управління мобільністю, а це дає змогу спростити процес управління в межах цих сегментів. Однак мережескі сегменти, які потребують управління мобільністю, відрізняються своїми

вимогами до мобільності. Наприклад, частота хендоверу для абонентів сегменту eMBB є меншою порівняно із сегментом URLLC, який обслуговує транспортні засоби. Таким чином, розробка протоколу управління мобільністю, орієнтованого на логічні сегменти мережі, є обов'язковим аспектом для вирішення проблем мобільності в мережі 5G.

Окремо варто відзначити аспекти безпеки при логічному розділенні мережі, які потрібно вирішити для ефективного обміну ресурсами між сегментами. Мережескі сегменти, що обслуговують різні типи послуг, можуть мати різний рівень вимог політики безпеки. Тому, розробляючи протоколи безпеки мережі, необхідно враховувати їхній вплив на інші сегменти та мережескі системи. Крім того, питання безпеки постають більш вагомими, коли логічне розділення мережі здійснюється на багатодоменній інфраструктурі, що потребує розроблення нових механізмів координації політики безпеки між різними доменними інфраструктурами.

Останнім ключовим елементом концепції логічного розділення мережескої інфраструктури є технологія віртуалізації. Технологія віртуалізації розвивалася протягом останніх 20 років і застосовується головним чином у мережах фіксованого зв'язку. Зокрема, є численні дослідження стосовно віртуалізації ядра мережі мобільного зв'язку, однак ці методи не можна безпосередньо використовувати для безпроводних мереж, оскільки вони є більш вразливими до зовнішніх перешкод і потребують нових підходів до віртуалізації мережі. Тому розробка нових механізмів віртуалізації для спільного використання радіочастотних ресурсів і віртуалізації функцій базових станцій відіграє важливу роль у розвитку технологій логічного розділення інфраструктури безпроводного зв'язку.

Метод логічного розділення ресурсів мережі 5G на основі комбінованої архітектури глибоких нейронних мереж. Запропонована комбінована архітектура складається із класифікатора типу сервісу, який відповідає за логічне розділення мережі та відповідне перенаправлення трафіку, а також із множини незалежних рекурентних нейронних мереж, що відповідають за прогнозування інтенсивності трафіку конкретних мережеских фрагментів. Класифікатор побудований на основі класичної повнозв'язної архітектури нейронної мережі, яка відповідає задачі класифікації. Рекурентні нейронні мережі побудовані на основі комірок LSTM (Long Short-Term Memory), призначених для задач регресії [9]. Детальна структурна схема запропонованої системи представлена на рис. 2.

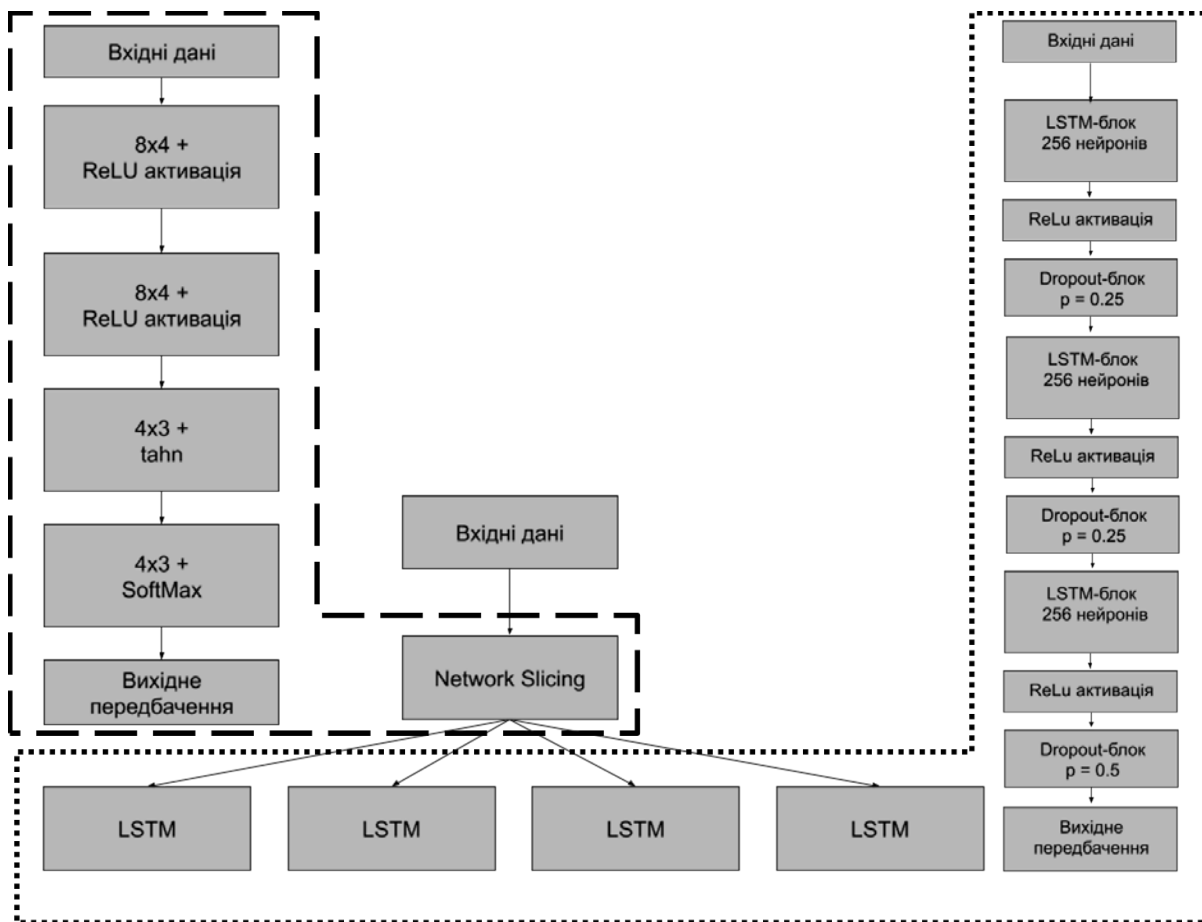


Рис. 2. Комбінована архітектура системи логічного розділення ресурсів мережі 5G на основі глибоких нейронних мереж

Для дослідження обрано 4 категорії мережних сегментів, а саме: сегмент eMBB, сегмент URLLC, сегмент mMTC і гібридний сегмент eMBB/mMTC, який підтримує два типи сервісу та виступає як резервний сегмент для пом'якшення ефекту флуктуацій трафіку в мережі 5G.

Для навчання моделі було використано датасет, що відображає різноманітне навантаження на кожен комірці мережі в конкретний момент часу. Структура датасету наведена у табл. 1. Після класифікації трафіку за сегментами здійснюється тренування рекурентних нейронних мереж окремо для кожного типу сегменту мережі. В основі рекурентних блоків лежить технологія LSTM, яка використовує комірки внутрішнього контекстного стану, що забезпечують властивості як довгострокової, так і короткострокової пам'яті. Така властивість дає змогу забезпечити прогнозування трафіку не лише на основі попереднього значення, але й із урахуванням релевантного історичного контексту для кожного логічного сегменту мережі.

Моделювання та дослідження процесу логічного розділення мережної інфраструктури 5G

на основі глибоких нейронних мереж. Моделювання проводилося на основі фрагменту мережі мобільного зв'язку, який складається зі 100 однотипних мікрокомірок. Для моделювання інтенсивності трафіку було використано імітаційну модель переміщення абонентів між комірками, з реалістичними траєкторіями на основі реальної статистичної інформації.

Інтенсивність трафіку кожної комірки визначалась відповідно до кількості абонентів, котрі потрапляють у зону її покриття у конкретний момент часу. Типи сервісу були обрані випадковим чином для абонентів з урахуванням типових статичних сценаріїв користування мобільними пристроями (смартфонами, планшетами, автомобільними навігаторами тощо). Результати прогнозування трафіку для двох довільно обраних комірок представлені на рис. 3.

На рис. 4 представлено результати прогнозування частки користувачів кожного сегменту мережі, на основі якої приймається рішення про розподіл мережних ресурсів між цими сегментами.

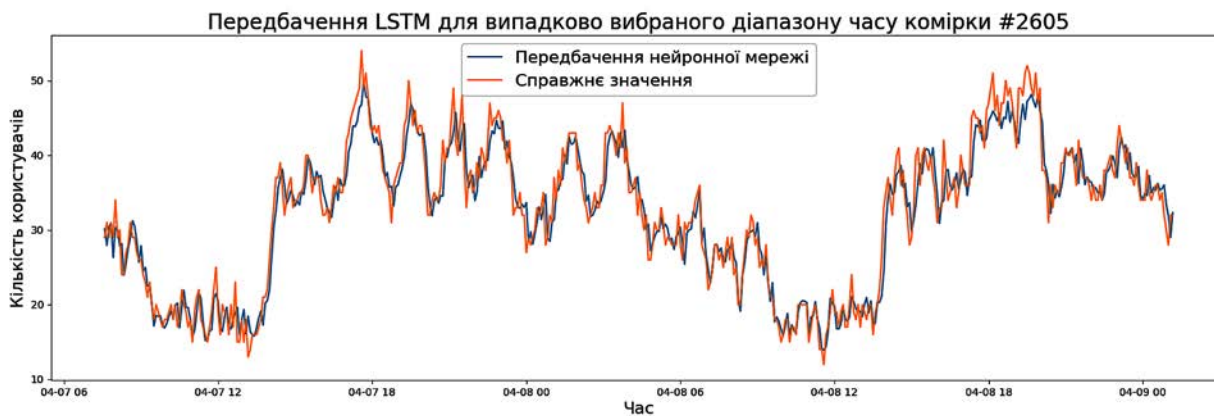
Структура датасету для тестування системи логічного розділення ресурсів

Тип сервісу	Підтримувані технології	Час запису	Швидкість	Втрати пакетів	Затримка, мс	Тип сегменту
AR/VR/Ігри	LTE/5G	2019-01-13 06:05:00	GBR	0.001	50	eMBB
AR/VR/Ігри	LTE/5G	2019-01-13 06:10:00	NGBR	0.001	100	eMBB/ mMTC
Телемедицина	ІoT (LTE-M, NB-IoT)	2019-01-13 06:15:00	GBR	1e-06	10	URLLC
...						
Індустрія 4.0	ІoT (LTE-M, NB-IoT)	2019-01-13 06:20:00	NGBR	0.001	50	mMTC
Індустрія 4.0	ІoT (LTE-M, NB-IoT)	2019-01-13 06:25:00	GBR	1e-06	10	URLLC

*AR (Augmented Reality) – доповнена реальність
 VR (Virtual Reality) – віртуальна реальність
 NB-IoT (Narrowband IoT) – вузькосмуговий IoT
 GBR (Guaranteed Bitrate) – гарантована швидкість
 NGBR (Non-Guaranteed Bitrate) – негарантована швидкість



а)



б)

Рис. 3. Результати прогнозування сумарного трафіку комірки 1 – а) та комірки 2 – б) протягом випадково обраного інтервалу часу

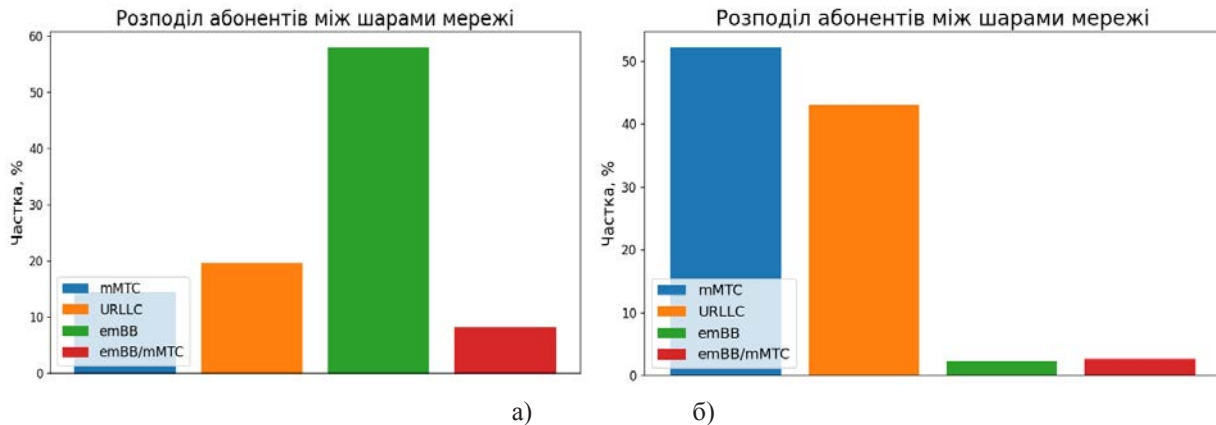


Рис. 4. Результати прогнозування частки користувачів кожного логічного сегменту мережі для комірки 1 – а) та комірки 2 – б) протягом випадково обраного інтервалу часу

Як можна побачити з результатів, залежно від розташування комірок і типового переміщення користувачів частка окремих логічних сегментів мережі може суттєво відрізнятись. Тому запропонована модель дає змогу прогнозувати оптимальний розподіл мережних ресурсів між логічними сегментами мережі, забезпечуючи таким чином їхнє ефективне функціонування.

Висновки. У статті вирішено завдання логічного розділення інфраструктури та радіочастотних ресурсів у мережах 5G на основі глибокого навчання. Запропоновано комбіновану архітектуру

на основі двох типів глибоких нейронних мереж, яка розв'язує завдання класифікації трафіку між логічними сегментами мережі залежно від вимог до пропускної здатності, затримки та надійності доставки даних. Експериментальні результати показали, що використання рекурентних нейронних мереж на основі архітектури LSTM дає змогу прогнозувати інтенсивність трафіку для кожного логічного сегменту мережі з високою точністю, а це дозволяє оптимізувати розподіл радіочастотних ресурсів у мережі мобільного зв'язку між окремими ізольованими логічними сегментами мережі.

Список літератури:

- 5G network slicing: A multi-tenancy scenario / S.O. Oladejo, O.E. Falowo. 2017 Global Wireless Summit (GWS), Cape Town, South Africa, 2017. P. 88–92.
- An SDN/NFV based framework for management and deployment of service based 5G core network / L. Ma, X. Wen, L. Wang, Z. Lu, R. Knopp. *China Communications*. Oct. 2018. Vol. 15. № 10. P. 86–98.
- Deep Learning-based Application Specific RAN Slicing for Mobile Networks / P. Du, A. Nakao. 2018. *IEEE 7th International Conference on Cloud Networking (CloudNet)*, Tokyo, Japan 2018. P. 1–3.
- Abhishek R. Network Virtualization and Survivability of 5G Networks: Framework, Optimization Model, and Performance. 2018. *IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*. Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018. P. 1–6.
- Network slice selection, assignment and routing within 5G Networks / V.K. Choyi, A. Abdel-Hamid, Y. Shah, S. Ferdi, A. Brusilovsky. *IEEE Conference on Standards for Communications and Networking (CSCN)*. Berlin, Germany, 2016. P. 1–7.
- Towards 5G Network Slicing for the V2X Ecosystem / C. Campolo, A. Molinaro, A. Iera, R.R. Fontes, C.E. Rothenberg. *4th IEEE Conference on Network Softwarization and Workshops (NetSoft)*. Montreal, Canada, 2018. P. 400–405.
- Optimization model for Cross-Domain Network Slices in 5G Networks / R. Addad, M. Bagaia, T. Taleb, D.L. Cadette Dutra, H. Flinck. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, May 2020. Vol. 19. № 5. P. 1156–1169.
- Intelligent Handover Management in 5G Mobile Networks based on Recurrent Neural Networks / B. Shubyn, T. Maksymyuk. *3rd IEEE International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019. P. 348–351.
- Intelligent Spectrum Management in 5G Mobile Networks based on Recurrent Neural Networks / T. Maksymyuk, L. Han, S. Larionov, B. Shubyn, A. Luntovskyy, M. Klymash. *IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Polyana, Ukraine, 2019. P. 1–4.

Maksymiuk T.A., Shubyn B.P., Mysakovets D.O., Andrushchak V.S., Dumych S.S.

DEEP LEARNING BASED METHOD FOR ADAPTIVE NETWORK SLICING IN 5G

Currently, 5G mobile networks are facing a challenge of providing a variety of services with different quality requirements due to the significant heterogeneity of their applications. The requirements for services in the 5G network are divided into three major categories, namely enhanced mobile broadband (eMBB) with high throughput requirements, massive machine type communications (mMTC) with low throughput requirements, and ultra-reliable low latency communications (URLLC).

Therefore, the existing concept of a mobile network deployment should be transformed accordingly to provide automated end-to-end slicing of network resources for a specific type of service in the 5G. Network slicing is a logical division of the network resources into isolated virtual slices within a common physical infrastructure. These logical slices provide fine grained management of networks resources with respect to the different service requirements and enables flexible resource allocation for a variety of complex scenarios.

This paper proposes a new method of adaptive network and spectrum slicing in 5G networks, which uses a composed architecture of deep neural networks. The problem of classifying network traffic using fully connected neural networks is solved, taking into account a set of mutually related requirements for bandwidth, delay and reliability of packet delivery, which allows to distribute traffic between eMBB, mMTC and URLLC slices. A method for traffic prediction separately for each logical slice of the 5G network based on recurrent LSTM neural networks is proposed. The results of experimental studies show that the proposed system allows to predict the traffic intensity and the share of subscribers of individual network slices. Thus, the proposed method allows to increase the spectrum utilization efficiency in 5G networks.

Key words: 5G mobile networks, eMBB, mMTC, URLLC, deep neural networks, LSTM.

Ольшевський С.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Танасійчук Я.В.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФЕКТУ В РЕЗОНАТОРНІЙ СИСТЕМІ МАГНЕТРОНА НА ПАРАМЕТРИ ЙОГО НВЧ-ПОЛЯ

У статті розкрита проблема відсутності стандартних, неруйнівних методів діагностики потужних електровакуумних приладів (ЕВП) НВЧ, направлених на регенерацію. Ця проблема є маловивченою і потребує подальшого дослідження.

У статті розглядаються характерні ознаки дефектів конструкції потужних магнетронів, що відмовили у процесі експлуатації та направлені на регенерацію, у вигляді напилень і проплавлень у резонаторній системі. Проведено детальний аналіз фізико-хімічних процесів, які протікають в об'єкті діагностування, результатом чого є перелічені дефекти.

На основі проведеного аналізу було прийнято рішення про пошук методів і засобів дослідження НВЧ-поля в області взаємодії резонаторної системи магнетрона. Наведено типову методику для проведення таких досліджень та опис установки з рухомим зондом для дослідження як засобу проведення елементарних перевірок об'єкта діагностування.

Висунуто гіпотезу про вплив дефекту у вигляді напилення на ламелях резонаторної системи магнетрону на фазу сигналу, прийнятого зондом, що розміщений в області взаємодії.

Із метою перевірки висунутої гіпотези авторами було здійснено дослідження впливу дефектів конструкції на параметри електромагнітного НВЧ-поля в області взаємодії магнетрону з використанням імітаційного моделювання.

Як середовище моделювання і дослідження НВЧ-структур авторами обрано програмне забезпечення Ansoft HFSS. В основі роботи цього програмного продукту лежить використання методу кінцевих елементів, короткий розгляд якого наведено у статті.

Об'єктом дослідження виступає імітаційна модель восьмирезонаторного блока магнетрона із зондом, що обертається в середовищі взаємодії. Результати моделювання підтверджують висунуту авторами гіпотезу.

Робота має міждисциплінарний характер і написана на перетині технічної діагностики та НВЧ-техніки.

Ключові слова: регенерація НВЧ-приладів, магнетрон, прихований дефект, дефект конструкції, неруйнівні методи діагностики, метод кінцевих елементів, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми. Аналіз робіт [1, с. 1; 3, с. 1] показує великий інтерес до розробок, пов'язаних зі створенням технологій регенерації потужних електровакуумних НВЧ-приладів. Обґрунтування актуальності та можливості регенерації потужних НВЧ приладів зроблено в [5, с. 48–90]. Згідно з наведеною в [1, с. 2] методикою регенерації потужних магнетронів одним із етапів регенерації є виділення вузлів приладів, орієнтованих на відбір екземплярів приладів, стан яких може бути доведено до рівня вимог, відповідних технічним умовам.

Для прийняття рішення про придатність до регенерації решти елементів конструкції необхідно провести дефектацію ЕВП на відповідність ТУ. Діагностика ЕВП з метою виявлення вказаних дефектів вимагає їхньої доставки від замов-

ника та розкриття на підприємстві, що є джерелом логістичних і непродуктивних технологічних витрат. Таким чином, актуальними є задачі оптимізації процесу дефектації, створення і використання максимально дешевих, простих, швидких, неруйнівних методів діагностики, котрі не вимагали б ручного розкриття об'єкта діагностування. Нині такі методи діагностики на профільних підприємствах України не застосовуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах [1, с. 2; 5, с. 92–117; 6, с. 37–67] пропонуються підходи до регенерації таких приладів, котрі передбачають розбирання приладу на окремі вузли (деталі), відбраковування і повторне використання придатних вузлів. Автором [9, с. 135; 10, с. 17] передбачено необхідність методів

аналізу на предмет визначення їхньої придатності до повторного використання. Для цього пропонується використовувати «холодні вимірювання» електродинамічних параметрів резонаторних блоків [9, с. 136] або метод скануючої зондової мікроскопії для контролю поверхонь [10, с. 18]. Водночас автори [5, с. 48–92; 6, с. 67–94] мало зупиняються на методах аналізу приладів, що відмовили та були отримані на регенерацію.

Огляд літератури показав практичну відсутність робіт, направлених на розробку методів діагностики таких приладів на предмет їхньої подальшої регенерації та повну залежність рішення про придатність приладу до регенерації від досвіду особи або колективу, котрі виконують регенерацію [5, с. 11–46; 6, с. 37–67].

Зовнішні ознаки відмови кожного виду є різними, а можливі дефекти в конструкції приладу є прихованими [4, с. 56–62]. Попри те, що можливі причини відмови відомі, вони є спільними з іншими видами відмов, такими як:

- обрив ланцюга підігрівача.
- отруєння або виснаження катоду;
- зміна параметрів модулюючого імпульсу;
- зростання струмів витоку.

Такий стан справ частково можна пояснити відсутністю переліку експлуатаційних дефектів конструкції ЕВП НВЧ і їхньої класифікації по критичності до регенерації.

Постановка завдання. Як показують статистичні дані, отримані на профільному українському підприємстві, поширеними дефектами конструкції є: напилення на поверхнях внутрішньовакуумної порожнини; окалина на внутрішніх поверхнях резонаторної системи та ін. Попередній аналіз відомостей дефектації НВЧ-приладів показав, що одним із поширених дефектів конструкції (близько 30%) у внутрішньовакуумній порожнині є напилення на поверхні анодного блоку приладу у просторі взаємодії. Великий відсоток приладів із таким дефектом конструкції робить доцільною розробку методики його виявлення неруйнівними методами для спрощення процесу дефектації. Для дослідження дії описаних дефектів на параметри резонаторної системи магнетрона пропонується побудувати імітаційну модель системи тестового діагностування, котра дозволить отримати множину реакцій на тестові впливи (збудження електромагнітних коливань у резонаторній системі) від об'єкта діагностування (тривимірної моделі резонаторної системи магнетрона) внаслідок виконання елементарних перевірок [8, с. 27–30].

Оцінка причинно-наслідкового зв'язку між записом сегментів резонаторної системи та структурою високочастотного електромагнітного поля всередині резонаторної системи магнетрона.

Виклад основного матеріалу дослідження. Як відомо з теорії технічної діагностики [8, с. 30–36], для побудови математичних моделей об'єктів діагностування та створення систем діагностування важливим є розуміння фізичних процесів, що протікають в об'єкті діагностування, та вивчення можливих фізичних несправностей. Тому розглянемо детальніше причини виникнення напилень і пропалень на ламелях резонаторного блока магнетрона.

Виникнення напилення та пропалення ламелей пов'язане з явищами десорбції частинок електричним полем, перебудови поверхні твердих тіл за впливу температури та сильних електричних полів.

Як показали дослідження [11, с. 245–252], атоми та молекули, які знаходяться на поверхні твердих тіл, можуть десорбуватися під впливом сильних електричних полів. Якщо адсорбовані частинки на поверхні електрода іонізовані позитивно або негативно, то під дією сильного електричного поля, вектор якого має напрямок, протилежний до вектора поля поверхневого диполя, сорбційні сили зв'язку таких частинок можуть послаблюватися настільки, що частинки починають мігрувати по поверхні та навіть випаровуватися. Теорія десорбції під дією електричного поля, заснована на уявленнях квантової механіки, подана у [12, с. 21–92].

Суть розглянутих процесів полягає в тому, що під впливом температури та сильних електричних полів відбувається перебудова поверхневих атомних шарів на електродах, внаслідок чого на них з'являються нерівності та навіть окремі вістря (відомі в літературі як «віскери»).

Відповідні умови для росту віскерів виникають під час відпалу деталей, пайки й, особливо, відкачування, тренування й експлуатації ЕВП, оскільки між їхніми електродами наявні електричні поля, що прискорюють процес росту. Як показано у [13, с. 21–92], найбільш потужним джерелом летких речовин є катод ЕВП. Відрив віскерів із поверхні катоду полегшується при імпульсній роботі приладу.

У момент відриву від електрода частинка прискорюється полем на електрод протилежної полярності. Оскільки такі частинки мають заряд електрода, від якого вони відірвалися, то в електричних полях вони можуть прискорюватися до великих швидкостей і бомбардувати протилежний електрод.

Існування цих явищ запускає процеси перенесення матеріалу з одного електроду на інший. Найбільш сприятливі умови для утворення віскерів створюються за тривалого відкачування приладів і їхньої експлуатації, оскільки майже всі типи термоелектронних катодів володіють високою летючістю активних речовин. Наприклад [11, с. 276–277], швидкість випаровування лужноземельних металів з оксидного й імпрегнованого катодів за температури 750 і 1 150°C (відповідно) складає приблизно 10^{-10} г/см²*с. Це означає, що оксидні та імпрегновані катоди за одну годину роботи вивільняють близько 1 015 молекул (тобто більше одного моношару речовини у розрахунку на ідеально гладеньку поверхню катода). Вже при відкачуванні та тренуванні приладів із такими катодами на електродах утворюється наліт у вигляді «лусочок» висотою 1–10 мкм.

Оскільки матеріал напilenня відрізняється від матеріалу анода, має місце локальна зміна провідності в області дефекту. Розглядаючи [4, с. 271–274] резонаторну систему магнетрона як еквівалентну схему із зосередженими параметрами, внесення напilenня на сегмент анода означатиме зміну зосередженої ємності між цим сегментом і катодом, що впливатиме на фазу сигналу, який проходить в області взаємодії.

Дизайн дослідження і методи. Вивчення розподілу високочастотного поля необхідне для визначення видів коливань і для дослідження впливу асиметрії в магнетроні на розподіл поля у просторі взаємодії. Для визначення розподілу поля в резонаторній системі магнетрона найзручніше використовувати зонд, що обертається [2, с. 312]. Останній є ємнісним зондом невеликих розмірів, закріпленим на циліндрі, котрий розміщений у просторі взаємодії магнетрона. Зонд розташовується перпендикулярно до силових ліній електричного поля біля катода. При обертанні циліндра струм у зонді змінюється таким чином, що дає можливість отримувати картину інтенсивності електричного поля в різних точках простору взаємодії залежно від кута повороту зонду. Картина поля спостерігається на екрані осцилографа, у якого напруга горизонтальної розгортки синхронізована зі швидкістю обертання зонда, а на вертикальні пластини прикладено напругу, пропорційну детектованому струму зонда. Зонд описаного типу схематично зображений на рис. 1.

Для перевірки висунутої гіпотези пропонується побудувати імітаційну модель системи тестового діагностування.

Опис МКЕ та середовища моделювання. Точний аналітичний опис залежності між параметрами

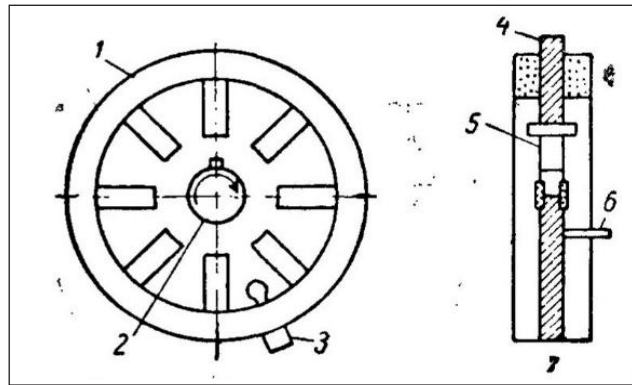


Рис. 1. Схематичний вид зонду, що обертається, в області взаємодії магнетрона:
1 – магнетрон, 2 – зонд, 3 – входний сигнал,
4 – ковзний сигнал, 5 – детектор, 6 – зонд,
7 – деталі зонду в зібраному стані

внесеного дефекту і параметрами резонаторної системи магнетрона як із використанням еквівалентних схем, так і методами теорії поля [14, с. 75–86] викликає суттєві труднощі. Тому для виявлення й оцінки вказаних залежностей пропонується використати один із числових методів, а саме метод кінцевих елементів [7] (FEM (Finite Element Method)) – чисельний метод розв’язку диференціальних рівнянь у частинних похідних і інтегральних рівняннях.

Етапи методу кінцевих елементів:

Формулюється основне рівняння, котре буде розв’язуватися МКЕ. Для розв’язку крайових задач електродинаміки використовуються рівняння другого порядку відносно вектора напруженості електричного або магнітного поля. У частотній області таке рівняння для комплексної амплітуди вектора напруженості електричного поля має вигляд:

$$\nabla \times (\mu_r^{-1} \nabla \times \mathbf{E}) + i\sigma \eta_0 k \mathbf{E} - \epsilon_r k^2 \mathbf{E} = -ik \eta_0 \mathbf{J}^{imp}$$

\mathbf{J}^{imp} – густина стороннього електричного струму.

Розрахункова область задачі ділиться на підобласті (кінцеві елементи, КЕ), котрі її покриваються без перетинів і розривів.

Невідома функція (або функції) апроксимуються набором функцій спеціального виду (базисних функцій) у кожному КЕ. Параметри цих апроксимацій утворюють набір невідомих задачі. Далі за допомогою системи пробних функцій проводиться дискретизація задачі методом Рітца або методом Бубнова – Гальоркіна. Відбувається перехід від функціональних рівнянь із нескінченно великим числом ступенів свободи до системи лінійних алгебраїчних рівнянь із кінцевим числом невідомих (ступенів свободи).

Як векторні базисні функції використовуються повні векторні поліноми порядку k :

$$w(\mathbf{r}) = P_x^k e_x + P_y^k e_y + P_z^k e_z.$$

Повний поліном, наприклад, першого степеня ($k=1$) містить чотири члени, відповідно, на їхній основі можна сконструювати систему з чотирьох лінійно незалежних базисних функцій. Наприклад, для полінома P_x^1 маємо:

$$P_{x1}^1 = a_{x0} + a_{x1}x + a_{x2}y + a_{x3}z$$

$$P_{x2}^1 = b_{x0} + b_{x1}x + b_{x2}y + b_{x3}z$$

$$P_{x3}^1 = c_{x0} + c_{x1}x + c_{x2}y + c_{x3}z$$

$$P_{x4}^1 = d_{x0} + d_{x1}x + d_{x2}y + d_{x3}z$$

Для лінійної незалежності цих функцій необхідно, щоб визначник

$$\text{Det} \begin{vmatrix} a_{x0} & a_{x1} & a_{x2} & a_{x3} \\ b_{x0} & b_{x1} & b_{x2} & b_{x3} \\ c_{x0} & c_{x1} & c_{x2} & c_{x3} \\ d_{x0} & d_{x1} & d_{x2} & d_{x3} \end{vmatrix} \neq 0$$

Отримана СЛАР розв'язується одним із чисельних методів. Шляхом розв'язку отримується сукупність невідомих параметрів апроксимації, тобто наближений розв'язок задачі. Використовуючи це рішення, можна отримати параметри системи, що нас цікавлять, такі як параметри розсіяння, питома потужність поглинання, поле в дальній зоні і т. п.

Припускаємо, що КЕ має форму тетраедра. Енергія електромагнітного поля, запасена в КЕ, дорівнює сумі енергії електричного поля W_t^e та енергії магнітного поля W_t^m .

$$W_t^e = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{4} \sum_{m=1}^{N_q} \sum_{n=1}^{N_q} x_m x_n^* \int_V w_m w_n dV$$

$$W_t^m = \frac{\epsilon_0 \mu_r}{4k_0^2 |\mu_r|} \sum_{m=1}^{N_q} \sum_{n=1}^{N_q} x_m x_n^* \int_V (\times w_m) (\times w_n) dV$$

N_q – кількість базисних функцій КЕ.

w_m – m -та базисна функція тетраедра

w_n – n -та базисна функція тетраедра

Енергію і потужність, котрі запасені та розсіюються в деякому об'єкті V , розраховують підсумовуванням по всіх тетраедрах, які належать цьому об'єкту.

Опис імітаційної моделі. Для реалізації описаної вище системи тестового діагностування і з метою дослідження впливу описаних вище дефектів на параметри резонаторної системи магнетрона в середовищі Ansoft HFSS було побудовано тривимірну модель реального резонаторного блоку магнетрона із введеним зондом, що дозволяє імітувати роботу зі стендом для дослідження простору взаємодії магнетрона.

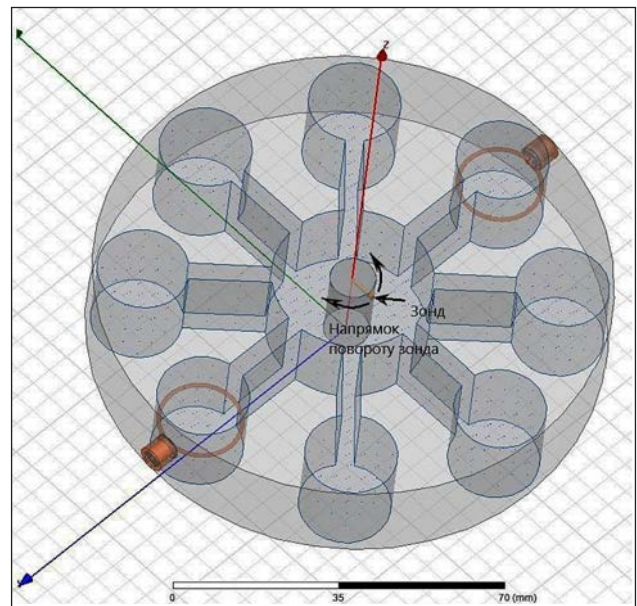


Рис. 2. Імітаційна модель системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрона

Інтроскопія різниці фаз вхідного сигналу і сигналу, знятого із зонду, за допомогою моделі описаної вище установки наведена на рис. 3 і 4. Вона включає три діаграми, опубліковані у [3, с. 1–2].

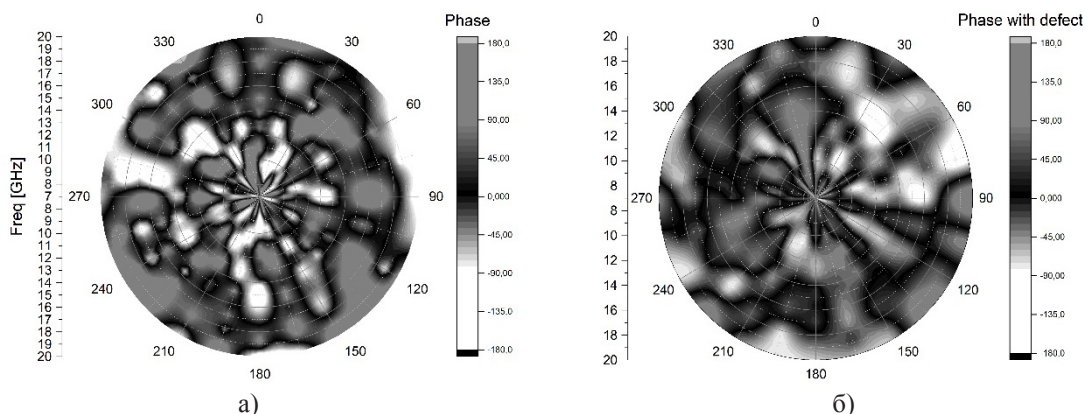


Рис. 3. Результати першого (а) і другого (б) етапів експерименту

Першим етапом експерименту було отримання значення набігу фаз між входом і деякою точкою у просторі взаємодії. Результати моделювання представлені на рис. 1а, на круговій діаграмі куту по азимуту відповідає кут повороту зонда, градаціям радіусу відповідає зміна частоти зондуючого сигналу в межах 7...20 ГГц, градаціям кольору – набіг фази сигналу між входом і зондом.

Другим етапом було внесення дефекту у вигляді напilenня товщиною 0,01 мм на поверхню сегменту (ламелі) зі сторони простору взаємодії та повторення вимірювань першого етапу із внесеним дефектом.

На третьому етапі експерименту було розраховано різницю між набігом фаз для нормальної та дефектної системи. Результати розрахунків наведено на рис. 4. Максимальному набігу фази сигналу (близько 180°) відповідають сірі плями, мінімальному значенню відставання сигналу за фазою – білі плями (близько -180°).

Висновки. Авторами сформульовано проблему відсутності неруйнівних методів діагностики ЕВП НВЧ, направлених на регенерацію. Виділено критичні дефекти конструкції – проплавлення і напilenня. Детально розглянуто фізичні процеси, що протікають в об'єкті діагностування, результатом яких є виділені дефекти. Аналіз фізичних процесів, які протікають в області взаємодії магнетрона, дозволяє розглядати його як неперервний об'єкт діагностування при діагностуванні його на предмет наявності чи відсутності дефектів конструкції у вигляді напilenь.

Шляхом якісного аналізу фізико-хімічних процесів, що протікають у просторі взаємодії магнетрона, було висунуто гіпотезу про зміну просторового розподілу електромагнітного поля в резонаторній системі магнетрону після внесення в конструкцію приладу дефекту у вигляді напilenня продуктів деградаційних процесів на поверхні катода на сегмент резонаторної системи.

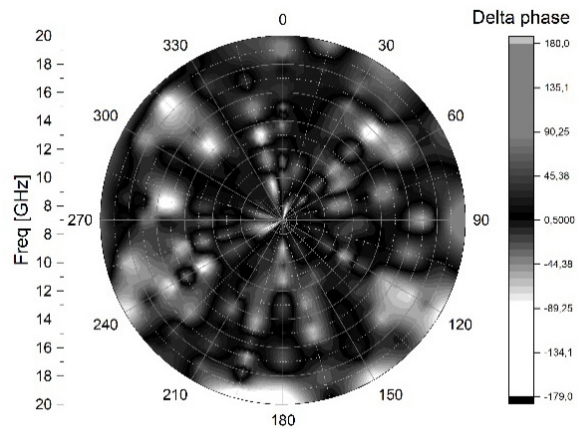


Рис. 4. Різниця набігу фаз між нормальною і дефектною резонаторними системами

Для перевірки гіпотези побудовано імітаційну модель системи тестового діагностування резонаторної системи магнетрону.

Внаслідок експерименту виділено смуги частот із найбільш вираженим ефектом отримана кількісна оцінка у вигляді різниці набігу фази сигналу. Для дефекту у вигляді напilenня емісійної речовини катода на сегмент поверхні розміром 20 мм*8мм і товщиною 0,01 мм найбільша різниця у набігу фаз (близько до $\pm 180^\circ$) зареєстрована в діапазонах частот 11...12, 13...14, 15...17, 18...19 ГГц, що підтверджує висунуту гіпотезу.

Розрахунок теоретичних залежностей зміни вказаних характеристичних параметрів резонаторної системи від характеристичних параметрів дефекту зумовлює можливість виявлення та встановлення характеру і локалізації напilenня в анодному блоці магнетрону на основі експериментальних вимірювань його поточних характеристик і порівняння їх із характеристиками дефектних і справних приладів. Для цього можуть бути використані вже існуючі, відпрацьовані підходи, наприклад, Байєсівські мережі [15, с. 222–233].

Список літератури:

1. Екзлі А.І., Чурюмов Г.І., Дзюба В.П., Іванченко В.О. Відновлення і регенерація потужних НВЧ вакуумних приладів та їх застосування в сучасних системах озброєння. Ч. 1. *Загальні питання регенерації потужних магнетронів МІ-29 та МІ-285. Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки. VI Міжнародна науково-практична конференція.* Тези доповідей.
2. Зусмановский С.А. Магнетроны сантиметрового диапазона. Москва : Советское радио, 1951. 472 с.
3. Ольшевський С.В., Танасійчук Я.В. Дослідження впливу напilenня на поверхні резонаторної системи потужного магнетрона на розподіл електромагнітного поля резонаторної системи.
4. Панин И.С., Панченко Л.В. Импульсные магнетроны. Элементы радиоэлектронной аппаратуры. Москва : Советское радио, 1966.
5. Семенов А.В. Регенерация мощных электровакуумных приборов : дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 2000.

6. Бакуменко А.В. Научно-технические и производственно-экономические основы реставрации мощных СВЧ приборов : дисс. ... докт. техн. наук. Москва, 2006.
7. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. Издательство «Мир», 1997. 351 с.
8. Карибский В.В., Пархоменко И.П., Согомонян Е.С., Халчев В.Ф. Основы технической диагностики. Кн. 1. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза.
9. Семенов А.С. Технология регенерации анодных блоков ЭВП. *Сборник научных трудов 4 научного семинара IEEE Saratov-Penza Chapter «Машинное проектирование в прикладной электродинамике и электронике»*. Саратов : Изд. СГТУ, 2000. С. 134–136.
10. Байбурин В.Б., Семенов А.С. Проблемы и опыт регенерации мощных электронных приборов. *Сборник научных трудов 4 научного семинара IEEE Saratov-Penza Chapter «Машинное проектирование в прикладной электродинамике и электронике»*. Саратов : Изд. СГТУ, 2000. С. 15–19.
11. Черепнин Н.В. Сорбционные явления в вакуумной технике. Москва : Издательство «Советское радио», 1973.
12. Gomer R., Swanson I.W. Theory of field desorption. *J. Chem. Phys.* 1963. V. 38. № 7. P. 1613.
13. Пошехонов П.В. и др. Нитевидные монокристаллы в высоковольтных лампах с оксидным катодом. *Радиотехника и электроника*. 1967. Т. 12. № 12. С. 21–92.
14. Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ : учебник. Т. II / под ред. Н.Д. Девяткова. Москва : Высш. школа, 1970. 376 с.
15. Using a Bayesian Network to Assess the Atmospheric Pollution Influence on Immunological Parameters / V. Lytvynenko, M. Voronenko, S. Sitalo, O. Boskin, I. Lurie, N. Savina, Y. Tanasiichuk, N. Krugla. *IDDM*. 2019. P. 222–233.

Olshevskiy S.V., Tanasiichuk Ya.V. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DEFECT IN THE MAGNETRON RESONATORY SYSTEM ON THE PARAMETERS OF IT'S MICROWAVE FIELD

This article reveals the problem of the lack of standard, non-destructive methods for diagnosing powerful microwave electrovacuum devices (EWDs) aimed at regeneration. This problem is poorly understood and needs further study.

The article investigates the characteristic features of structural defects of powerful magnetrons that failed during operation and are aimed at regeneration, in the form of sprays and melts in the resonator system. A detailed analysis of physicochemical processes occurring in the object of diagnosis, the result of which are the listed defects. Based on the analysis, it was decided to search for methods and tools for studying the microwave field in the field of interaction of the resonator system of the magnetron. A typical method for conducting such studies and a description of the installation with a movable probe for the study, as a means of conducting basic tests of the object of diagnosis.

The hypothesis of the influence of the defect in the form of sputtering on the lamellae of the resonator system of the magnetron on the phase of the signal received by the probe placed in the interaction region is put forward.

As a research task and in order to test the hypothesis, the authors studied the effect of structural defects on the parameters of the electromagnetic microwave field in the field of magnetron interaction using simulation.

Anso-ft HFSS software was chosen by the authors as an environment for modeling and studying microwave structures. The basis of this software product is the use of the finite element method, a brief overview of which is given in the article.

The object of study is a simulation model of an eight-cavity magnetron unit with a probe rotating in the interaction medium. The simulation results confirm the hypothesis put forward by the authors.

The work is interdisciplinary in nature and is written at the intersection of technical diagnostics and microwave technology.

Key words: *regeneration of microwave devices, magnetron, latent defect, structural defect, non-destructive diagnostic methods, finite element method, simulation.*

УДК 621.396.946: 629.783
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/09>

Явіся В.С.

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

Лисенко О.І.

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

Новіков В.І.

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

Кисельов В.Б.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

Гуйда О.Н.

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

СИСТЕМНИЙ ТЕХНІКО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГЛОБАЛЬНОГО НАНОСУПУТНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА НАВІГАЦІЇ

У статті розглянуто системний техніко-еколого-економічний підхід до забезпечення глобального наносупутникового зв'язку та навігації. Для створення системи супутникового зв'язку та навігації актуальним стає використання космічного апарату у вигляді розподіленого супутника, який складається з угруповання надмалих космічних апаратів, відомих під назвою наносупутник. Для визначення структури розподіленого супутника пропонується розглянути найбільш відому низькоорбітальну систему супутникового зв'язку Iridium.

Створення системи супутникового зв'язку та навігації на базі наносупутників, на думку авторів, можливе лише у випадку рішення завдання забезпечення стабільного та керованого положення наносупутників на орбіті. Завдання орієнтації та стабілізації вирішується пасивними й активними методами.

Вказано, що важливим етапом створення, підтримання та оновлення системи супутникового зв'язку і навігації є процес виведення супутників на орбіту, який зазвичай відбувається за допомогою ракетноносіїв, у тому числі багаторазового використання. Зазначений спосіб виведення є досить вартісним, тому в роботі пропонується альтернативний спосіб виведення супутників на орбіту – повітряний старт, який передбачає запуск космічних апаратів з повітряних суден горизонтального зльоту. Такі переваги, як зменшення маси, сили протидії та вартості ракети-носія, дозволяють у кілька разів знизити витрати на запуск. Сьогодні саме українські літаки АН-124-100 «Руслан» та АН-225 «Мрія» можуть бути задіяні для виконання цієї місії.

За рахунок використання розподіленого супутника та повітряного старту ефективність супутникового сегменту на базі наносупутника виявляється значно вищою в порівнянні з існуючими системами супутникового зв'язку та навігації. Використання наносупутників вирішить проблему космічного сміття, оскільки наносупутники будуть знаходитись на низькій орбіті та після закінчення своєї місії будуть повністю згорати в земній атмосфері.

Ключові слова: система супутникового зв'язку та навігації, наносупутники, повітряний старт, Iridium, розподілені супутники, супутниковий сегмент.

Постановка проблеми. За допомогою супутникових систем можна здійснювати дослідження земної поверхні та верхніх шарів атмосфери, прогноз землетрусів, екологічний моніторинг, а також будувати системи супутникового зв'язку та навігації (далі – ССЗН). Однак створення супутнико-

вих систем різного призначення стикається з проблемою космічного сміття, яка з кожним роком стає все більш актуальною.

На навколосезонній орбіті, за інформацією від різних джерел, знаходяться понад 750 тисяч об'єктів, які являють собою ніщо інше, як космічне сміття.

У переважній більшості це – різні гайки, болти і частки фюзеляжу, які рухаються зі швидкістю понад 28 тисяч км/год. Серед них є і величезні старі супутники з ядерними елементами та розгінні блоки, які зазвичай відправляють на спеціальну орбіту поховання.

Існує кілька офіційних орбіт поховання. «Класична» розташовується на 200 км вище геостационарної орбіти, де знаходяться тисячі навколосупутникових супутників. На цю орбіту відправляються відпрацьовані орбітальні апарати для зменшення ймовірності їх зіткнення з робочими об'єктами.

Ще одна найбільша сміттєва орбіта для великих супутників знаходиться на висоті від 600 до 1 000 км. На цю орбіту відправляються військові розвідувальні супутники з ядерною енергетичною установкою. Вважається, що частини супутників зможуть перебувати на низькій сміттєвій орбіті понад 2 тисячі років, після чого гравітація Землі поступово притягне активні реактори. Однак знаходження навіть на цій орбіті вимагає періодичної корекції траєкторії супутників, без якої їх перебування там може становити серйозну небезпеку і труднощі в подальшому дослідженні космосу.

Зараз тільки 10% усіх об'єктів космічного сміття фіксуються наземними станціями, а траєкторія їхнього руху відома. На навколосупутникових орбітах постійно відбувається так званий ефект Кесслера, коли одні шматочки сміття постійно стикаються з іншими, що призводить до абсолютно неконтрольованого поділу цих об'єктів. Згідно з математичними розрахунками зіткнення двох космічних частин сміття призводить у середньому до появи ще шести-семи невеликих об'єктів. Учені вважають, що в майбутньому, якщо людство продовжить із такою швидкістю виводити об'єкти в космос, у тому числі на геостационарну орбіту, рано чи пізно станеться каскадний ефект: один космічний об'єкт зіткнеться з іншим, після чого він досить сильно змінює орбіту і стикається з іншими штучними об'єктами, які знаходяться на своїх орбітах. Гіпотетично це може буквально за кілька днів знищити або вивести з ладу всі супутники, створені людьми [1]. Крім того, деякі великі космічні об'єкти, в яких повністю закінчується термін експлуатації, навмисно підривають для того, щоб надалі їхні невеликі уламки притягувалися Землею і згорали в атмосфері. Однак існують десятки прикладів, коли шматки сміття залишалися на орбітах, як у разі зіткнення двох штучних супутників «Космос-2251» та Iridium 339 у лютому 2009 року або тестування Індією своїх протисупутникових гармат у березні 2019 року.

Постановка завдання. Натепер поки не існує дієвих технологій для боротьби з космічним сміттям, крім відправки супутників на орбіту поховань.

Безліч учених працюють над створенням систем для утилізації космічного сміття. В основному такі проекти пропонують два рішення проблеми. Перше дозволяє збільшити термін керуваного перебування супутників або їхніх частин, які відпрацювали свій ресурс, на сміттєвій орбіті, але очевидно, що цей термін колись закінчиться. Друге рішення передбачає створення роботів-збирачів сміття, які будуть його виводити з орбіти Землі. Розвиток таких способів боротьби з космічним сміттям стримується необхідністю значних інвестицій на їх реалізацію, а також відсутністю законодавчої бази в даній сфері на міжнародному рівні.

Питання про чистоту у власному будинку ми вирішуємо дуже просто: зібрали сміття і винесли на смітник. Однак є альтернативне рішення забезпечення чистоти, яке впливає з давно знайомого постулату: «Чисто не там, де прибирають, а там, де не сміять». Стосовно космосу це означає, що всі об'єкти, виведені на навколосупутникову орбіту, не будуть там кинуті, а після виконання своєї місії будуть утилізовані.

Для забезпечення ефективного використання штучних апаратів висока вартість їх створення і виведення в космос, як правило, компенсується досить тривалим періодом експлуатації. Крім технічних вимог до розташування супутників на певній висоті, це є одною з причин використання середніх і високих орбіт – чим вище орбіта, тим довше на ній може знаходитися супутник. Низькі навколосупутникові орбіти не можуть забезпечити тривале перебування супутників у космосі без коригування траєкторії руху внаслідок їх досить швидкого зниження, яке викликане гальмуванням апаратів частинками атмосфери, які присутні на таких орбітах. Однак саме низька орбіта здатна забезпечити самоочищення космосу, коли супутники після виконання своєї місії будуть опускатися в атмосферу природним чином і згоряти в ній. Такий підхід вимагає перегляду самих принципів побудови космічних апаратів (далі – КА), оскільки нині в переважній більшості це – великогабаритні об'єкти, які не зможуть повністю згоріти під час входу в атмосферу.

У даному випадку для створення ССЗН актуальним стає використання КА у вигляді розподіленого супутника, який складається з угруповання надмалих КА, відомих під назвою наносупутник (НС).

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для визначення структури розподіленого супутника пропонується розглянути найбільш відому низькоорбітальну ССЗ *Iridium*. У ній функціонують понад 70 супутників, 66 з яких є активними. Вони розміщуються на 6-ти приполярних орбітах. Розроблений для цієї мережі механізм міжсупутникових зв'язків дозволяє передавати сигнал з одного супутника на інший без ретрансляції цього сигналу на Землю. У наземний сегмент входять дві центральні станції управління і контролю. Вони здійснюють управління орбітальним угрупованням КА, забезпечують синхронізацію ССЗ, організують групові тракти передачі. Всього наземний сегмент включає 20 базових станцій сполучення і управління зв'язком. Супутники *Iridium* перебувають на висоті 780 км над поверхнею Землі. Термін їх експлуатації становить 7–10 років [2; 3].

Антенні системи КА *Iridium NEXT* формують 48 парціальних променів, які створюють загальну зону покриття діаметром понад 4000 км. Одна зона має діаметр близько 700 км [4]. Для виключення дублювання від сусідніх космічних апаратів частина променів виводиться з активного режиму роботи. Так, із загальної кількості 3168 променів у поточний момент часу активні лише 2150, тобто в середньому кожен апарат створює близько 32-х парціальних променів (сот). При цьому потужність, що споживається одним апаратом, становить близько 2,2 кВт [4; 5].

Середня пропускна здатність у разі використання смуги частот 10,5 МГц для зв'язку між мобільним терміналом і супутником становить понад 110 каналів на одну соту поверхні Землі [5]. Для обслуговування абонентів можливості апарата дозволяють створити до 5700 телефонних каналів, але їх реальна кількість становить близько 3840. Враховуючи таке обмеження, в мережі на супутниках *Iridium NEXT* можливе одночасне обслуговування 253 440 абонентів.

Пропонується створити НС угруповання, яке буде складатись із кластерів. Кожен кластер за об'ємом виконуваних функцій буде аналогічним супутнику сис-

теми *Iridium*. За таких умов для створення глобальної системи супутникового зв'язку необхідно буде розташувати на шести орбітах мінімум 66 кластерів НС (по 11 на кожній орбіті).

Склад кластеру із НС може бути неоднорідним з погляду на функції, що виконуються окремими апаратами: основна частина НС може використовуватися для зв'язку з абонентськими терміналами, інші – для концентрації та комутації навантаження всередині кластеру, зв'язку із сусідніми кластерами НС, які розташовані на власній та суміжних орбітах, а також для зв'язку з наземними станціями. Оскільки відстань між НС кластеру становить лише кілька десятків метрів, взаємодія між ними може здійснюватися за допомогою *Wi-Fi* або оптичного сигналу [3]. Склад кластеру пояснює рис. 1.

Мінімальна кількість НС в одному кластері визначається так. Для зв'язку з абонентськими терміналами, за умови формування одним НС одного парціального променя, потрібно 32 апарати. Функцію концентрації і комутації навантаження всередині кластеру буде виконувати один НС (бажано з дублюванням). Для зв'язку з іншими кластерами на власній та суміжних орбітах – чотири НС, для зв'язку з наземними

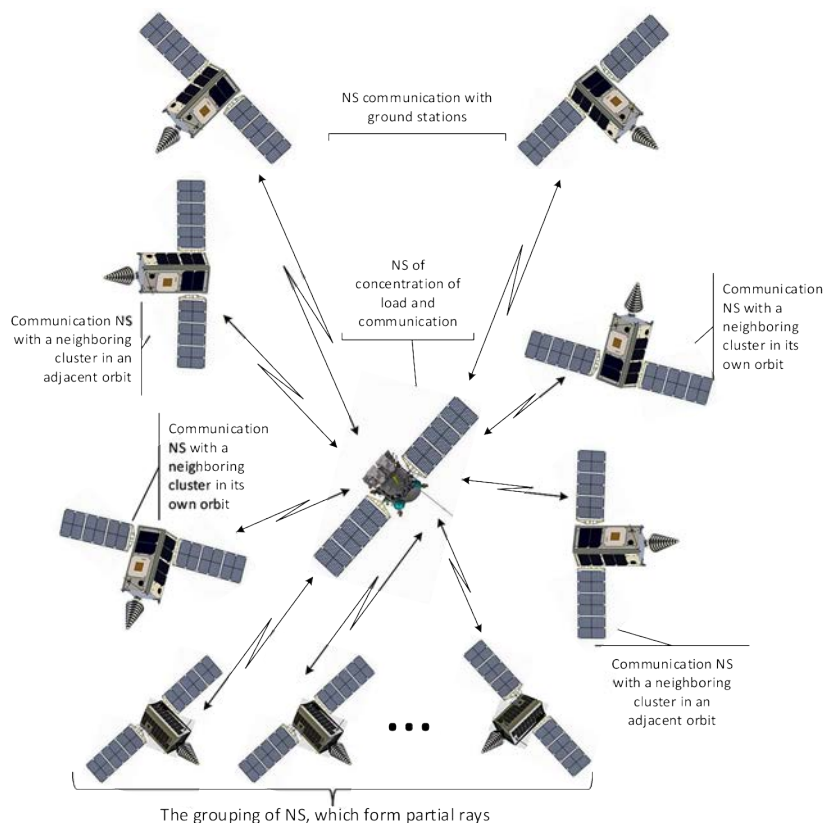


Рис. 1. Склад кластеру із НС

станціями – два НС. Таким чином, для виконання функцій, аналогічних за обсягом тим, що виконує супутник *Iridium NEXT*, у кластері повинно бути не менше 40 НС.

У разі побудови ССЗ на базі кластерів НС, яка є схожою на систему *Iridium* та має лише шість орбіт, потрібно зазначити, що вони повинні знаходитись на висоті близько 350 км. За менших висот унаслідок кривизни Землі неможливо забезпечити покриття діаметром 4000 км, а тому необхідно збільшувати кількість орбіт, що призведе до збільшення вартості системи та ускладнення управління нею.

Для формування діаграми спрямованості, яка забезпечить обслуговування території, що за площею співвідноситься із зоною обслуговування одного парціального променя супутника *Iridium NEXT*, можна використати фазіровану антенну решітку або параболічну антену. Але такий підхід виявляється неприйнятним у випадку застосування НС унаслідок значних вагогабаритних показників зазначених антен, тому пропонується використовувати спіральну конічну антену [3; 6].

За умови знаходження НС на висоті 350 км для покриття зони діаметром 700 км, залежно від розташування такої зони відносно кластеру НС необхідна антена із шириною діаграми спрямованості θ від 30° до 60° . Для середньої частоти взаємодії НС і абонентського терміналу 1,6 ГГц та діаметрі спіралі $d = 6$ см за $\theta = 60^\circ$ довжина антени $l = 13$ см, її підсилення становить $G = 7-8$ дБ. У згорнутому стані така антена являє собою пружину, що займатиме об'єм близько $V = 8$ см³, тобто 0,8% від загального об'єму НС формату *CubeSat-1*.

Анени НС, що формують парціальні промені на межі зони обслуговування кластеру, повинні забезпечити ширину діаграми спрямованості до $\theta = 30^\circ$, при цьому підсилення становить $G = 13-15$ дБ, але довжина антени збільшиться до $l = 56$ см за того ж діаметру. Тоді у складеному вигляді об'єм антени збільшиться майже в 4 рази [3; 7].

Такий підхід дозволяє вирішити питання створення спрямованої діаграми для НС за мінімальних вагогабаритних показників антенної системи.

Створення ССЗН на базі НС можливе тільки у випадку рішення завдання забезпечення стабільного та керованого положення НС на орбіті.

Завдання орієнтації та стабілізації вирішується двома методами [8; 9]: пасивним та активним. На відміну від активних, пасивні методи (гравітаційний, аеродинамічний, метод тиску сонячних променів, обертання) не вимагають витрат енергії, яку необхідно запасати на борті супутника. Активні методи стабілізації реалізують за допомогою двигунів-махо-

виків, моментного магнітоприводу або реактивних двигунів (далі – РД). Причому РД вимагають наявності на борту значних запасів палива, тому останнім часом широко застосовують іонні двигуни (далі – ІД), для роботи яких необхідна на порядок менша кількість палива, ніж для звичайних РД.

Можливість застосування однієї з перерахованих систем стабілізації залежить від сукупності вимог до НС, які впливають з його призначення.

Коли НС вирішує завдання, не пов'язані з необхідністю змінювати просторове розташування протягом усього строку експлуатації, доцільно впроваджувати пасивні методи. В інших випадках, наприклад у разі використання НС як елемента системи супутникового зв'язку, обґрунтованим буде застосування активних методів, оскільки вони, окрім стабілізації, здатні забезпечити зміну орієнтації всього НС або його зовнішніх конструктивних елементів упродовж коротких інтервалів часу. Таким чином, система орієнтації телекомунікаційного або навігаційного НС повинна будуватись на активних методах.

Для оцінки ефективності активних методів орієнтації зробимо ряд уточнень. НС стандарту *CubeSat* являє собою куб з ребром $R = 0,1$ м та масою близько $m_{nc} = 3$ кг. Під час використання двигунів-маховиків на одній осі розташовуються два маховики, які працюють синхронно. Під час реалізації моментного магнітоприводу для орієнтації по одній осі необхідне застосування двох котушок, розташованих під прямим кутом одна відносно іншої. ІД розташовуються на краю поверхні певних сторін *CubeSat*. Оскільки для системи на двигунах-маховиках зміна швидкості обертання маховиків відбувається майже миттєво, в розрахунках цей час можна не враховувати. У свою чергу робота систем з моментним магнітоприводом та з ІД фактично відбувається у два однакові за тривалістю етапи – на першому відбувається розгін до певної кутової швидкості обертання, а на другому – гальмування [9; 10].

Тоді можна показати, що кут повороту НС навколо певної осі для різних систем орієнтації визначають такі вирази:

– для системи на двигунах-маховиках:

$$\alpha_{nc}(t) = 3 \frac{m_m r^2}{m_{nc} R^2} \omega_m t, \quad (1)$$

де m_m – маса маховика; r – радіус диска маховика; ω_m – швидкість обертання маховика;

– для системи з моментним магнітоприводом:

$$\alpha_{nc}(t) = \frac{3IpSB}{2m_{nc}R^2} t^2, \quad (2)$$

де I – струм котушки; p – число витків котушки; S – площа рамки котушки; B – індукція магнітного поля Землі;

– для системи з ІД:

$$\alpha_{nc}(t) = \frac{3F}{4m_{nc}R} t^2, \quad (3)$$

де F – сила, що розвивається, ІД.

Зазначимо, що для системи на двигунах-маховиках кут обертання є лінійною функцією часу, а для систем з моментним магнітоприводом та з ІД – залежність квадратична. Для порівняння активних систем були вибрані такі значення параметрів, що входять до формул (1–3): $m_m = 0,02$ кг, $r = 0,03$ м, $\omega_m = 1,16$ рад/с (у середньому 4000 обертів за хвилину), $I = 0,43$ А, $p = 100$, $S = 0,005$ м², $B = 30$ мкТл, $F = 100$ мкН.

Часова залежність величини кута повороту для певної системи з урахуванням зазначених вище допущень представлена на рис. 2.

Виходячи з характеристик, які наведені на рис. 2, можна заключити, що всі три системи мають приблизно однакові можливості на інтервалі часу до 15 с, упродовж якого кутове положення НС змінюється майже на 0,7 рад або на 4 градуси. Причому добір параметрів та аналіз проведений за умови, що системи мають близькі вагогабаритні характеристики та показники енергоспоживання. Повний оберт навколо певної осі відбудеться менш ніж за дві хвилини. Зазвичай такої швидкодії системи орієнтації для телекомунікаційного або навігаційного НС цілком достатньо. Але кожна із систем має певні недоліки: системи на двигунах-маховиках потребують періодично здійснювати їх розвантаження; системи з моментним магнітоприводом не забезпечують одночасну тривісну орієнтацію, що пов'язано зі структурою магнітного поля Землі; системи з ІД мають ресурс роботи, який обмежений запасами палива.

З погляду на це обґрунтованим буде одночасне використання хоча б двох систем. Наприклад, орієнтацію може забезпечувати система на двигунах-маховиках, а їх розвантаження буде виконуватись моментним магнітоприводом. Однак лише компактні іонні прискорювачі дозволять НС змінювати орбітальну позицію або утримуватись на ній тривалий час.

Також двигуни малої тяги можуть використовуватися для керованого сходу з орбіти ушкоджених НС. Це змусить їх згоряти в атмосфері Землі й частково вирішить проблему космічного сміття. Оскільки системи орієнтації на двигунах-маховиках та магнітних виконавчих органах не дозволяють здійснювати зміну орбіти НС, найбільш

доцільним буде використання комбінованої системи, яка може бути реалізована у двох варіантах. У першому вона складається з двигунів-маховиків та ІД, у другому – з магнітних котушок та ІД. Двигуни-маховики або магнітні котушки дозволяють вирішувати завдання стабілізації та орієнтації. ІД у першому варіанті реалізації будуть задіяні в основному для періодичного розвантаження двигунів-маховиків, у другому – для допомоги системі з моментним магнітоприводом виконувати одночасну тривісну орієнтацію. Але в обох варіантах ІД забезпечать можливість зміни орбіти НС, що в цілому дозволить значно збільшити їхній термін служби, а також здійснювати плановий відхід з орбіти після закінчення експлуатації [9; 10].

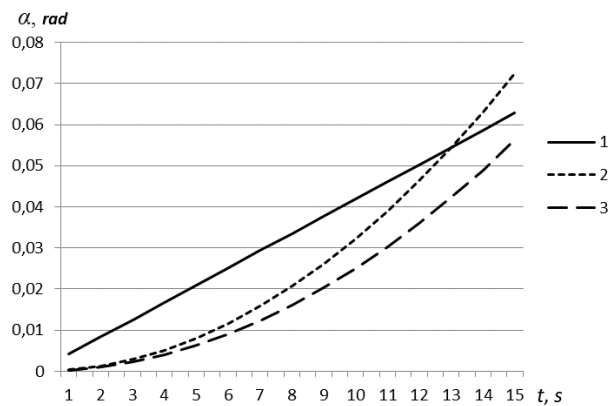


Рис. 2. Часова залежність величини кута повороту НС: 1 – для системи на двигунах-маховиках, 2 – для системи з моментним магнітоприводом, 3 – для системи з ІД

Безперервне функціонування НС потребує певного енергозабезпечення. Зазвичай основними споживачами є приймально-передаюче обладнання та система орієнтації НС.

Загасання для ідеальної ізотропної антени у вільному просторі визначається:

$$L = 32,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(d), \quad (4)$$

де f – частота в МГц, d – відстань у км.

Тому на межі зони обслуговування кластеру (відстань понад 1500 км) загасання становить $L=160$ дБ.

Чутливість сучасних приймачів терміналів персонального супутникового зв'язку – близько 118 дБ. Враховуючи підсилення антени до $G = 15$ дБ, втрати, що пов'язані з формуванням спіральною антеною сигналу із круговою поляризацією, – порядку 3 дБ, а також можливі втрати в атмосфері до 3 дБ, потужність випромінювання із «запасом» у 3 дБ повинна становити:

$$P = 160 - 118 - 15 + 3 + 3 + 3 = 36 \text{ дБ}, \quad (5)$$

тобто 4 Вт. Коефіцієнт корисної дії (ККД) передавача, як правило, не перевищує 30%, що відповідає потужності споживання 14 Вт. Додатково для роботи приймача потрібно 5 Вт.

Необхідне взаємне розташування променів НС у кластері можна забезпечити лише за керованого польоту НС. Гібридна система орієнтації та стабілізації споживає близько 4–8 Вт. При цьому необхідно врахувати той факт, що частина електричної потужності витрачається на підзарядку акумулятора, який забезпечує роботу НС під час знаходження його в тіні Землі. З огляду на це сонячна батарея повинна забезпечити потужність живлення на рівні 45 Вт [3; 11].

Потужність потоку сонячного випромінювання на вході в атмосферу Землі становить близько 1366 ват на квадратний метр [12]. Сьогодні переважна більшість виробників сонячних батарей представляють продукцію з коефіцієнтом корисної дії (ККД), що не перевищує 20%, хоча є заяви про нові гелієві сонячні панелі, виготовлені із застосуванням нанотехнологій та нових напівпровідникових матеріалів з ККД до 35% [3; 13].

За умов розташування поверхні сонячної батареї НС перпендикулярно напрямку поширення сонячних променів (із допуском на незначне відхилення до 15 градусів) електрична потужність, яка виробляється, може бути знайдена:

$$P = 1366 \times \eta \times S, \quad (6)$$

де η – ККД сонячної батареї; S – площа поверхні сонячної батареї.

Для отримання необхідної потужності живлення площа поверхні сонячної батареї повинна бути не меншою ніж:

$$S = \frac{P}{1366 \times \eta}, \quad (7)$$

тобто $S = 0,165 \text{ м}^2$. Стандартний розмір НС формату *CubeSat-1* – куб зі стороною 10 см. За умови використання двох симетричних батарей, одна сторона якої дорівнює зазначеним 10 см, інша, за умови округлення розрахункового значення в більший бік, кратний 10 см, повинна мати довжину 90 см.

З огляду на це та враховуючи необхідність наявності акумулятора в конструкції НС, його формат можна визначити як *CubeSat-2*, коли в одному кубі будуть розташовані елементи енергоустаткування (сонячні батареї та акумулятор), а в іншому – обладнання відповідно до функціонального призначення.

Важливим етапом створення, підтримання та оновлення ССЗН є процес виведення супутни-

ків на орбіту, який зазвичай відбувається за допомогою ракет-носіїв, у тому числі багаторазового використання. Наприклад, останній запуск для поповнення угруповання системі *Iridium* відбувся 11.01.2019 року з космодрому База Ванденберг. За допомогою ракети-носія *Falcon 9* було виведено десять супутників *Iridium NEXT*, вагою 860 кг кожен. Всього протягом 2017–2019 років відбулось вісім запусків *Falcon 9*, що дозволило здійснити виведення 75-ти апаратів [14]. Зазначений спосіб виведення є досить вартісним, тому лише держави з потужною економікою мають власні ракети-носії. <http://ecospace.me/>

Альтернативний спосіб виведення супутників на орбіту – повітряний старт, який передбачає запуск космічних апаратів з повітряних суден горизонтального зльоту. Таки переваги, як зменшення маси, сили протидії та вартості ракети-носія, дозволяють у кілька разів знизити витрати на запуск. Нині саме українські літаки АН-124-100 «Руслан» та АН-225 «Мрія» можуть бути задіяні для виконання цієї місії (див. рис. 3, 4, 5) [15].

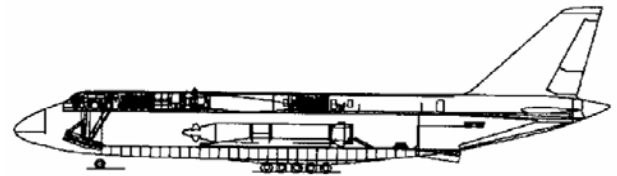


Рис. 3. Аерокосмічна система «Оріль» на базі літака АН-124-100 «Руслан»

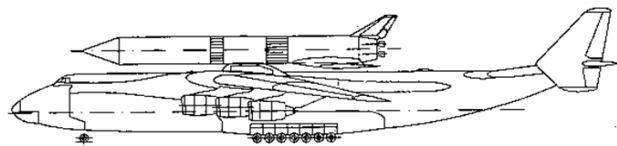


Рис. 4. Аерокосмічна система «Світязь» на базі літака АН-225 «Мрія»

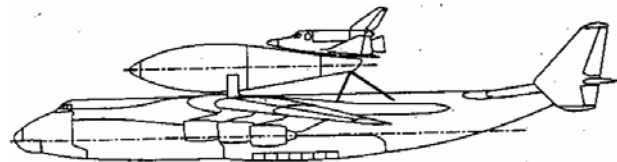


Рис. 5. Аерокосмічна система «МАКС» на базі літака АН-225 «Мрія»

Висновки. За рахунок використання розподіленого супутника та повітряного старту ефективність супутникового сегменту на базі НС виявляється значно вищою в порівнянні з існуючими ССЗН. Окрім того, запропоноване рішення в цілому підвищує надійність усієї системи, оскільки втрата або

вихід з ладу окремих НС незначним чином вплине на характеристики угруповання, а у випадку часткового резервування НС у кластері такі події можуть бути повністю нівельовані. Немаловажним є і той факт, що з'являється можливість поетапного

оновлення космічного сегменту. Використання НС вирішить проблему космічного сміття, оскільки НС будуть знаходитись на низькій орбіті та після закінчення своєї місії будуть повністю згорати в земній атмосфері.

Список літератури:

1. Иванов С. Орбита захоронения: почему над Землей летают тысячи никому не нужных спутников. URL: <https://hightech.fm/2019/08/26/orbita-satellite>
2. SatcomDV. Информация о системах спутниковой связи. URL: http://www.satcomdv.ru/informaciya_o_sistemah_sputnikovoj_sa
3. Monitoring system and fixed communication on the basis of nanosatellites / A. Lysenko et al. 2018 5th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). October 10-13, 2018. Kyiv, Ukraine, 2018. P. 495–498.
4. Wind-sail, сайт компании. Космический сегмент спутниковой связи Иридиум. URL: <https://wind-sail.ru/equipment/svyaz/sistema-mobilnoj-sputnikovoj-svjazi-iridium/>
5. Satlink. Технические характеристики спутниковой системы связи Iridium. URL: http://www.satlink.ru/Sputnikovaia_sviyaz/Iridium/Tehnicheskie_harakteristiki.html
6. Явісія В.С., Лисенко О.І. Антенні пристрої для наносупутникової системи фіксованого зв'язку : XI Науково-практична конференція «Пріоритетні напрямки розвитку телекомунікаційних систем та мереж спеціального призначення. Застосування підрозділів, комплексів, засобів зв'язку та автоматизації в операції Об'єднаних сил». Доповіді та тези доповідей. Київ : ВІТІ, 2018. С. 241.
7. Неганов Н.А., Ключев Д.С., Табаков Д.П. Устройства СВЧ и антенны. Теория и техника антенн. Москва : Едиториал УРСС, 2016. Ч. 2. 728 с.
8. Левантовский В.И. Механика космического полета в элементарном изложении. Москва : Наука, 1980. 512 с.
9. Yavisiya V.S., Bendasiuk N.M. Analysis of Methods fo Orientation and Stabilization of Nano-Satellites : 4th International Conference methods and systems of navigation and motion control (MSNMC-2016), October 18-20, 2016. Kyiv, Ukraine, 2016. P. 158–161.
10. Явісія В.С. Гібридна система орієнтації телекомунікаційних наносупутників : Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 273–275.
11. Явісія В.С. Енергетичний розрахунок телекомунікаційних наносупутників : Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 276–278.
12. Энциклопедия по машиностроению XXL. URL: <http://mash-xxl.info/info/495944>
13. Солнечные батареи в космическом пространстве. URL: <http://solarb.ru/solnechnye-batarei-v-kosmicheskom-prostranstve>
14. Все спутники связи. Каталог. URL: <http://ecoruspace.me>
15. Підхід до побудови космічного сегменту системи супутникового зв'язку CLEAR SPACE / В.С. Явісія та ін. : Тринадцята міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи телекомунікацій». Матеріали конференції. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. С. 22–26.

Yavisiya V.S., Lysenko O.I., Novikov V.I., Kyselov V.B., Guida O.H.

SYSTEM TECHNICAL-ECOLOGICAL-ECONOMIC APPROACH

TO ENSURING GLOBAL NANOS-SATELLITE COMMUNICATION AND NAVIGATION

The article dears with a systematic technical-ecological-economic approach to providing global nanosatellite communication and navigation. To create a satellite communication and navigation system, it is important to use a spacecraft in the form of a distributed satellite, which consists of a group of ultra-small spacecraft known as a nanosatellite. To determine the structure of a distributed satellite, it is proposed to consider the most well-known low-orbit satellite communication system, Iridium.

According to the authors, the creation of a satellite communication and navigation system based on nanosatellites is possible only if the problem of ensuring a stable and controlled position of nanosatellites in orbit is solved. The task of orientation and stabilization is solved by passive and active methods.

It is stated that an important step in creating, maintaining and updating a satellite communication and navigation system is the process of launching satellites into orbit, which usually takes place with the help of launch vehicles, including reusable ones. This method of launch is quite expensive, so the paper proposes an

alternative way of launching satellites into orbit - air launch, which involves the launch of spacecraft from aircraft horizontal takeoff. Advantages such as a reduction in mass, resistance and cost of the launch vehicle, allow several times to reduce launch costs. Today, it is the Ukrainian aircraft AN-124-100 "Ruslan" and AN-225 "Mriya" that can be used to fulfill this mission.

Due to the use of a distributed satellite and air launch, the efficiency of the nanosatellite-based satellite segment is significantly higher than existing satellite communications and navigation systems. The use of nanosatellites will solve the problem of space debris, as nanosatellites will be in low orbit and at the end of their mission will burn completely in the Earth's atmosphere.

Key words: *satellite communication and navigation system, nanosatellites, air launch, Iridium, distributed satellites, satellite segment.*

ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 658.512

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/10>**Євсєєв В.В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

Максимова С.С.

Харківський національний університет радіоелектроніки

ТЕХНОЛОГІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ РОЗРОБКОЮ КІБЕРФІЗИЧНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

У статті, що пропонується, вказується, що в сучасному світі, в сучасній промисловості все більшого застосування знаходить технологія Industry 4.0. Слід зазначити, що кіберфізичні промислові системи (CPPS) – це концепція, що виникає та втілює принципи дизайну й поведінки надзвичайно складних технічних систем. У представленій роботі розглядається технологія процесу керування розробкою CPPS. Запропонована нова методологія проєктування CPPS. Указана методологія використовує принцип подання CPPS як метасистеми, в якій використовується вертикальне розбиття (декомпозиція) рівнів проєктних рішень. У такому випадку використовується так зване проєктування «згори-вниз». В основі запропонованої технології проєктування CPPS рекомендується використовувати принцип «зверху-вниз» і «зліва-направо». Такий вибір зумовлений складною ієрархічною структурою будь-якої сучасної промислової CPPS. У роботі детально подане дерево проєктування з урахуванням п'ятирівневої декомпозиції та етапів проєктування. Розроблені формалізовані методи декомпозиції рівнів проєктних рішень за такими етапами: цільовий, функціональний, організаційно-технічний, інфологічний, інформаційний та алгоритмічний. У поточній науковій роботі наводяться та пояснюються такі структури: дерево проєктних рішень на етапі декомпозиції, дерево проєктних рішень декомпозиції на функціональному етапі, дерево проєктних рішень декомпозиції на організаційно-технічному етапі, дерево проєктних рішень декомпозиції на інфологічному етапі, дерево проєктних рішень декомпозиції на інформаційному етапі, дерево проєктних рішень декомпозиції на алгоритмічному етапі. У статті описуються розроблені формалізовані методики побудови системних моделей за кожним із вищеназваних етапів проєктування. Це дозволяє оцінити правильність прийнятих проєктних рішень і зв'язків, оцінити часові, якісні й функціональні параметри на ранньому етапі проєктування CPPS.

Ключові слова: Industry 4.0, кіберфізичні промислові системи, технологія, автоматизація процесів керування.

Постановка проблеми. Стаття є однією з циклу статей, присвячених проблемі керування розробкою кіберфізичних промислових систем (CPPS). Вона представляє собою продовження розв'язання складної науково-дослідницької задачі розробки нової технології автоматизації процесів керування на базі запропонованої архітектурно-логічної моделі автоматизації процесу керування розробкою складних CPPS [1].

Головною загальною характеристикою є дуже тісна взаємодія між обчислювальними (кібер) та фізичними процесами (складовими). Тож можна зробити висновок, CPPS – це комплексна

система з кібер і фізичних елементів, що безперервно отримує інформацію ззовні (з навколишнього середовища) та використовує її для подальшої оптимізації процесів керування. Така система може ефективно працювати в умовах, які постійно змінюються. Це стає особливо актуальним у сучасному світі, коли ситуація на ринку змінюється постійно, часто непередбачувано.

Таким чином стає нагальною проблема створення систем CPPS. А отже, дослідження технології процесу керування розробкою кіберфізичних виробничих систем є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасному світі все більших обертів набирає розвиток та застосування технології Industry 4.0. Дослідники приділяють величезну увагу проблемам створення нового світу – світу, у якому поєднуються кібер і фізична складова. У [2] автори зазначають, що Індустрія 4.0 прагне пом'якшити обмеження, що існують у сучасній практиці. Ця технологія пропагує бачення повністю взаємопов'язаної екосистеми систем, машин, продуктів і багатьох різних зацікавлених сторін. У цьому середовищі динамічно взаємопов'язані автономні системи підтримують людей у багатогранному прийнятті рішень. Промисловий Інтернет речей та кіберфізичні системи (CPS) – це лише дві концепції, що виникають, що втілюють принципи дизайну та поведінки таких надзвичайно складних технічних систем. Дослідники у [3] наголошують, що кіберфізична система є основною концепцією Індустрії 4.0 для побудови розумних фабрик. Зазвичай архітектури більше наголошують на вертикальній інтеграції і менше на горизонтальній інтеграції. Lee J., Vagheri B., Као Н.-А. [4] приділяють увагу тому, що досягнення в певних галузях промисловості відкрили шлях до систематичного розгортання кіберфізичних систем (CPS), в рамках яких інформація з усіх суміжних точок зору ретельно відстежується та синхронізується між фізичним підлогою заводу та кіберобчислювальним простором. У статті [5] розглядаються 118 академічних та галузевих робіт, опублікованих у період з 2010 по 2019 рік. Тут зазначається, що як у бізнес-звітах, так і в технічних документах приділяється підвищена увага пропозиціям щодо моделей, інфраструктур та систем IoT. Ці звіти та публікації часто представляють зіставлення інших суміжних систем та технологій (наприклад, Індустріальний Інтернет речей, Кіберфізичні системи, Індустрія 4.0 тощо). Натепер у літературі відсутній процес проектування для інтеграції цих систем та технологій, що постійно розвиваються, у чітку та зрозумілу поетапну модель.

Постановка завдання. В результаті проведеного аналізу публікацій, пов'язаних із темою дослідження дав можливість зробити висновок, що рішення, які вже існують, носять описовий характер. В них відсутнє чітке визначення послідовності процесу керування розробкою CPPS.

Метою дослідження є розробка технології процесу керування розробкою кіберфізичних виробничих систем.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

а) провести декомпозицію процесу розробки CPPS;

б) розробити дерево проєктних рішень декомпозиції на функціональному етапі;

в) розробити дерево проєктних рішень декомпозиції на організаційно-технічному етапі;

г) розробити дерево проєктних рішень декомпозиції на інфологічному етапі;

г) розробити дерево проєктних рішень декомпозиції на інформаційному етапі;

д) розробити дерево проєктних рішень декомпозиції на алгоритмічному етапі.

Виклад основного матеріалу дослідження. Запропоновано архітектурно-логічну модель автоматизації процесу управління розробкою складних CPPS та методи декомпозиції основних етапів процесів керування, які дозволяють прийняти рішення на кожному етапі розробки [1]. Але вони не дають загального уявлення про технологію розробки CPPS. Наступним кроком є розробка технології процесу керування CPPS. Під поняттям через технологію процесу керування розробкою CPPS будемо розуміти таке поняття – це логічно пов'язана послідовність прийняття рішень розробником на основі методів декомпозиції у відповідності до дерева й етапів розробки (рис. 1).

В основі запропонованої технології розробки CPPS, пропонується використовувати принцип «зверху-вниз» і «зліва-направо». Такий вибір обумовлений складною ієрархічною структурою будь-якої сучасної промислової CPPS. Отже, на початковому етапі необхідно вирішити завдання системного проєктування. Грунтуючись на такому припущенні розробнику необхідно визначити п'ятий рівень ієрархії розробки CPPS грунтуючись на критерії головної мети і вимог зазначених в технічному завданні. В ході проведення системного аналізу, вибору критеріїв декомпозиції, визначення п'ятого рівня декомпозиції відбувається на базі запропонованого метода [1]. Розробник виділяє необхідний рівень ієрархії розробки. Проводиться декомпозиція метасистеми на мультисистеми і фіксується цей рівень.

Що дає можливість приймати рішення на такому рівні в суворій послідовності використовуючи принцип «зліва-направо» в відповідності із запропонованими етапами розробки з урахуванням послідовності рішень від m до $m+n$. [1] Отже структуру технології розробки CPPS можна візуалізувати у вигляді систематизованого дерева прийняття рішень на етапі декомпозиції, який представлений на рис. 2.

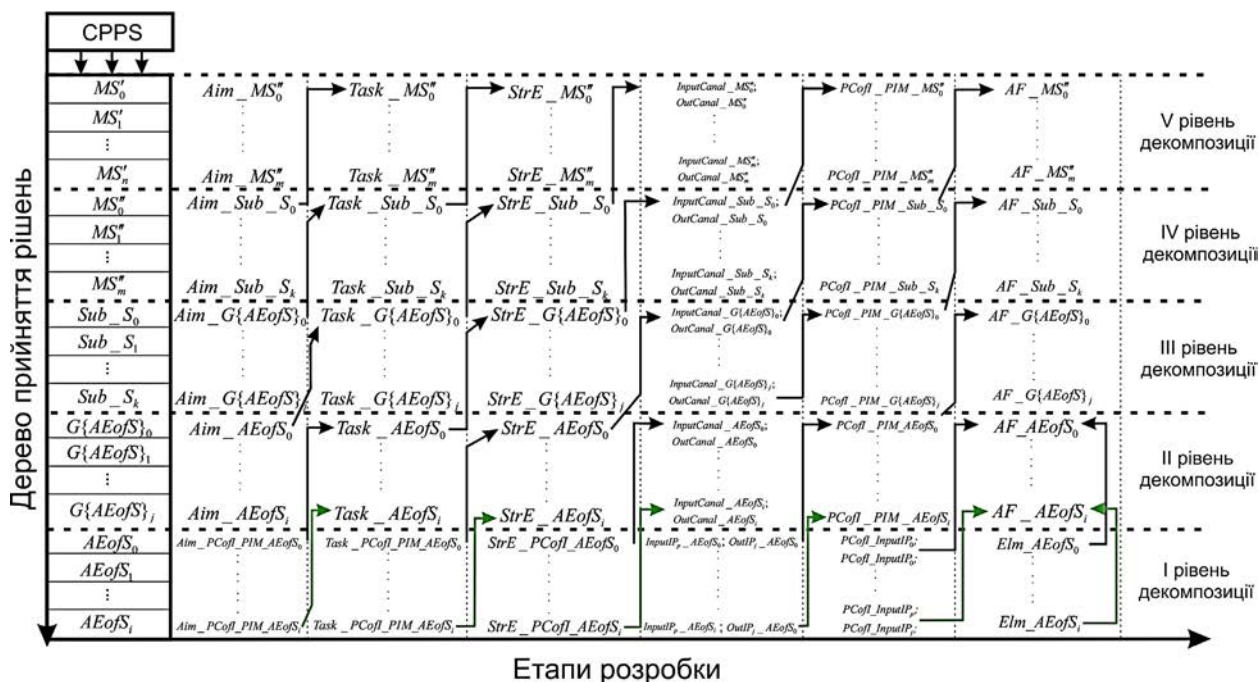


Рис. 1. Технологія процесу керування розробкою CPCS

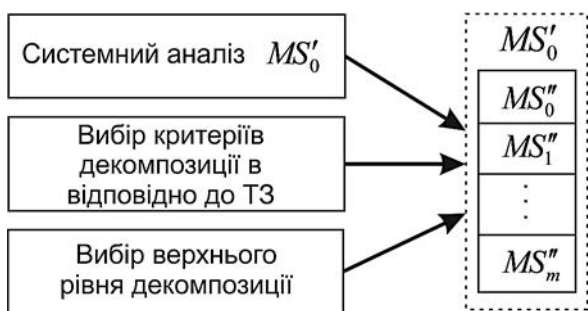


Рис. 2. Дерево прийняття рішень на етапі декомпозиції MS'_0

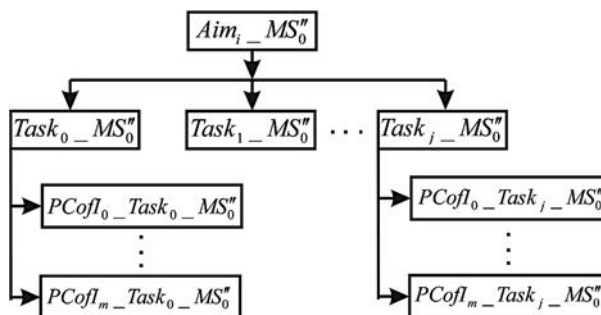


Рис. 3. Дерево прийняття рішень декомпозиції на функціональному етапі

Після виділення рівня декомпозиції, розробник виконує декомпозицію MS'_0 на $Aim_i - MS''_0$ на базі головної мети технічного завдання. Наступним кроком розробника є виявлення і обґрунтування всіх $PCofl - MS''_0$, на базі яких здійснюється побудова цільової моделі, проводиться перевірка правильності й оцінка ефективності прийняття рішень. Це виконується за допомогою статистичне або динамічного моделювання, яке повинно показати досягнення головної мети розробки MS'_0 . У відповідності до запропонованої технології проектування CPCS (рис.1.1) розробник може перейти до наступного етапу – розробка функціональної моделі. На цьому етапі відбувається пошук відповідності для кожної підцилі

($Aim_i - MS''_0$) свого завдання ($Task_j - MS''_0$) або групи завдань. Для кожного завдання $Task_j - MS''_0$ розробляється $PCofl - Task_j - MS''_0$, на базі яких будується функціональна модель досягнення $Aim_i - MS''_0$. Дерево прийняття рішень декомпозиції на функціональному етапі представлено на рис. 3.

Методом системного моделювання на $Task_j - MS''_0$ розробник виконує статистичне моделювання $PCofl - Task_j - MS''_0$ декомпованих функціональних елементів MS''_0 . Якщо результати моделювання відповідають головній меті MS'_0 , то можна вважати, що прийнятих рішення на функціональному етапі декомпозиції задач і так-

тико-технічних характеристик розроблені адекватно. Тоді розробник може переходити до етапу організаційно-технічного. На цьому етапі розробник розробляє структурні елементи системного рівня $StrE_MS_0''$, проводиться дослідження і вибір їх $PCofl_StrEM S_0''$ в залежності від вимог $PCofl_Task_j_MS_0''$. Будується системна структурна модель CPPS рівня MS_0'' та виконується статистичне моделювання $PCofl_StrEM S_0''$ для досягнення $Aim_i_MS_0''$.

Дерево прийняття рішень декомпозиції на організаційно-технічному етапі наведено на рис. 4.

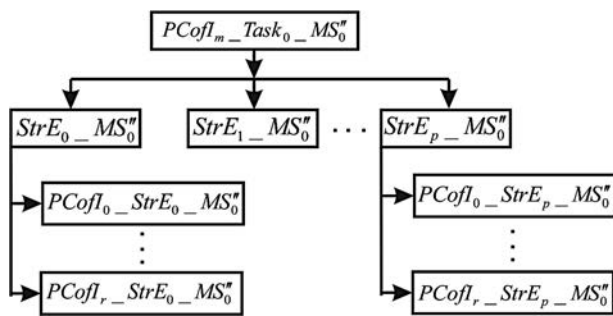


Рис. 4. Дерево прийняття рішень декомпозиції на організаційно-технічному етапі

Якщо результати моделювання задовольняють $PCofl_StrEM S_0''$ і $Aim_i_MS_0''$ можна вважати, що прийняти рішення на такому рівні відповідають головній меті розробки CPPS та вимогам технічного завдання. Це означає, що розробник може переходити до проектування інфологічного етапу. Розробник проводить аналіз $StrE_MS_0''$ та визначає $InputIP_i$ та $OutIP_j$ для кожного структурного елемента. Це вимагає дослідження інфологічних перетворювачів параметрів IC_MS_0'' і системних каналів зв'язків між ними $InputCanal_MS_0''$ та $OutCanal_MS_0''$, а також $PCofl_IC_MS_0''$ і $PCofl_InputCanal_MS_0''$, $PCofl_OutCanal_MS_0''$. На базі проведеного аналізу будується інфологічна модель CPPS системного рівня MS_0'' проводиться статистичне моделювання на відповідність $PCofl_IC_MS_0''$, $PCofl_InputCanal_MS_0''$, $PCofl_OutCanal_MS_0''$ і Aim_MS_0'' . При відповідності $PCofl_IC_MS_0''$, $PCofl_InputCanal_MS_0''$ та $PCofl_OutCanal_MS_0''$ головній меті рівня MS_0'' розробник може вважати, що прийняти рішення на такому етапі такими, що задовольняють технічному завданню на CPPS. Дерево прийняття рішень декомпозиції на інфологічному етапі наведено на рис. 5.

На основі результатів попереднього етапу розробник може переходити до розробки інформаційної структури обраного рівня. Для цього на базі результатів статистичного моделювання $PCofl_InputIP_i_MS_0''$ та $PCofl_OutIP_j_MS_0''$, $InputCanal_MS_0''$, $OutCanal_MS_0''$ проводиться розробка тактико-технічних характеристик фізико-інформаційної моделі такого рівня декомпозиції ($PCofl_PIM_MS_0''$). На їх основі синтезується послідовність інформаційних потоків, параметрів і зв'язків. Проводиться імітаційне моделювання під навантаженням для перевірки досягнення головної меті рівня MS_0'' та вимогам технічного завдання. Дерево прийнятих рішень декомпозиції на інформаційному етапі наведено на рис. 6.

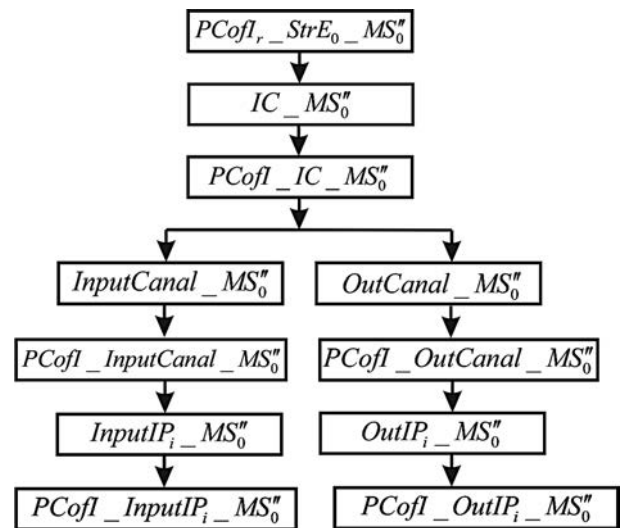


Рис. 5. Дерево прийняття рішень декомпозиції на інфологічному етапі

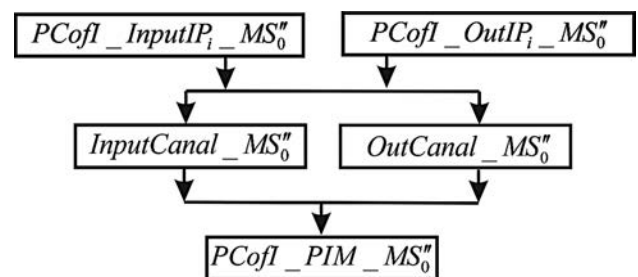


Рис. 6. Дерево прийняття рішень декомпозиції на інформаційному етапі

Базуючись на отриманих результатах розробник може переходити до розробки алгоритмічного етапу такого рівня декомпозиції. Завданням етапу є розробка алгоритму функціонування, на основі

якого в подальшому проводиться розробка кібер-складової CPPS.

На основі запропонованої метода розробник проводить аналіз $PCofI_PIM_MS_0^n$ та виконує розробку алгоритму рівня $AF_MS_0^n$. Для цього розроблюються оператори Op_h алгоритму функціонування CPPS на такому рівні декомпозиції, проводиться розрахунок тактико-технічних й інформаційних характеристик $PCofI_PIM_Op_h_MS_0^n$ системного рівня $AF_MS_0^n$ для кожного $Op_h_MS_0^n$. Використовуючи отримані результати розробник будує алгоритм $AF_MS_0^n$ і виконує спочатку статистичне, а потім імітаційне моделювання під навантаженням для перевірки правильності прийнятих рішень. Дерево прийняття рішень декомпозиції на алгоритмічному етапі наведено на рис. 1.7.

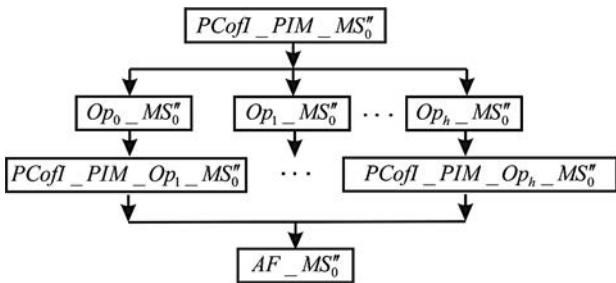


Рис. 7. Дерево прийняття рішень декомпозиції на алгоритмічному етапі

Якщо отриманий результат повністю задовольняє вимогам $Task_j_MS_0^n$, $Aim_i_MS_0^n$ і головній меті CPPS, то можна вважати, що прийняті рішення декомпозиції на інформаційному етапі правильні, отже, всі рішення на попередніх етапах розробки CPPS такого рівня декомпозиції «життєздатні».

Для більшої зручності розуміння всі запропоновані рішення декомпозиції рівня MS_0^n за такими етапами: мети, функціональному, організаційно-технічному, інфологічному, інформаційному й алгоритмічному можна подати у вигляді узагальненого дерева прийняття рішень декомпозиції рівня MS_0^n , який подано на рис. 8.

Базуючись на наведеному дереві декомпозиції рівня MS_0^n , можна припустити, що використовуючи запропоновані методи можна провести декомпозицію всіх рівнів від Sub_S_k до $AEofS_i$

і забезпечити досягнення головної мети розробки CPPS. Слід зазначити, що запропоновані методи декомпозиції дозволяють розробнику не лише розробити структуру CPPS, а й забезпечити вибір необхідних атомарних елементів $AEofS_i$ (фізичної складової) на основі їх можливості розв'язання елементарних задач і отримати математичний опис кожної задачі або групи для розробки їх алгоритму роботи (кібер складової). Отримані рішення з процесу керування розробки CPPS надають можливість провести статистичне й імітаційне моделювання під навантаженням. Також стає можливим оцінити часові, якісні та функціональні параметри CPPS, що розробляється.

Висновки. У статті проведено дослідження сучасних кіберфізичних систем (CPPS), які є невід'ємною частиною технології Industry 4.0. Обґрунтовано, що розробка кіберфізичних систем є складним науково-дослідницьким завданням, яка має складний багаторівневий характер, що поєднує кібер і фізичну складові та синтез зв'язків між ними. У зв'язку з цим запропонована нова методологія процесу керування розробкою CPPS на базі розроблених і систематизованих методів декомпозиції. Технологія базується на принципі подання CPPS як метасистеми з вертикальною декомпозицією рівнів прийняття рішень, які дозволяють реалізувати дерево рішень за принципом «згори-вниз». Запропоновані етапи процесу керування розробкою CPPS, які описують кібер і фізичну складову шляхом декомпозиції за принципом «зліва-направо». Запропонований комплекс логічно пов'язаних рішень, які є системою методів і моделей, на основі якої запропонована послідовність рішень на кожному етапі та рівні декомпозиції CPPS. Для цього розроблені формалізовані методи декомпозиції рівнів прийняття рішень за такими етапами: цільовий, функціональний, організаційно-технічний, інфологічний, інформаційний і алгоритмічний. Розроблені формалізовані методи побудови системних моделей за кожним етапом розробки. Це дозволяє оцінити правильність прийнятих рішень і зв'язків, оцінити часові, якісні та функціональні параметри на ранньому етапі розробки CPPS з використанням сучасних засобів статистичне й імітаційного моделювання.

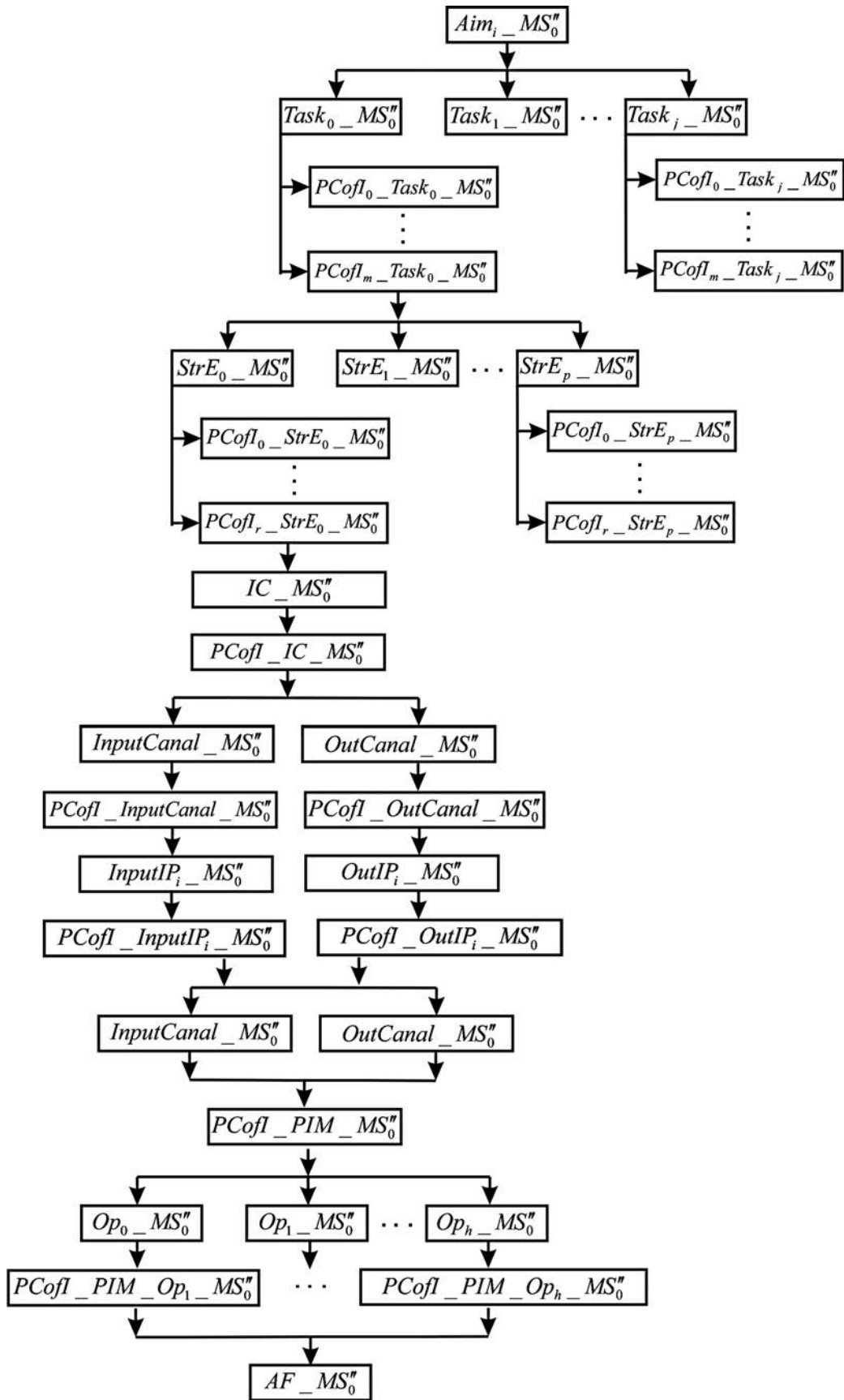


Рис. 8. Дерево прийняття рішень декомпозиції рівня MS_0^n

Список літератури:

1. Nevliudov I., Yevsieiev V., Maksymova S., Filippenko I. Development of an architectural-logical model to automate the management of the process of creating complex cyber-physical industrial systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol 4. No 3 (106). 2020. P. 44–52. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.210761.
2. Ribeiro L., Hochwallner M. On the design complexity of cyber-physical production systems. *Complexity*. 2018. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1155/2018/4632195>.
3. Jiang J.-R. An improved cyber-physical systems architecture for Industry 4.0 smart factories. *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 10 (6). P. 1–15. URL: <https://doi.org/10.1177/1687814018784192>.
4. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*. 2015. No. 3. P. 18–23. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.
5. Radanliev P., Roure D. de, Nicolescu R., Huth M. A reference architecture for integrating the Industrial Internet of Things in the Industry 4.0. *Computers and Society (cs.CY)*. 2019. DOI: 10.13140/RG.2.2.26854.47686.

Yevsieiev V.V., Maksymova S.S. CYBER-PHYSICAL PRODUCTION SYSTEMS DEVELOPMENT CONTROL PROCESS TECHNOLOGY

*The proposed article states that in today's world, in modern industry, Industry 4.0 technology is increasingly used. It should be noted that cyber-physical *зкувзсеиуиуи* systems (CPPS) is a concept that arises and embodies the principles of design and behavior of such extremely complex technical systems. In the presented work the technology of CPPS development control process is considered. A new CPPS design methodology is proposed. This methodology uses the principle of CPPS representation as a metasystem that uses vertical partitioning (decomposition) of design decision levels. In this case, the so-called “top-down” design is used. Based on the proposed CPPS design technology, it is proposed to use the “top-down” and “left-right” principle. This choice is due to the complex hierarchical structure of any modern industrial CPPS. The paper presents in detail the design tree, taking into account the five-level decomposition and design stages. Formalized methods of design decisions levels decomposition on the following stages are developed: target, functional, organizational and technical, infological, informational and algorithmic. The current scientific work provides and explains the following structures: design decisions tree at the stage of decomposition, design decisions tree of decomposition at functional stage, design decisions tree of decomposition at the organizational and technical stage, design decisions tree of decomposition at the infological stage, design decisions tree of decomposition at the information stage, design decisions tree of decomposition at the algorithmic stage. The article describes the developed formalized methods of building system models for each of the above stages of design. This allows to assess the correctness of design decisions and relationships, to assess the time, quality and functional parameters at an early stage of CPPS design.*

Key words: Industry 4.0, cyber-physical production systems, technology, control processes automation.

Yerastova V.V.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Oleshchenko L.M.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Yurchyshyn V.Ya.

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

FORECASTING SOFTWARE MARKET PRICE USING BACK PROPAGATION NEURAL NETWORK

This research uses backpropagation artificial neural network to examine whether it is capable of adequately capturing software cost complexities in weight space, to enable it to make accurate estimates.

The input for this task is a set of open information about the software of a certain type. Because of the openness criterion, it was decided to choose mobile apps for Android, full information of this type of software is available on an open source Google Play Market. The purpose of the developed software is to reach the Google server in real time and to receive up-to-date information on the current situation in the mobile application market.

Within the collected data set, backpropagation artificial neural network appears to indicate the potential to be developed into good software price estimation models. The model is not difficult to develop and has the flexibility of being able to incorporate additional attributes as input if special circumstances warrant their inclusion. Neural network has the ability to capture knowledge of the complex interrelationships in weight matrix to make predictions.

For this research the data were divided into three sets. The training set, the test set, and the validation set. The data for each category were randomly chosen, except that the data in the test and validation sets was not allowed to be larger or smaller than the largest and smallest features respectively in the training set. This was done so that predictions were not made outside the data range on which the network had been trained. The inputs were rating, number of ratings, number of downloads, number of reviews, in-app purchases, number of supported languages. The accuracy of the price estimate was taken as the Root Mean Square Error (RMSE).

Key words: *software, market price, software price estimation models, dataset, backpropagation artificial neural network.*

Introduction. Problem statement. In today’s economic environment the development and implementation of new technologies is especially important for the successful competition of companies. An important element in making investment decisions for technological projects is to evaluate their effectiveness. As the market of the purchase/sale of new technologies exists and functions, there is a need to determine the value of the development.

Estimating the cost of technology is needed to analyze the profitability of current and future technological projects and the feasibility of investments.

The ability to estimate the potential benefits and losses from the project in the early stages, to analyze possible scenarios of the development of events becomes very important. According to statistics, about a quarter of all projects is completed on time, a quarter is canceled and about half of all projects are

over budgeted or overdue. Most of the reasons are due to incorrect project cost estimates.

Related research. The beginning of intensive studies in the field of cost estimation modeling dates back to 1965–1966, when E.A. Nelson, a member of the System Development Corporation (SDC), who carried out a study on calculating the cost of software for the US Air Force, published a work entitled “Management Handbook for the Estimation of Computer Programming Costs” [1].

Since that time, a lot of models for estimating the cost of software have appeared. Depending on the method of obtaining the initial data in determining the cost and labor costs of developing a software product different methods and models of software cost estimation are offered.

Among the non-algorithmic methods the most commonly used are:

– Price-to-win. The method is based on the principle that the client is always right. The essence of the method is that regardless of the estimated actual costs of project development, the cost estimate of the software is adjusted according to the wishes of the customer [2].

– Expert evaluation. The method is based on the principle of peer review and is used in projects that use new technologies, new processes or solve innovative tasks. The evaluation process involves design engineers who self-evaluate their part of the project. Thereafter, a meeting is convened, at which the results of the individual assessments are integrated into a single, coherent system [3].

– Evaluation by analogy. As a kind of peer review, it often stands out as a separate method. The method is based on the principle of analogy. Evaluation by analogy, like algorithmic models, uses empirical data on the characteristics of completed projects. The key difference is that algorithmic models use this data in a way, for example, to calibrate model parameters, and the method of estimation by analogy with empirical data allows us to select similar projects [4].

The software cost estimation model is one or more functions that describe the relationship between the characteristics of the project and the costs of its implementation.

Models are divided according to the type of functions into linear, multiplicative, power ones and the use of historical data into empirical and analytical ones. The most commonly implemented and well-documented models are SLIM [5] and COCOMO [6].

Nevertheless, it is equally important to be able to estimate the competitive price of a product within the existing software market, that is not allowed in existing evaluation models. For this purpose, the use of assessment methods with the ability to study is the most appropriate, these are updated methods of evaluation by analogy with the subsequent training using artificial intelligence techniques (such as neural networks).

Nowadays, machine learning uses analytical models and algorithms that are continually refined through data-driven learning so that computers can capture hidden meaning without being programmed to where to look for it. This means that scientists and data analysts can teach computers to solve problems without setting rules for each new set of data. Using algorithms that are learned by studying hundreds and thousands of samples of data, computers can solve a similar problem in a new situation, making a prediction based on experience. And they do it with an accuracy that is already comparable to the human intellect.

The value of neural network modelling techniques in performing complicated pattern recognition and non-linear estimation tasks has been demonstrated across an impressive spectrum of applications.

This study uses backpropagation artificial neural networks to examine whether they are capable of adequately capturing software cost complexities in their weight space, to enable them to make accurate estimates.

Problem solution and results. The prediction task is first and foremost the task of data analysis. For any data analysis problem, there are major steps to solving it. General scheme of the forecasting task is presented in the Fig. 1.



Fig. 1. General scheme of the forecasting task

In this case, the goal is to predict the market value of the software. The next step is data preparation, which involves identifying data sources for analysis, combining and cleaning them. The required data can be in different databases and on different servers. Moreover, they can be presented in the form of text files, tables, in different formats.

The collected data usually requires additional processing, which called cleaning. The output of this step should be structured data in the form of a rectangular table, where each row represents a separate case, object or condition of the investigated object, and each column – the parameters, properties or characteristics of all investigated objects.

The next step is to build a model. The model includes a reference to the data mining algorithm and its parameters, as well as the analyzed data. The model may be trained in applying the selected algorithm to the training dataset. After that, it stores the identified patterns.

The last step is to test the model. The purpose here is to evaluate the quality of the model created. When solving forecasting problems, the quality of the

forecast given by the model can be verified on a test set that knows the value of the forecast parameter.

Data collection. The input for this task is a set of open information about the software of a certain type. Because of the openness criterion, it was decided to choose mobile apps for Android, full information of this type of software is available on an open source Google Play Market. The purpose of the developed software is to reach the Google server in real time and to receive up-to-date information on the current situation in the mobile application market. At this time, Google does not provide the official API to access mobile app data hosted on the Play Market. Several API's for access to data were considered:

1. Google Play Unofficial Python API (<https://github.com/egirault/googleplay-api>).
2. Python Android Market Library (<https://github.com/liato/android-market-api-py>).
3. 42matter (<https://42matters.com>).

The third option was the most suitable for this prediction task, because HTTP-request GET that POST of this RESTful API allows to get all the meta-data of any application in a convenient for the next processing format JSON (Fig. 2).

It was decided to select software features that could affect the price of the analogue product as a key feature of the received information.

The first feature is an app rating. Rating is the definition of an estimation parameter or group of parameters

according to a certain estimation algorithm, according to a given ranking scale. In fact, rating is a measure of the popularity of anything. The rating is determined by the survey method of a large target group or a limited group of experts. The Google Play Store service is ranked by users. It is presented as 5 stars, with 5 stars being the best rating and 1 star being the lowest.

The next feature is the number of ratings. This parameter represents the total number of users who rated the app from 1 to 5 stars. Also, the attributes are the number of individual app ratings, that is, the number of users who rated the app 1 star, the number of users rated 2 stars, and so on. We get five more features.

Another feature is the number of downloads. Downloading an application is transferring the application data from the Google Play Market to the device and installing it. That is, this parameter shows the number of users who installed the application on their device. Another important feature is the number of feedbacks. Feedback is an opinion of users is based on an affirmative attitude toward the app on Google Play Market. Another feature is the presence of in-app purchases provided by the in-app purchase of virtual goods, services, or digital content.

Also, quantity of supported languages in the application was selected as feature. This feature shows how many languages are available in the Google Play Market app. The dependent characteristic, which is called the target variable, is the price of the applica-

```
{
  "number_results": 4051879,
  "results": [
    {
      "rating": 4.0571060180664,
      "downloads_min": 1000000000,
      "cat_keys": [
        "SOCIAL",
        "APPLICATION"
      ],
      "price": "",
      "cat_int": 19,
      "ratings_2": 3207375,
      "ratings_1": 9032396,
      "ratings_4": 11494899,
      "ratings_3": 6712031,
      "promo_video": "",
      "ratings_5": 44504093,
      "created": "2011-12-27T17:48:05+00:00",
      "interactive_elements": [
        "Users Interact",
        "Shares Info",
        "Shares Location"
      ],
      "version": "Varies with device",
      "price_in_n_countries": [
      ],
      "size": 13766524,
      "cat_type": 0,
      "market_update": "2018-02-26T00:00:00+00:00",
      "short_desc": "Find friends, watch live videos, play games & save photos in your social network",
      "app_availability": {
        "available_in": [
          "DE"
        ]
      }
    }
  ]
}
```

Fig. 2. Result of the request to API

tion. After the data is collected, it must be prepared. This stage is called preprocessing. The main task of preprocessing is to display data in a format suitable for learning the model. For this purpose, unnecessary information was deleted and all data was normalized.

Neural network model. For this research, backpropagation artificial neural network models were used. Backpropagation networks are the most generalised neural networks currently in use and this approach was chosen in preference to Hopfield and Kohonen networks. As software development estimation is not a time series problem, approaches such as finite impulse response (FIR) and recurrent networks were not considered.

The backpropagation network requires data from which to learn. To learn the network calculates the error, which is the difference between the desired response and the actual response, and a portion of it is propagated backward through the network. At each neuron in the network the error is used to adjust weights and threshold values of the neuron, so that at the next epoch the error in the network response will be less for the same inputs. This corrective procedure is called backpropagation and is applied continuously for each set of inputs or training data. The training data should consist of as much relevant data as possible. In practice one does not usually have the luxury of a perfect training data set. The Backpropagation algorithm looks for the minimum value of the error function in weight space using a technique called the delta rule or gradient descent. The weights that minimize the error function is then considered to be a solution to the learning problem (Fig. 3).

For this research the data were divided into three sets. The training set, the test set, and the validation set. The data for each category were randomly cho-

sen, except that the data in the test and validation sets was not allowed to be larger or smaller than the largest and smallest features respectively in the training set. This was done so that predictions were not made outside the data range on which the network had been trained. The inputs were rating, number of ratings, number of downloads, number of reviews, in-app purchases, number of supported languages. The target against which the network was trained was the price of the application in the training set. The accuracy of the price estimate was taken as the Root Mean Square Error (RMSE).

To try and improve the network performance, the learning rate and momentum were varied, as was the network architecture. Models with one through to six hidden layers were developed. Consistently the models with just a single hidden layer performed better, while the models with multiple hidden layers in many instances did not converge. Various activation functions were tried, and the popular sigmoid function consistently gave the best results.

There is no clearly defined theory which allows for the calculation of the ideal parameter settings and as a rule, even slight parameter changes can cause major variations in the behavior of almost all networks. It is through a process of trial and error and experience that settings are selected which will result in a reduced average prediction error. The settings of the learning rate and momentum control the way in which the error is used to correct the weights in the neural network foreach training case. When the learning rate is set to high values (close to 1) there is the possibility of unstable behavior, as evidenced by widely varying average error values. When the learning rate is set lower, the

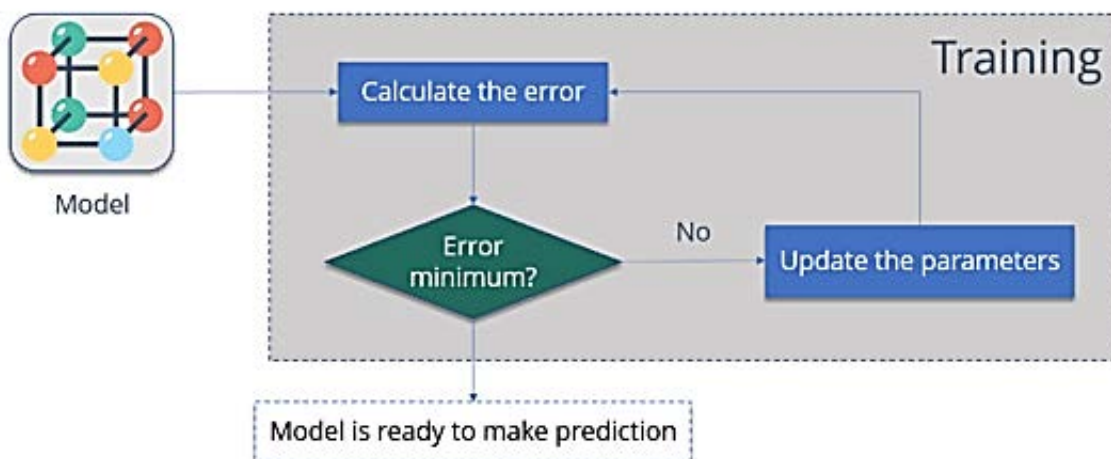


Fig. 3. Training a model

possibility of unstable behavior is reduced, but training times are increased and there is a greater probability of getting stuck in local error minima. The higher the momentum, the larger the percentage of previous errors that is applied to the weight adjustment in each training case [8]. For this set of data a learning rate of 0.2 and a momentum of 0.5 gave good results. The neural network architecture of a single hidden layer using a sigmoid activation function tended to result in the lowest average prediction error. The best results were obtained with a 17-5-1 architecture.

Analysis of data. Network models were developed with various combinations of inputs selected from the attributes mentioned above. The results were ambiguous, because prediction errors were erratic. An examination of the results showed that the network overestimate the price of the application with lower rating and worse indicators, as well as underestimate price

of the application with higher rating. For the remaining applications, the estimated price was more accurate.

Conclusions and future work. Within the collected data set, backpropagation artificial neural networks appear to indicate the potential to be developed into good software price estimation models.

The model is not difficult to develop and has the flexibility of being able to incorporate additional attributes as input if special circumstances warrant their inclusion. Neural networks have the ability to capture knowledge of the complex interrelationships in their weight matrix to enable them to make predictions. Further research will be conducted to use larger set of training examples, that covers all possible values of software characteristics. It will allow to make training networks more stable. Also semantic analysis of application reviews is of interest. This type of analysis can provide an opportunity to identify positive and negative references in order to better prioritize applications.

References:

1. Nelson E.A. Management Handbook for the Estimation of Computer Programming Costs. AD-A648750, Systems Development Corp., 1966. 141 p.
2. Boehm B.W. Software engineering economics. Prentice-Hall, 1981. 320 p.
3. Coates J. Technological Forecasting and Social Change. Elsevier Science Inc., 1999. 235 p.
4. Shepperd M.C. Schofield Estimating software project effort using analogy. IEEE Trans Software Eng., 1997. P. 736–743.
5. Heires J., Doing T. More with Less: SLIM-Estimate 5.0 Product Review. QSM Software, 2002. 46 p.
6. Boehm B.W. The COCOMO 2.0 Software Cost Estimation Model. American Programmer, 2000. 586 p.
7. Menzies T., Shepperd M. Special Issue on Repeatable Results in Software Engineering Prediction. *Empirical Software Eng.* 2012. Vol. 17. No. 1. P. 1–17.
8. Tadayon N. Neural network approach for software cost estimation. *Information Technology: Coding and Computing* : International Conference on. 2005. ITCC 2005. Vol. 2. IEEE, 2005. P. 815–818.

Єрастова В.В., Олещенко Л.М., Юрчишин В.Я. ПРОГНОЗУВАННЯ РИНКОВОЇ ЦІНИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ЗВОРОТНОГО ПОШИРЕННЯ

У дослідженні використовується нейронна мережа зворотного поширення для того, щоб вивчити, чи здатна вона адекватно фіксувати складність витрат на програмне забезпечення у ваговому просторі для отримання точних оцінок.

Вхідні дані для завдання – це набір відкритої інформації про програмне забезпечення певного типу. Для забезпечення критерію відкритості було обрано мобільні додатки для Android, повна інформація про цей тип програмного забезпечення доступна на відкритому коді Google Play Market. Метою розробленого програмного забезпечення є доступ до сервера Google в режимі реального часу й отримання актуальної інформації про поточну ситуацію на ринку мобільних додатків.

У межах зібраного набору даних нейронна мережа зворотного розповсюдження вказує на потенціал, який можна перетворити на хороші моделі оцінки цін на програмне забезпечення. Модель гнучка, оскільки може містити додаткові атрибути, такі як вхідні дані, якщо особливі обставини вимагають їхнього включення. Нейронна мережа зворотного поширення має здатність фіксувати знання про складні взаємозв'язки у своїй ваговій матриці, що дозволяє їй робити прогнози.

Для дослідження дані були розділені на три групи: навчальний набір, набір тестів і набір перевірок. Дані для кожної категорії були обрані випадковим чином, за винятком того, що дані в наборах для тестування та перевірки не мали права бути більшими чи меншими, ніж найбільші й найменші ознаки відповідно в навчальному наборі. Це було зроблено для того, щоб прогнози не робили за межами діапазону даних, на якому тренувалася мережа. Вхідними даними були рейтинг, кількість оцінок, кількість завантажень, кількість оглядів, покупки в додатку, кількість підтримуваних мов. Точність оцінки ціни програмного забезпечення була прийнята як середньоквадратична помилка (RMSE).

Ключові слова: програмне забезпечення, ринкова ціна, моделі оцінки ціни програмного забезпечення, набір даних, нейронна мережа зворотного поширення.

Карпович І.М.

Національний університет водного господарства та природокористування

Гладка О.М.

Національний університет водного господарства та природокористування

Наконечна Ю.А.

Національний університет водного господарства та природокористування

АНАЛІЗ РИЗИКІВ БЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ІТ-ПІДПРИЄМСТВА

Статтю присвячено дослідженню кібербезпеки інформаційних ресурсів підприємства в ІТ-галузі. Функціонування ІТ-підприємства пов'язане з інноваційними процесами, розробкою та виробництвом нової продукції, робіт, послуг. Інноваційна діяльність, прагнення до конкурентної переваги змушує компанію впроваджувати новітні досягнення науки, нову продукцію і технологію, нову систему управління працею та виробництвом з метою утримання передових ринкових позицій, що поєднується з численними ризиками, вплив яких на результати господарювання компанії може бути доволі значний. Розвиток інформаційної інфраструктури підприємства тягне за собою неконтрольоване збільшення кількості вразливостей інформаційних ресурсів та інформаційних загроз, основними типами джерел яких є природні, техногенні і людські.

Розглядаються методи, що дозволяють провести аналіз рівня ризиків інформаційної безпеки і оцінити оптимальні витрати підприємства на захист інформації. Аналіз ризиків передбачає процедуру виявлення чинників ризиків, оцінку їх значимості і методи зниження ризиків або зменшення пов'язаних із цим несприятливих наслідків. Актуальні задачі аналізу і оцінки ризиків інформаційної безпеки дозволяють визначити необхідний рівень захисту інформації, а також розробити рекомендації щодо вдосконалення системи захисту і мінімізації ризиків. Розв'язання проблеми забезпечення кібербезпеки інформаційних ресурсів вимагає підготовки та прийняття організаційних і технічних заходів, розробка яких базується на запропонованих підходах.

В основі методики лежить використання експертної та статистичної інформації про загрози і вразливості. Для оцінки ризиків в інформаційній системі підприємства визначається захищеність кожного цінного ресурсу за допомогою оцінки ймовірностей реалізації загроз, що діють на конкретний ресурс, а також вразливостей, через які ці загрози можуть бути реалізовані. Зазначена оцінка ймовірностей дозволяє ранжувати загрози і вразливості за ступенем ризиків. Результатом розв'язання задачі вважається розподіл фінансового ресурсу за виділеними напрямками діяльності підприємства, що мінімізує ризики відмови працездатності системи за критерієм інформаційної безпеки.

Ключові слова: ризик, інформаційна безпека, загрози, мінімізація ризиків, кібербезпека.

Постановка проблеми. В умовах прискореної динаміки розвитку інформатизації суспільства спостерігається щорічна тенденція зростання кіберзагроз інформаційним ресурсам, тому їх захист є однією з важливих проблем. Розв'язання такої задачі вимагає підготовки і прийняття організаційних і технічних заходів щодо забезпечення кібербезпеки інформаційних ресурсів підприємств. У цій роботі розглядаються деякі з методів, які дозволяють провести аналіз ризиків і оцінити оптимальні витрати на захист інформації.

Поняття ризику, як відомо, є наслідком тісної взаємодії таких понять, як актив, вразливість, загроза і збиток. Активи – це ключові компоненти

інфраструктури і важлива інформація, яка опрацьовується в інформаційній системі. Виходячи із стандарту ISO/IEC 27000 [1], який детально описує процедури системи управління інформаційною безпекою, цінні активи організації умовно можна розділити на основні і допоміжні.

До основних активів відносять бізнес-процеси – сукупність видів діяльності, в результаті якої створюється продукт або послуга, що становить інтерес для споживача. Основним активом виступає також інформація – відомості, які є предметом власності, що підлягають захисту від порушення конфіденційності, цілісності та доступності відповідно до вимог правових

документів і вимог власника інформації, незалежно від форми подання, зокрема, інформаційні ресурси (бази і файли даних, системна документація, науково-дослідна інформація та документація, контракти і угоди тощо). До допоміжних активів належить, насамперед, апаратно-програмний комплекс – сукупність технічних і програмних засобів, призначених для виконання взаємозалежних експлуатаційних функцій з обробки інформації обмеженого поширення, що включає в себе активну апаратуру обробки даних, стаціонарну апаратуру, периферійні пристрої, операційні системи та прикладне програмне забезпечення. До цієї ж категорії входять носії даних; сукупність телекомунікаційних пристроїв, що використовуються для з'єднання декількох фізично віддалених сегментів інформаційної системи; співробітники компанії, їх кваліфікація і досвід, а також нематеріальні ресурси (репутація і імідж компанії).

Вразливість – слабе місце в засобах захисту, спричинене помилками чи недосконалістю процедур, проєктів, реалізації, яке загроза може подолати. Іншими словами, вразливості – це будь-які чинники, що роблять можливою успішну реалізацію загроз. Практика свідчить, що вразливості є основною причиною виникнення атак. Загрозою вважають потенційну можливість причинити збиток якимось наперед відомим способом. Загрози інформаційній безпеці можуть бути здійснені шляхом використання вразливостей системи. Слабкості захисту можуть використовуватися однією або декількома загрозами, що є причиною небажаних інцидентів, які можуть призвести до нестабільного функціонування компонентів інформаційної системи. Наявність слабких місць в захисті інформаційної системи може бути обумовлена різними чинниками, починаючи з простої недбалості співробітників і закінчуючи навмисними діями зловмисників. Збиток складають витрати на відновлення системи після можливого порушення інформаційної безпеки.

Наявність ризику – це ймовірність того, що відбудуться певні небажані події, які можуть негативно вплинути на досягнення цілей конкретного бізнес-процесу. Зокрема, функціонування підприємства в ІТ-галузі пов'язане з інноваційними процесами, розробкою та виробництвом нової продукції, робіт, послуг. Інноваційна діяльність, прагнення до конкурентної переваги змушує компанію впроваджувати новітні досягнення науки, нову продукцію і технологію, нову систему управління працею та виробництвом з метою утримання передових ринкових позицій, що поєднується з численними ризиками, вплив яких на

результати господарювання компанії доволі значний. У зв'язку із цим своєчасна, оперативна і коректна оцінка ризиків зниження або повної втрати інформаційної безпеки сьогодні є актуальною проблемою в діяльності будь-якої організації.

Інформаційна безпека, визначаючи рівень захищеності бізнес-середовища, стає важливим аспектом загальної економічної безпеки в діяльності сучасної компанії. Захист інформації – особливий вид діяльності щодо запобігання витоку інформації, несанкціонованих змін її потоків та інших чинників, які негативно впливають на стабільну роботу підприємства і пов'язаних з ним економічних партнерів (клієнтів, постачальників обладнання, інвесторів та ін.).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток інформаційної інфраструктури підприємства тягне за собою неконтрольоване збільшення кількості інформаційних загроз і вразливостей інформаційних ресурсів. Сучасні дослідження відзначають такі типи джерел загроз, що впливають на інформаційну безпеку: природні; техногенні; людські навмисні і людські ненавмисні. Для підприємств інноваційного типу, до яких належать компанії ІТ-галузі, характерні наступні види ризиків діяльності: організаційні (низька кваліфікація розробників проєкту, затримка виконання етапів його реалізації); науково-технічні (зношеність технологічного обладнання, відсутність резервів потужностей або типових проєктних рішень); фінансово-економічні (маркетинговий, ризик фінансування проєкту, інфляційний, процентний, податковий і операційний ризики).

У сучасних умовах перед кожним підприємством, яке дбає про безпеку своїх інформаційних ресурсів, постає питання про організацію системи захисту інформації, що дозволила б гарантувати безпеку функціонування телекомунікаційного обладнання і циркулюючої інформації в інформаційній системі підприємства. Ефективність захисту інформації залежить від підходу до її організації та правильного вибору методів розрахунку ризиків інформаційної безпеки. Існує чимало методик оцінки та опрацювання ризиків, які можуть застосовуватися до будь-якої інформаційної системи, незалежно від рівня конфіденційності наявної інформації. Однак, зазвичай, для якісної побудови системи захисту інформації з використанням таких методик потрібен значний обсяг інформації про потенційні атаки, а також про спроби їх реалізації, який підлягає програмному аналізу з метою виявлення найбільш актуальних загроз інформаційній безпеці.

Аналіз ризиків передбачає процедуру виявлення чинників ризиків, оцінку їх значимості і методи зниження ризиків або зменшення пов'язаних із цим несприятливих наслідків. Актуальні задачі аналізу і оцінки ризиків інформаційної безпеки дозволяють визначити необхідний рівень захисту інформації, а також розробити рекомендації щодо удосконалення системи захисту і мінімізації ризиків.

Аналіз ризиків поділяють на два види: якісний і кількісний. Якісний аналіз дозволяє визначити (ідентифікувати) чинники, області та види ризиків. Кількісний аналіз ризиків дає можливість чисельно визначити розміри окремих ризиків і загальний розмір ризику в цілому. Підсумкові результати якісного аналізу ризиків, у свою чергу, можуть стати вхідною інформацією для проведення кількісного аналізу. Однак для здійснення кількісного аналізу ризиків потрібна надійна вхідна інформація (збір статистичної інформації ускладнений жорсткою конкуренцією в бізнесовому середовищі) і чітко визначена шкала оцінки параметрів. Концептуальні засади якісного та кількісного аналізу ризику, системи показників його оцінювання, основних підходів до моделювання, управління та методів зниження ступеня ризику детально проаналізовані в монографії [2].

Формулювання цілей статті. Процес розрахунку ризиків інформаційної безпеки актуальний на всіх етапах роботи системи захисту інформації та є цікавим для власника інформації, насамперед, з точки зору втрат в економічній сфері. Вибір методу оцінки ризиків інформаційної безпеки в більшості випадків ґрунтується на таких чинниках: часові, фінансові, інформаційні ресурси; ступінь невизначеності оцінки ризиків інформаційної безпеки; наявність або відсутність можливості отримання кількісних оцінок вхідних даних, де вхідними даними можуть бути висновки, рішення, переліки, а також рекомендації, залежно від методу та етапу оцінки ризиків інформаційної безпеки. Разом із тим у процесі оцінки ризиків повинні бути встановлені критерії прийнятності ризику та критерії для оцінки ризиків інформаційної безпеки, а також повинні бути дані гарантії того, що аналіз ризиків дасть надійні і несуперечливі масиви актуальних для даної системи ризиків. Необхідно провести ідентифікацію ризиків інформаційної безпеки, спрямованих на такі властивості інформаційних ресурсів, як конфіденційність, цілісність і доступність. Потрібно виконати ідентифікацію власника ризику, де під власником розуміється фізична, юридична особа або підрозділ, що від-

повідає за управління ризиком і має необхідні для цього повноваження, в даному випадку, мова може йти про керівників, фахівців з інформаційної захисту, відділів з інформаційної безпеки тощо.

Аналіз і оцінка ризиків в задачі управління інформаційною безпекою на сьогодні – одне із складних і актуальних завдань. Складність полягає в тому, що відсутні загальноприйняті підходи і методики для оцінки ризиків. Чинники ризику (загроза, вразливість, збиток) аналізуються за допомогою евристичних методів, які містять суб'єктивну складову частину.

У процесі аналізу ризиків інформаційної безпеки здійснюється оцінка потенційних втрат у випадку реалізації ризику, оцінюється ймовірність реалізації ризиків і визначається величина ризиків. У ході оцінки ризиків інформаційної безпеки має бути виконано порівняння ризиків із встановленими критеріями, а також визначено вектор пріоритетних напрямків з їх опрацювання.

Виклад основного матеріалу. У рамках кількісного аналізу ризик R розглядається як комплексна величина, що залежить від таких чинників, як загрози, вразливості і збитки [3]:

$$R = \lambda P_T P_V(z) \quad (1)$$

де λ – розмір збитків, викликаних порушенням безпеки інформаційного активу; P_T – ймовірність виникнення загрози; $P_V(z)$ – функція, яка описує ймовірність реалізації загрози для інформаційного активу в залежності від витрат z на забезпечення захисних заходів.

Таким чином, розмір збитків залежить як від інформації, що підлягає захисту, так і від заданої ймовірності виникнення загрози. Значення ймовірності реалізації загрози може бути суттєво знижено за рахунок здійснення інвестицій в інформаційну безпеку активу.

Завдання управління ризиками компанії полягає у зменшенні впливу небажаних чинників на життєдіяльність підприємства для отримання результатів роботи максимально наближених до бажаних, які відповідають поставленим цілям. Управління ризиками – сукупність методів аналізу і нейтралізації чинників ризику, об'єднаних у систему планування, моніторингу та коригуючих впливів [4; 5]. Цей комплекс заходів містить ідентифікацію, аналіз ризиків та прийняття рішень, спрямованих на зниження ймовірності і ступеня їх впливу на результати діяльності підприємства.

Як показали дослідження з інформаційної безпеки, всі ризики інформаційної безпеки повинні узгоджуватися з ризиками підприємства в цілому. Так виникла задача інтеграції системи управління

інформаційними ризиками із системою управління всією компанією. Кількісні методи розрахунку дають можливість фінансово обґрунтувати інвестиції в інформаційну безпеку, а також вивчити економічну ефективність цих витрат. Однак залишається недослідженим питання оптимальності обсягів інвестицій в інформаційну безпеку та визначення тих ділянок системи, підвищення витрат на захист яких найбільш суттєво знизить загрозу ризику для системи в цілому.

Аналіз наявних підходів до проблеми управління ризиками складних систем показує, що ця проблемна область ще недостатньо формалізована і вивчена. Для зменшення ступеня невизначеності у виборі можливих варіантів розв'язку задач управління ризиками використовується різний математичний апарат: методи суб'єктивної ймовірності, нечіткі множини, нейронні мережі тощо.

З огляду на істотну різноманітність загроз, розробка методик і алгоритмів оцінки ризику зниження або повної втрати інформаційної безпеки – досить трудомістке і важливе завдання для будь-якої інформаційної системи. Перш за все, необхідна побудова гнучких комплексних моделей інформаційної системи із врахуванням програмних, апаратних ресурсів, внутрішніх та зовнішніх загроз і вразливостей, здатних налаштуватися відповідно до особливостей конкретного підприємства. Крім того, з урахуванням значної кількості факторів ризику математична модель оцінки інформаційної безпеки повинна допускати розробку ефективних числових алгоритмів обробки інформації.

Для оцінки ризиків інформаційної безпеки важливо виділити і проаналізувати основні чинники, через які реалізуються загрози, що діють на інформаційну систему в сенсі відмов або зниження її працездатності. Серед значної кількості методів оцінки ризиків інформаційної безпеки можна виділити метод оцінки ризиків, який ґрунтується на побудові моделі загроз і вразливостей.

В основі цієї методики лежить використання експертної та статистичної інформації про загрози і вразливості. Для оцінки ризиків в інформаційній системі підприємства визначається захищеність кожного цінного ресурсу за допомогою оцінки ймовірностей реалізації загроз, що діють на конкретний ресурс організації (наприклад, ймовірність збоїв у роботі системи інформаційної безпеки в зв'язку з низькою кваліфікацією співробітників, відсутністю або старінням програмного чи апаратного забезпечення тощо), а також вразливостей, через які дані загрози можуть бути реалізовані. Зазначена оцінка ймовірностей дозво-

ляє ранжувати загрози і вразливості за ступенем ризиків.

Оскільки ризики інформаційної безпеки тісно пов'язані із застосуванням сучасних інформаційних технологій, що визначають ефективність діяльності ІТ-підприємства в його інноваційному аспекті, то їх можна віднести до різновиду інноваційних ризиків. Визначаючи інноваційний ризик як ймовірність втрат внаслідок помилково поставленої або не досягнутої стратегічної мети [6], в характеристиці ризиків відмови працездатності системи доцільно використовувати такий показник, як рівень витрат (в матеріальному або вартісному вираженні) на відновлення працездатності системи.

Виходячи з експертних даних про ризики, вразливості і витрати за кожним з ресурсів, можна побудувати модель, актуальних для інформаційної системи підприємства, і провести аналіз функціонування інформаційної системи з точки зору мінімізації ризиків відмови або зниження працездатності системи і, отже, максимізації її ефективності за критерієм інформаційної безпеки.

На першому етапі розв'язування такої задачі виділяються найбільш важливі для підприємства напрямки діяльності, які визначають (з точки зору його керівництва) рівень інформаційної безпеки. На другому етапі для виділених напрямків діяльності на основі експертної оцінки ймовірності реалізації загроз інформаційної безпеки розраховується значимість кожної загрози, а також оцінюється рівень витрат у вартісному вираженні на відновлення працездатності системи. Далі розраховується сумарний ризик відмови працездатності системи як сума ризиків за кожним з напрямків.

Результатом розв'язання описаної задачі будемо вважати розподіл фінансового ресурсу за виділеними напрямками діяльності підприємства, що мінімізує ризики відмови працездатності системи за критерієм інформаційної безпеки.

За значної кількості загроз інформаційній безпеці для числової (кількісної) оцінки ризиків можуть бути використані методи оптимізації. Розглянемо математичну модель мінімізації ризиків інформаційної безпеки.

Нехай у технічній або соціально-економічній системі відомі залежності $r_i = f(x_i)$ ризиків r_i відмови працездатності системи від витрат x_i на їх уникнення (виключення, зменшення) в i -му ($i = 1, \dots, n$) напрямку забезпечення інформаційної безпеки (відмова апаратного, програмного забезпечення, відмова працездатності системи через недостатню кваліфікацію програмістів, менеджерів тощо). Для

мінімізації ризиків інформаційної безпеки будемо використовувати такий показник, як рівень витрат (в матеріальному або вартісному вираженні) на відновлення працездатності системи у разі її відмови за одним або декількома напрямками.

Визначимо такі величини: $R = \sum_{i=1}^n r_i$ – сумарний ризик відмови системи; Z – максимальна сума витрат на зменшення (усунення) виділених ризиків. Нехай функції витрат є лінійними функціями від x_i , тобто $f(x_i) = a_i - b_i x_i$ ($i = 1, \dots, n$). Коефіцієнти a_i можна трактувати як витрати, які може понести система за відсутності витрат на попередження ризиків або, інакше, як максимальні витрати на організацію безкризової роботи системи на i -му напрямку гарантування безпеки, а коефіцієнти b_i – як вагові коефіцієнти, що відображають відносну значимість i -го напрямку гарантування безпеки [7].

Розглядаючи $R \rightarrow \min$ як функцію мети, можна сформулювати наступну задачу математичного програмування:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n b_i x_i \rightarrow \max; \\ \sum_{i=1}^n x_i \leq Z; \\ x_i \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

Модель (2) являє собою багатопараметричну задачу лінійного програмування. З огляду на обмеженість всіх змінних задачі і нестрогість обмежень можна стверджувати, що допустима множина є непорожньою і дана задача може бути розв'язана за допомогою симплекс-методу (див., напр., [8]) чи за більш оптимальним сучасним алгоритмом [9], які дозволяють з використанням сучасної комп'ютерної техніки розглядати практично необмежену кількість n загроз інформаційної безпеки.

Практичне застосування моделі (2) можна розділити на два етапи. Перший – оцінка тиску кожної із суттєвих груп негативного впливу на позиції підприємства; другий – вибір відповідної стратегії захисних дій.

У реальних умовах кількість груп ризиків, що створюють реальну загрозу інформаційній безпеці компанії, порівняно невелика. Зокрема, за висновками теоретичних досліджень [10], ризик загроз інформаційній безпеці підприємства зумовлений дією п'яти основних конкурентних сил: ризик появи товарів-субститутів, внутрішньогалузеві загрози конкуренції, виникнення нових конкурентів, загроза (ризик) втрати клієнтів, загроза (ризик) нестабільності постачальника. Основними показниками, що визначають дію цих факторів, є: умови попиту, виробничі умови, характер стратегії компанії, наявність супутніх або пов'язаних галузей. Ця теорія дає можливість оцінити конкурентний стан на ринку і на цій основі розробити такий варіант довгострокової стратегії підприємства, який в найбільшій мірі забезпечить його захист і одночасно сприятиме створенню додаткових конкурентних переваг. Проведений у роботі [11] аналіз дозволив виділити групи ризиків, що мають досить високу ймовірність виникнення, та оцінити рівень основних ризиків компанії.

Висновки. Підприємства малого і середнього бізнесу сьогодні є частиною тієї сфери економіки, яка найбільш сприйнятлива до технологічних, інформаційних, бізнес-інновацій. Тим часом багато підприємств малого і середнього бізнесу, перебуваючи в інформаційному середовищі, ігнорують різного роду загрози для їх інформаційної системи, тим самим піддаючи себе ризику фінансових втрат. Зменшення (мінімізація) ризиків, що притаманні діяльності компанії, сприяє посиленню її конкурентної здатності і життєздатності загалом [12].

Список літератури:

1. ISO/IEC 27000:2009. Information technology – Security techniques – Information security management systems – Overview and vocabulary (Інформаційні технології. Методи безпеки. Системи управління інформаційною безпекою. Огляд і словник).
2. Вітлінський ВВ., Великоіваненко Г.І. Ризикологія в економіці та підприємництві : монографія. Київ : КНЕУ, 2004. 480 с.
3. Королев В.Ю., Бенинг В.Е., Шоргин С.Я. Математические основы теории риска. Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. 620 с.
4. Листер Т., Демарко Т. Вальсируя с медведями. Управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения. Москва : Компания р.м. Office, 2005. 196 с.
5. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. (PMBOK Guide) – Fifth edition. Project Management Institute, 2013. URL : http://dinus.ac.id/repository/docs/ajar/PMBOKGuide_5th_Ed.pdf.
6. Ильенкова Н.Д. Проблемы анализа инновационного риска. *Инвестиции и инновации*. 2011. № 5. С. 90–92.

7. Медведев А.В. Математическая модель оценки инвестиционной привлекательности региона. *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 8-2. С. 357–361.
8. Наконечний С.І., Савіна С.С. Математичне програмування : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2003. 452 с.
9. Tkachuk V.M., Kozlenko M.I., Kuz M.V., Lazarovych I.M., Dutchak M.C. Function Optimization Based on Higher-Order Quantum Genetic Algorithm. 2019. Т. 41, № 3. С. 43–57. URL : http://nbuv.gov.ua/UJRN/elmo_2019_41_3_6.
10. Портер М. Конкурентное преимущество. Как достичь высокого результата и обеспечить его устойчивость. Москва : Альпина Паблишер, 2008. 720 с.
11. Нечаєва І.А., Дьордій Є.А. Управління ризиками підприємства в секторі ІТ-послуг як інструмент підвищення його конкурентоспроможності. *Ефективна економіка*. 2018. № 12. URL : <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=6797>.
12. Білоус А.Я., Репін М. В. Мінімізація ризиків на підприємстві шляхом впровадження системи екологічного менеджменту. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 31(70). № 1. 2020. С. 51–55.

Karpovych I.M., Hladka O.M., Nakonechna Yu.A. ANALYSIS OF SECURITY RISKS OF THE INFORMATION SYSTEM AT AN IT-ENTERPRISE

The paper is devoted to the study of cybersecurity of information resources at an enterprise in the IT industry. The functioning of the IT enterprise is related to innovative processes, development and production of new products, works, services. Innovative activity, the pursuit of competitive advantage, compels the company to introduce the latest achievements of science, new products and technology, a new system of labor and production management in order to maintain leading market positions, which is combined with numerous risks that have a significant impact on the company's business results. The development of enterprise information infrastructure entails an uncontrolled increase in the number of information threats and vulnerabilities of information resources. Current research has identified the following types of sources of threats that affect information security: natural, technogenic and human.

We consider some of the methods that allow you to analyze information security risks and evaluate the optimal costs for an enterprise to protect information. Risk analysis involves a procedure for identifying risk factors, assessing their significance and methods for reducing of risk or reducing the associated adverse effects. The current tasks of analysis and assessment of information security risks make it possible to determine the required level of information security, as well as to develop recommendations for improving the system of protection and minimization of risks. Addressing the cybersecurity problem of information resources requires the preparation and adoption of organizational and technical measures, the development of which is based on the approaches proposed.

This methodology is based on the use of expert and statistical information on threats and vulnerabilities. To evaluate risks in an organization's information system, security of each valuable resource is determined by assessing the probability of implementation of threats affecting a specific resource of the enterprise, and the vulnerabilities through which these threats can be addressed. This probability assessment allows you to rank threats and vulnerabilities by degree of risk. The result of the solution of the described problem will be the allocation of financial resources in the selected areas of activity of the organization, which minimizes the risks of failure of the system by the criterion of information security.

Key words: risk, informational security, threats, minimizing risks, cybersecurity.

УДК 681.51

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/13>**Кірсанов В.В.**

Національна металургійна академія України

Рибальченко М.О.

Національна металургійна академія України

Шибакінський В.І.

Національна металургійна академія України

Михайловський М.В.

Національна металургійна академія України

ОПТИМІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНОЇ АСР ДЕЯКИХ ПАРАМЕТРІВ БАРАБАННИХ КОТЛІВ

Одне з основних завдань управління технологічним процесом на тепловій електростанції (ТЕС) складається в підтримці безперервної відповідності між кількостями виробленої і споживаної енергії. Вирішення цього завдання може здійснюватись за допомогою автономних автоматичних систем регулювання (АСР) параметрів парового котла, турбіни і електричного генератора. Ці системи виконують безперервне і досить якісне регулювання окремих технологічних процесів, але не призначені для рішення завдань оптимізації по енергоблоку в цілому.

У статті розглянуто наявні автоматичні системи регулювання (АСР) рівня та розрідження барабанних котлів, таких як ДКВР-10-13. Встановлено, що для попередження частого виникнення значного матеріального небалансу між паливом та повітрям, що нагнітається в топку, і виходячими з топки димовими газами та витратою поступаючої живильної води і витратою пари, що надходить до споживача, підвищення швидкодії та надійності регулювання основного параметр, пропонується вводити в регулятор додаткову дію в залежності від зміни основного збурення (компенсатор збурення). Згідно із цією рекомендацією розроблена комбінована АСР, в якій одночасно використовується принцип регулювання по відхиленню та збуренню.

Для підтвердження правильності вибору закону регулювання і параметрів регулятора та компенсатора, на прикладі АСР рівня виконано моделювання в пакеті прикладних програм MATLAB/Simulink. Використання каналу компенсації основного збурення поліпшує якість підтримки технологічного параметру в заданих межах при виникненні значних збурюючих дій. Таким чином, отримані результати моделювання підтверджують ефективність комбінованої системи, розробленої в роботі.

Ключові слова: автоматична система регулювання, барабанний котел, рівень, розрідження, збурення, якість, моделювання

Постановка проблеми. Одне з основних завдань управління технологічним процесом на теплових електростанціях (ТЕС) полягає в підтримці безперервної відповідності між кількостями виробленої і споживаної енергії. Рішення цього завдання може здійснюватись за допомогою автономних АСР параметрів парового котла.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними регульованими величинами котла є витрата $F_{\text{пн}}$, тиск $P_{\text{пн}}$ і температура $T_{\text{пн}}$ перегрітої пари. Крім того, необхідно підтримувати в межах припустимих відхилень значення деяких інших параметрів, серед найважливіших з яких є рівень води у барабані котла L , розрідження у верхній

частині топки $P_{\text{г}}$, які забезпечують умови нормального теплового режиму та є непрямими показниками матеріального балансу [1].

Наявні АСР рівня та розрідження виконані, як правило, за принципом комбінованого регулювання, реалізовані на застарілій елементній базі і мають низьку надійність. Крім того, вони не дозволяють застосовувати більш удосконалені алгоритми функціонування з метою компенсації збурюючих впливів залежно від теплової потужності агрегату.

При високих вимогах до якості стабілізації керованих величин практично неможливо досягти повної ліквідації відхилення їх від заданого

значення в одноконтурній системі. Це пояснюється тим, що спроба збільшення коефіцієнта підсилення регулятора з метою підвищення точності системи призводить до погіршення та майже втрати системою стійкості.

Постановка завдання. Тому для попередження частого виникнення значного матеріального небалансу між паливом та повітрям, що нагнітається в топку, і виходячими з топки димовими газами та витратою поступаючої живильної води і витратою пари, що надходить до споживача, підвищення швидкодії та надійності регулювання основного параметра пропонується вводити в регулятор додаткову дію в залежності від зміни основного збурення (компенсатор збурення) [2].

Виклад основного матеріалу дослідження. Спрощені схеми систем регулювання рівня живильної води та розрідження в топці котла наведені на рисунках 1 та 2 відповідно.

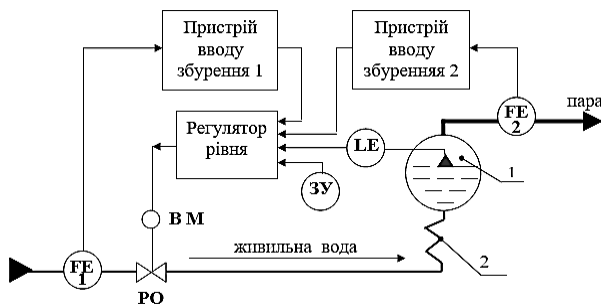


Рис. 1. Спрощена схема комбінованої АСР живлення водою парового котла: 1 – барабан; 2 – економайзер

На рис.1 регулятор рівня переміщає регулюючий орган РО при відхиленнях рівня L від заданого значення. Крім того, він переміщує регулюючий клапан живильної води під час появи сигналу небалансу між витратами живильної води і пари, підтримуючи незмінність їх співвідношення.

На рис. 2 включення регулятора повітря 3 призводить до тимчасового порушення матеріального балансу між повітрям, що поступає в топку котла, і димовими газами, що йдуть з неї.

Для попередження виникнення такого небалансу і збільшення швидкодії регулятора розрідження в нього вводиться додаткова зникаюча дія від регулятора повітря 3 або датчика витрати повітря через пристрій динамічного зв'язку 2 (компенсатор збурення).

У випадку відхилення поточного значення розрідження в топці котла від заданого регулятор впливає через блок логічного управління БЛУ на управні частотні перетворювачі УЧП1 і УЧП2 привода робочого колеса димососів «А» і «Б», що змі-

нює кількість димових газів, що йдуть, доти, поки розрідження не досягне заданого значення. БЛУ впливає на УЧП1 або УЧП2, або разом на них залежно від частоти обертання приводів крильчатки димососів.

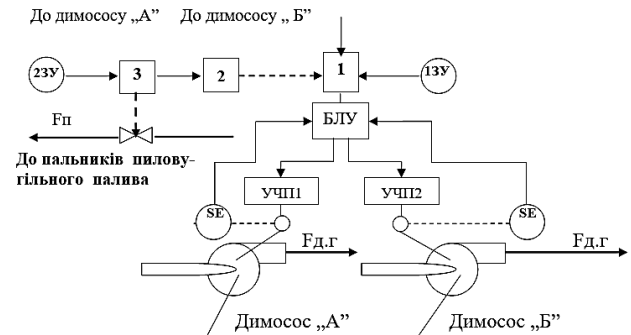


Рис. 2. Спрощена схема комбінованої АСР розрідження в топці: 1, 3 – відповідно регулятори розрідження і витрати загального повітря на топку; 13У, 23У – датчики відповідно розрідження і витрати загального повітря; 2 – компенсатор збурення; БЛУ – блок логічного управління; УЧП – управний частотний перетворювач привода крильчатки димососа; Fд.г., Fв – витрати димових газів і повітря

Найбільш вагомим збурюючим впливом є витрата повітря, зміна якої відбувається при зміні теплового навантаження котла, особливо в режимі регулювання. Для виключення впливу цього збурення на розрідження використовуємо компенсатор, на вхід якого надходять сумарні витрати повітря на пальники пилоугольного палива. Вихідний сигнал компенсатора в управляючому обчислювальному комплексі УОК формує додаткову управляючу дію регулятора розрідження.

Регулятор розрідження складається з одного контуру регулювання і його управляючий вплив подається на той привід робочого колеса димососа, частота обертання якого менше. Такий підхід до управління розрідженням в топці дозволяє додатково економити електроенергію, яка використовується на створення у димовідводячому тракті тяги. У тому випадку, коли обидва приводи крильчатки димососів «А» і «Б» мають однакову швидкість, управляючий вплив з виходу регулятора розрідження подається на обидва приводи крильчатки одночасно, але з коефіцієнтом передачі, який дорівнює 0,5.

У наведених комбінованих системах є принципова можливість забезпечення інваріантності регульованої величини до тих збурень, які вимірюються, і додаткові впливи від яких вводяться в систему.

Для реалізації такої можливості потрібно правильно розрахувати як параметри основного регулятора, так і компенсатора збурень. Тому питання розрахунку передатних функцій компенсаторів потребують подальшого розгляду.

Параметри регулятора рівня розраховуємо, виходячи з того, що об'єкт регулювання є інтегруючою ланкою. Тому з урахуванням інерційності виконавчого механізму і регулюючого органа передатна функція каналу «небаланс витрати води і пари – рівень у барабані» має вигляд:

$$W_{oy}(p) = \frac{L(p)}{U(p)} = \frac{1}{T_p \cdot (T_{\mu p} + 1)}, \quad (1)$$

де $W_{oy}(p)$ – передатна функція об'єкта по управляючому впливу;

$L(p)$, $U(p)$ – зображення відхилення рівня від завдання і зображення управляючого впливу (% ходу ВМ) відповідно;

T , T_{μ} – постійні часу об'єкта.

Маючи передатну функцію об'єкта (1) для визначення структури і параметрів автоматичного регулятора рівня, доцільно використовувати метод аналітичного конструювання регуляторів (АКОР) [2].

Для цього на підставі передатної функції (1) записуємо рівняння об'єкта у формі «вхід-вихід»:

$$T \cdot T_{\mu} \frac{d^2 L}{dt^2} + T \frac{dL}{dt} = U. \quad (2)$$

Для застосування методу АКОР перейдемо від рівняння (2) до рівнянь стану об'єкта. Для цього введемо в розгляд двомірний вектор стану x з координатами $L=x_1$; $L=x_1=x_2$ і розв'язуємо рівняння (2) щодо старшої похідної:

$$\frac{d^2 L}{dt^2} = -a_1 \frac{dL}{dt} + b_0 \cdot U, \quad (3)$$

$$\text{де } a_1 = \frac{T}{T \cdot T_{\mu}} = \frac{1}{T_{\mu}}; \quad b_0 = \frac{1}{T \cdot T_{\mu}}.$$

Тоді $L=x_1$; $L=x_1=x_2$ і рівняння стану об'єкта приймає вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= -a_1 x_2 + b_0 U; \\ L &= x_1; \quad x_2(0) = \dot{L}(0) \quad x_1(0) = L(0). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Потрібно синтезувати оптимальне управління U^* , яке об'єкт управління (4) переводить із початкового положення $x_1(0)$, $x_2(0)$ у кінцеве положення $x_1(\infty) = x_2(\infty) = 0$, так щоб квадратичний інтегральний критерій якості

$$J = \int_0^{\infty} (q_1 x_1^2 + q_2 x_2^2 + r \cdot U^2) dt, \quad (5)$$

де: $q_1 \geq 0$; $q_2 \geq 0$; $r > 0$ – вагові коефіцієнти) прийняв мінімальне значення.

У загальному випадку оптимальне управління U^* об'єктом (4), що доставляє мінімум критерію (5), має вигляд [3]:

$$U^* = -K_{1p} x_1 - K_{2p} x_2, \quad (6)$$

де K_{1p} , K_{2p} – коефіцієнти підсилення регулятора, що залежать від параметрів об'єкта a_1 , b_0 і вагових коефіцієнтів q_1 , q_2 , r .

Структурна схема оптимальної системи, яка побудована на підставі системи рівнянь стану об'єкта управління (4) і регулятора (6) наведена на рис. 3.

Структурну схему (рис. 3) перетворимо в одноконтурну АСР рівня, тому що реально ми вимірюємо тільки рівень води в барабані котла. Ця схема наведена на рис. 4.

Як бачимо з рисунку 4 регулятор рівня води в барабані котла є ПД-регулятором:

$$W_{AP}(p) = K_p (T_d \cdot p + 1), \quad (7)$$

де $K_p = K_{1p}$, $T_d = \frac{K_{2p}}{K_{1p}}$ – відповідно коефіцієнт підсилення і постійна часу диференціювання регулятора.

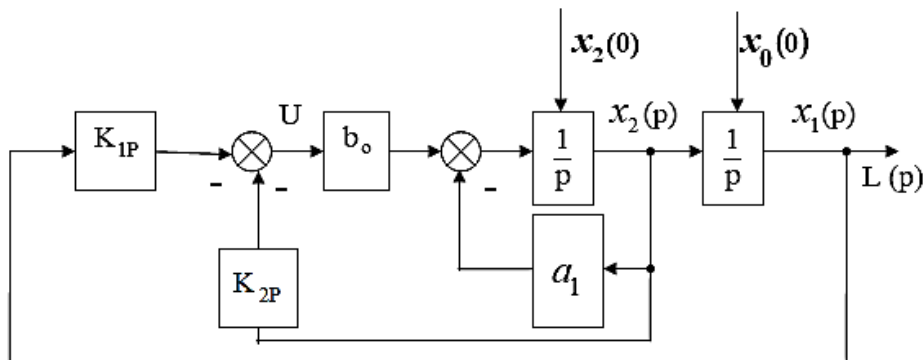


Рис. 3. Структурна схема оптимальної АСР рівня

Якщо вибрати постійну часу диференціювання регулятора $T_D = T_\mu$, а коефіцієнт підсилення регулятора з умови забезпечення необхідної статичної точності системи по збурюванню, то перехідні процеси в АСР рівня будуть аперіодичними, такі ж, як в аперіодичній ланці 1-го порядку. Для визначення передатних функцій пристроїв введення збурень на рис. 5 наведена структурна схема комбінованої АСР рівня, яка побудована згідно з рисунком 1.

На рисунку $W_{zi}(p)$ – передатна функція об’єкта регулювання по i -ому збуренню $F_i(p)$; $W_{ki}(p)$ – передатна функція компенсатора i -ого збурення.

На підставі структурної схеми (рис. 5) можна записати вираз для зображення рівня $L(p)$:

$$L(p) = \frac{W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)}{1 + W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)} \cdot L_3(p) + \frac{W_{zi}(p) - W_{ki}(p) \cdot W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)}{1 + W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)} \cdot F_i(p) \quad (8)$$

Ця формула може бути переписана в такому вигляді:

$$L(p) = W_{3.c.}(p) \cdot [L_3(p) + W_{zi}(p) \cdot F_i(p)]. \quad (9)$$

При такому запису структурна схема системи по рис. 5 може бути замінена структурною схемою, наведеною на рис. 6, де частина системи з передатною функцією замкненої системи по управляючому впливу

$$W_{3.c.}(p) = \frac{W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)}{1 + W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)} \quad (10)$$

визначає стійкість, а частина системи з передатною функцією

$$W_{3i}(p) = \frac{W_{zi}(p)}{W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)} - W_{ki}(p) \quad (11)$$

є фільтром, через який проходить i -е збурення, перш ніж увійти на вхід регулятора у вигляді управляючого впливу.

Як бачимо з рівняння (10), передатна функція обладнання введення впливів по збуренням не входить у вираз для передатної функції замкненої системи, тому збільшення точності роботи системи можна робити, не впливаючи на її стійкість. Зокрема, якщо передатну функцію обладнання введення, довільного i -ого збурення вибрати з умови

$$W_{ki}(p) = \frac{W_{zi}(p)}{W_{AP}(p) \cdot W_{OY}(p)}, \quad (12)$$

тоді, з формул (8) і (11) випливає, що відхилення регульованої величини при дії цього збурення буде зовсім відсутнє, тому що фільтр у цьому випадку зовсім не пропускає впливів.

Рівняння (12) є умовою абсолютної інваріантності регульованої величини щодо обраного i -ого, збурюючого впливу.

Згідно з попередніми міркуваннями структурна схема АСР розрідження у топці котла, в якій основним збурюючим впливом є витрата повітря,

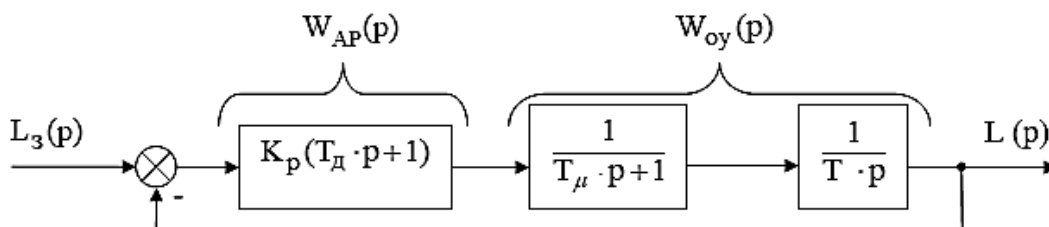


Рис. 4. Структурна схема оптимальної одноконтурної АСР рівня

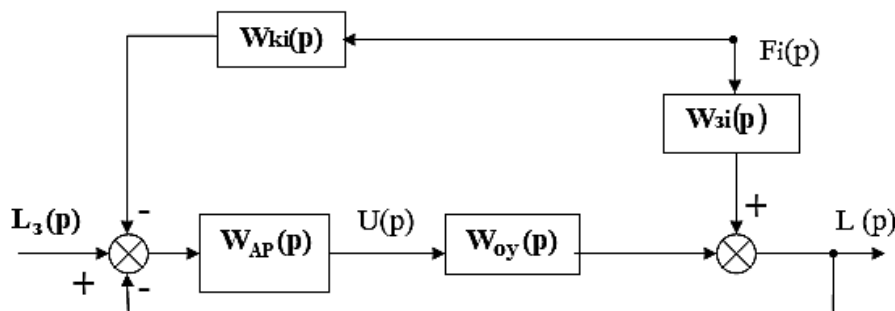


Рис. 5. Структурна схема АСР рівня з подачею додаткового впливу від i -ого збурення на вхід регулятора ($i = 1,2$)

наведена на рисунку 7, тобто вона аналогічна схемі (рис. 5).

Тому усі положення та вирази відносно АСР рівня стосуються і АСР розрідження.

Якщо регулятор розрідження є ПІ -регулятором з передатною функцією

$$W_p(p) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_{up}} \right) = \frac{K_p(T_{up}p + 1)}{T_{up}}$$

а передатні функції об'єкта з управління і збурюючих дій однакові, тобто $W_{об}(p) = W_{оу}(p)$, то згідно з рівнянням (12) передатна функція компенсатора $W_k(p)$ дорівнює:

$$W_k(p) = \frac{1}{W_p(p)} = \frac{T_{up}}{K_p(T_{up}p + 1)} \quad (13)$$

Таким чином, для виключення впливу на розрідження коливання витрати повітря, що поступає в топку котла, компенсатор має бути реальною диференцуючою ланкою.

Для підтвердження правильності вибору закону регулювання і параметрів регулятора і компенсатора на прикладі АСР рівня виконано моделювання в пакеті прикладних програм MATLAB.

Під час дослідження цієї системи прийняті наступні параметри об'єкта: $T_{\mu} = 1,5$ с; $T = 10$ с. [4]. Параметри регулятора обрані з умови компенсації T_{∞} і його передатна функція дорівнює $W_{AP}(p) = K_p \cdot (T_{dp}p + 1)$, тобто маємо ПД – регулятор: $T_d = 1,5$ с; $K_p = 50$.

Під час моделювання завдання змінювали стрибкоподібно на $L = 20$ мм, а після закінчення перехідних процесів регулювання, через 2 с., стрибкоподібно змінювали основне збурення (витрата пари) на 20%.

Результати моделювання одноконтурної АСР рівня води наведені на рисунку 8.

Перехідні процеси мають аперіодичний характер. Тривалість перехідного процесу за завданням не перевищує 1 с, а по збуренню 3 с. Статична помилка становить 0,4 мм, або у відсотках $\Delta L = \frac{0,4}{20} \cdot 100\% = 2\%$. Для її зменшення слід збільшувати коефіцієнт підсилення регулятора K_p .

Як було показано вище, найбільш ефективним способом усунення впливу збурень у вигляді змін витрат пари і живильної води є введення цих впливів через компенсатори на вхід регулятора.

Схема моделювання комбінованої АСР рівня наведена на рис. 9.

Як видно з рисунку 9, рівень води в барабані котла не залежить від витрати пари. Це підтверджує ефективність комбінованої системи.

Висновки. Отримані умови інваріантності рівня води в барабані щодо витрат живильної води і пари на виході котла як основних збурюючих впливів. Подібні умови стосуються і регулювання розрідження в топці котла. Дослідження комбінованої АСР рівня показало можливість повністю усунути вплив змін витрат води і витрат пари на рівень води в барабані, що підтверджує високу ефективність роботи системи.

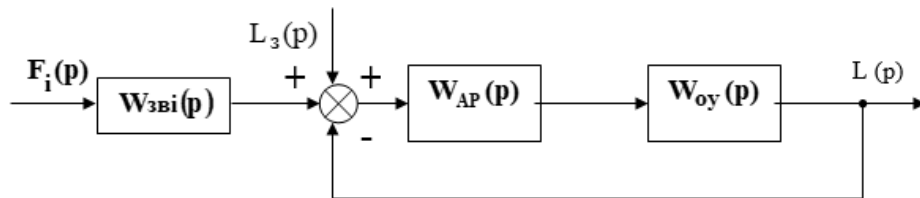


Рис. 6. Наведена до одного входу структурна схема комбінованої АСР рівня

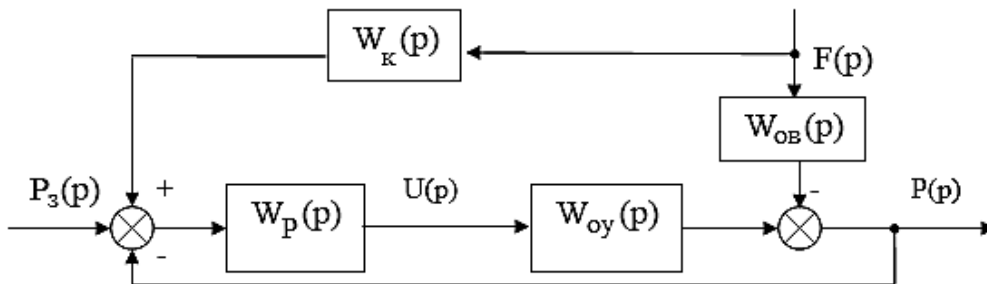
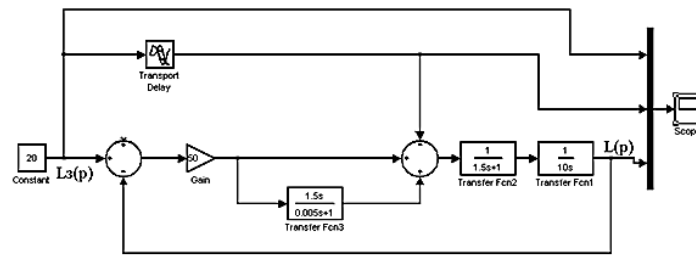
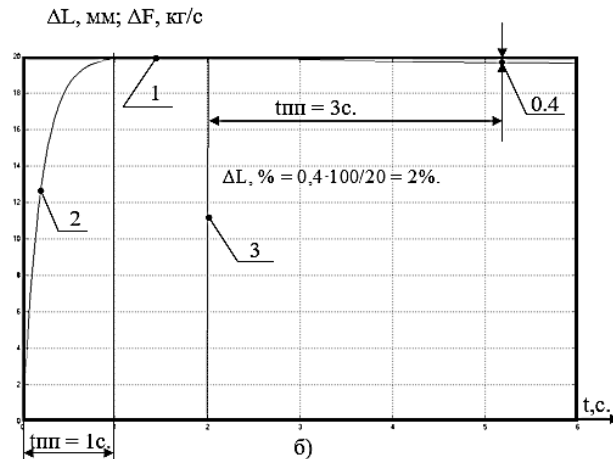


Рис. 7. Структурна схема комбінованої АСР розрідження: $W_{оу}(p)$, $W_{об}(p)$ – передатні функції об'єкту по управляючому і збурюючому впливам; $W_p(p)$ – передатна функція регулятора; $W_k(p)$ передатна функція компенсатора; P , P_3 – поточне значення розрідження і його завдання; F – витрата повітря

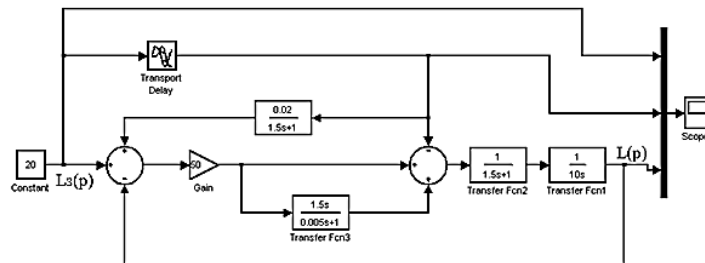


a)

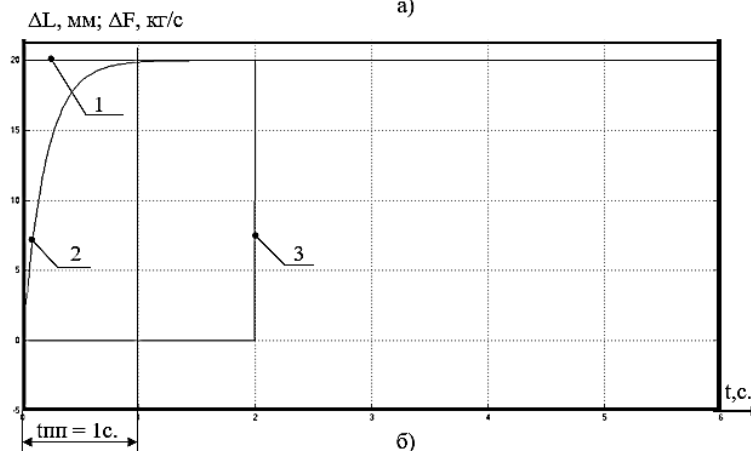


б)

Рис. 8. Схема моделі одноконтурної АСР рівня води (а) та перехідні процеси регулювання в цій системі (б): 1, 3 – стрибкоподібна зміна завдання та збурення; 2 – крива зміни рівня води



a)



б)

Рис. 9. Схема моделі АСР рівня води при наявності контуру компенсації (а) та перехідні процеси в цій системі (б): 1, 3 – стрибкоподібна зміна завдання та збурення; 2 – крива зміни рівня води

Список літератури:

1. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. Москва : Энергоатомиздат, 1981. 365 с.
2. Система автоматического регулирования уровня в барабанах котла: а.с. SU 1760242 A1; МПК F 22 D 5/30. № 4822047/06; заявл. 25.01.90; опубл. 07.09.92, Бюл. № 33.12 с.
3. Кирсанов В.В., Михайловский Н.В., Потап О.Е. Оптимальные системы автоматического управления. Дніпро : НметАУ, 2019. 319 с.
4. Плетнев Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок электростанций : учебник для техникумов. Москва : Энергоатомиздат, 1986. 344 с.

Kirsanov V.V., Rybalchenko M.O., Shybakynski V.I., Mykhailovskiy M.V. OPTIMIZATION OF THE COMBINED AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF SOME PARAMETERS OF DRUM BOILERS

One of the main tasks of process control at a thermal power plant is to maintain a continuous correspondence between the amounts of energy produced and consumed. The solution of this problem can be carried out by means of autonomous automatic control systems of parameters of a steam boiler, the turbine and the electric generator. These systems perform continuous and high-quality regulation of individual technological processes, but are not designed to solve optimization problems for the power unit as a whole.

The article considers the existing automatic systems for regulating the level and vacuum of drum boilers, such as DKVR-10-13. It is established that in order to prevent the frequent occurrence of significant material imbalance between fuel and air injected into the furnace and flue gases leaving the furnace and the flow of incoming feed water and steam flow to the consumer, increase the speed and reliability of control of the main parameter in the regulator additional action depending on change of the basic perturbation (perturbation compensator). According to this recommendation, a combined automatic systems is developed, which simultaneously uses the principle of regulation of deviation and perturbation.

To confirm the correctness of the choice of the control law and the parameters of the controller and compensator, on the example of automatic level control system, simulation was performed in the MATLAB / Simulink application package. The use of the main disturbance compensation channel improves the quality of maintenance of the technological parameter within the specified limits in the event of significant disturbances. The obtained simulation results confirm the efficiency of the combined system developed in the work.

Key words: automatic control system, drum boiler, level, vacuum, perturbation, quality, modelling.

УДК 004.413

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/14>

Корнага Я.І.

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

Герасименко О.Ю.

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Базака Ю.А.

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

Базалій М.Ю.

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

Мухін О.В.

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

ВИКОРИСТАННЯ БАЗ ДАНИХ ТА МОВ ПРОГРАМУВАННЯ У ВИСОКОТОЧНИХ ОБЧИСЛЕННЯХ ЧИСЕЛ ІЗ ПЛАВАЮЧОЮ ТОЧКОЮ ВЕЛИКОЇ РОЗРЯДНОСТІ

Для багатьох наукових обчислень, що пов'язані з емпіричними даними, використовується 32-бітна арифметика із плаваючою точкою, яка дає результати достатньої точності для розрахунків. Проблема сучасної обчислювальної техніки полягає у правильному підборі сховищ для зберігання даних та проведення обчислень, а оцінка правильності проведення обчислень повинна бути виконана з більш високою точністю. Існують розв'язки, для яких такої точності не достатньо, тому використання методів розрахунків із 64-бітною арифметикою із плаваючою точкою є більш придатною. Для деяких дуже складних задач виникає потреба в більш високих рівнях точності при великому масиві даних. У даній статті розглядається задача використання різних сучасних мов програмування для вирішення задач обчислень з високою точністю. Існують багатоядерні і багатовузлові паралельні обчислення, які можна виконувати з високою точністю для різних процесів у різних сферах діяльності. Особливо важливим аргументом є точність проведення розрахунків для таких галузей, як енергетична, хімічна, машинобудівна промисловість. Проведено вибір методів для проведення високоточних обчислень та аналізу пакетів для високоточної арифметики, які використовуються у мовах програмування. Розроблене середовище для проведення експериментів із можливістю підключення чотирьох компіляторів та бібліотек мов програмування. Також було проведено експериментальне дослідження з різними базами даних із використанням великих масивів даних, за якими побудовано відповідні індекси у високоточних обчисленнях та проводиться порівняння для різних типів даних. Використовувалися реляційні бази даних Oracle та MS SQL, а також нереляційні бази даних MongoDB та Oracle NoSQL. У результаті проведених експериментів було показано, що бібліотеки C++ не достатньо швидко працюють із високоточними числами та методами, які застосовувалися для оцінки швидкості виконання високоточних операцій класичними мовами програмування, дають результати, які відрізняються менше ніж на 5%. Експеримент із базами даних показав, що нереляційні бази даних проводять обчислення з більшою швидкістю, ніж реляційні, причому результати відрізняються не більше, ніж на 2%. База даних Oracle проводить розрахунок більш, ніж на 30% швидше, ніж MS SQL.

Ключові слова: високоточні обчислення, арифметика з плаваючою точкою, мови програмування, розподілені бази даних.

Постановка проблеми. У наукових обчисленнях з емпіричними даними 32-бітна арифметика з плаваючою точкою є досить точною і є кращою,

оскільки вона економить оперативну пам'ять, час запуску і споживання електроенергії. А в інших обчисленнях 64-бітна арифметика з плаваючою

точкою потрібна для отримання результатів з достатньою точністю. Іноді є потреба у використанні при обчисленнях результатів, які отримуються об'єднанням 32-бітових і 64-бітових методів. Одна з проблем сучасної обчислювальної техніки полягає в правильному підборі сховищ для зберігання даних та проведення обчислень, які допоможуть користувачам визначити, які частини можуть бути виконані з меншою точністю, а які повинні бути виконані з більш високою точністю. При обчисленнях великих масивів даних було виявлено, що з швидким зростанням об'єму інформації точність результатів була не задовільною навіть при використанні 64-бітної арифметики, а швидкість обробки падала [1–4].

Мета статті – проведення порівняльного аналізу наявних систем обробки великих масивів інформації з використанням гетерогенних розподілених баз у високоточних обчисленнях з плаваючою точкою великої розрядності та дослідження швидкості обробки даних в таких системах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До цих пір найбільш поширена форма додаткової точності арифметики приблизно у два рази перевищує рівень стандартної 64-бітної арифметики із плаваючою точкою. Одним з варіантів є стандарт для 128-бітної арифметики із плаваючою точкою, з мантисою 113 біт, який не реалізований в апаратних засобах, але операції даного типу даних підтримується в програмному забезпеченні за допомогою спеціальних бібліотек. У базах даних такі обчислення приходиться проводити за допомогою написання додаткових процедур зі зміною параметрів типу даних залежно від операцій та розміру цілої частини числа.

Реалізація стандарту для 128-бітної арифметики, яка була реалізована, називається «подвійний подвійного» (double-double), точність якого складає 31 знак. Даний тип складається з двох 64-розрядних типів (S, T), де S являє собою значення з плаваючою точкою 64-бітної точності, а T – різниця між істинним значенням і S. Для таких рівнів точності (до кількох сотень цифр) арифметика здійснюється за допомогою пристосування відомих методів, а саме: метод Каратцуби, швидке перетворення Фур'є (ШПФ), метод Ньютона, метод Тейлора та алгоритми багаторозрядної арифметики (БРА) з модулярно-позиційним форматом.

У даний час існує декілька вільно доступних високоточних пакетів програмного забезпечення, разом із супроводжуваними інтерфейсами на мові високого рівня, використовуючи переваження

операторів, які роблять перетворення відповідне коду. У більшості випадків один тільки змінює висловлювання типу тих змінних, які повинні розглядатися в якості високої точності і робить кілька інших модифікацій. Після цього, коли один із цих змінних з'являється у виразі, правильні базові підпрограми автоматично викликаються.

Ось декілька доступних у даний час пакетів для високоточної арифметики із плаваючою точкою:

1. ARPREC: Підтримка довільної точності з багатьма алгебраїчними і трансцендентними функціями. Включає в себе інтерфейси високого рівня для C ++.

2. CLN: C ++ бібліотека підтримка довільної точності з численними алгебраїчними і трансцендентними функціями.

3. Julia: середовище програмування високого рівня, який включає в себе GMP і MPFR.

4. MPFR: Підтримка декількох рівнів точності обчислень із плаваючою точкою із правильним округленням, ґрунтуючись на GMP.

5. mpmath: бібліотека Python для довільної точності арифметики з плаваючою точкою, в тому числі численного трансцендентні.

6. NTL: C ++ бібліотека для довільної точності цілого числа і арифметики з плаваючою точкою.

7. Numerics: бібліотека C# для чисел з великою точністю.

8. JInterval: бібліотека Java для чисел з великою точністю.

Очевидно, що це додаткові системні витрати для виконання операцій високоточної арифметики. У деяких випадках втрати часу складають від 25 до 50 раз. Цього можна уникнути, використавши методи описані вище, тільки для невеликої частини коду, тому загальний час роботи може збільшитися на в 2 рази. Із появою паралельних обчислювальних систем швидкість проведення високоточних обчислень значно збільшилась.

У базах даних можливе застосування не всіх методів для вирішення задач із великою точністю, а проведення дослідження на швидкість обробки даних являється критерієм правильного вибору СУБД для зберігання та опрацювання інформації.

У зв'язку з виникненням багатоядерних і багатовузлових паралельних обчислень можна виконувати з високою точністю обчислень різних радіофізичних процесів, використовуючи інтерфейс передачі повідомлень програмного забезпечення (MPI) на рівні додатків, а не розпаралелювати на окремі високоточні операції. Також на сучасних системах, які застосовують багатоядерні процесори та паралельні обчислення, більш ефективно виконуються

операції з використанням загальної пам'яті (OpenMP), в межах одного вузла, навіть якщо MPI використовується для паралелізму між вузлами.

Поява графічних процесорів (GPU) на чіпі прискорювачів від Intel MIC, які в даний час використовуються для великомасштабних високопродуктивних обчислювальних додатків, привела до більш ефективного застосування методів високоточних обчислень [2–6].

Програмне забезпечення повинно забезпечувати основні арифметичні операції, на будь-якому рівні точності. Сучасні високоточні пакети повинні підтримувати такі основні функції [4–8]:

1. Основні базові функції: експонента, логарифм, синус, косинус, тангенс, гіперболічні функції та відповідні зворотні функції.
2. Функції роботи з інтегралами.
3. Функції векторної алгебри.
4. Функції матричної та тензорної алгебри.
5. Гіперболічні функції.

Ці функції повинні бути реалізовані за допомогою найкращих доступних алгоритмів для різних діапазонів аргументів і рівнів точності, а також повинні підтримувати як реальні, так і складні аргументи. Для проведення розрахунків мовою SQL приходиться писати запити, які реалізують різні функції використання обчислень, а відсутність, наприклад, деяких базових, роботи з інтегралами та гіперболічних функцій призводить до використання методів, які були описані вище [9–10].

Виклад основного матеріалу. Для оцінки ефективності алгоритмів високоточної арифме-

тики було розроблено програмне моделююче середовища на різних мовах програмування для проведення експериментів. Вибраний персональний комп'ютер із такими характеристиками:

1. Процесор – Intel Core i7- 3.40 GHz, 10M Cache.
2. Оперативна пам'ять – 8 Gb.
3. Жорсткий диск – 1 Tb.
4. Відеокарта – 2 Gb.

У всіх експериментах точність обчислень складала 72 десяткові цифри. Для проведення експерименту були вибрані наступні арифметичні операції: додавання (plus), віднімання (min), множення (mult), ділення (div). Основними мовами програмування, які були вибрані для проведення експерименту, є:

1. C#.
2. Java.
3. Python.
4. C++.

А основними базами даних, в яких проводилися експерименти є:

1. Oracle.
2. MS SQL.
3. MongoDB.
4. Oracle NoSQL.

Розроблена схема моделюючого середовища представлена на рис. 1.

Перший експеримент проводився для порівняльних оцінок всіх операцій для різних мов програмування (рис. 2), який показав час виконання їх залежно від вибору мови.

Другий експеримент проводився для порівняльних оцінок операції множення для різних методів обчислень (рис. 3), який показав час виконання їх залежно від вибору методів.

Час у даних експериментах оцінювався за допомогою наступних функцій:

1. C# – microtime.
2. Java – nanotime.
3. Python – timeit.
4. C++ – clock.

Третій експеримент проводився для порівняльних оцінок всіх операцій для різних баз даних (рис. 4) із використання масиву даних, рівних одному мільйону записів у таблиці, який показав час виконання їх в залежності від вибору мови. Викону-

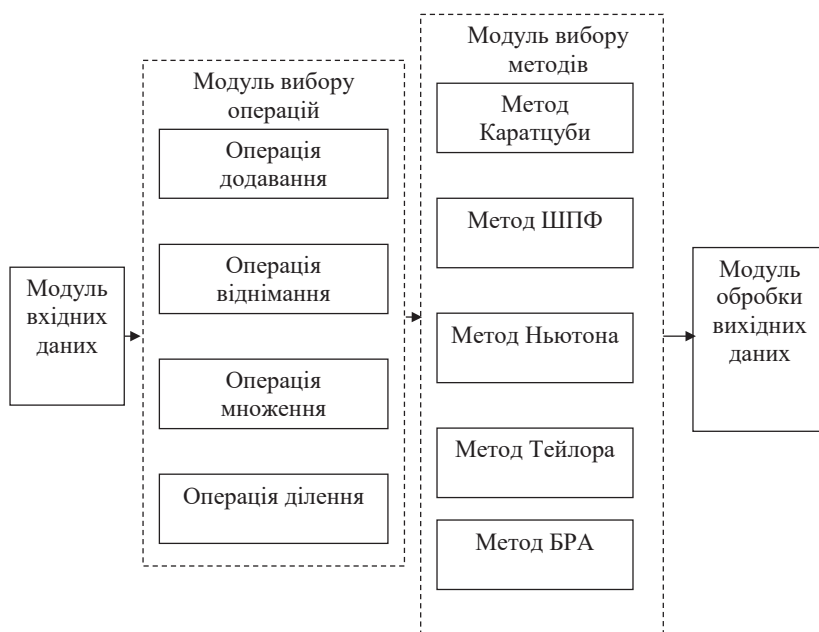


Рис. 1. Схема моделюючого середовища проведення експериментів

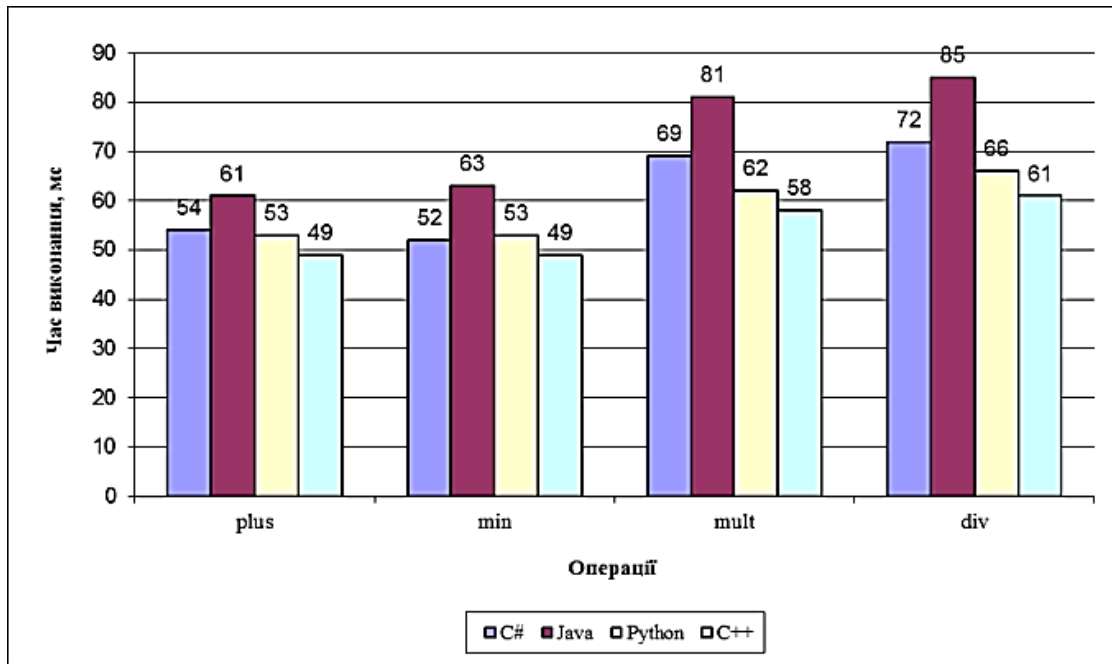


Рис. 2. Порівняльні оцінки часу виконання операцій різними мовами програмування з допомогою алгоритму БРА

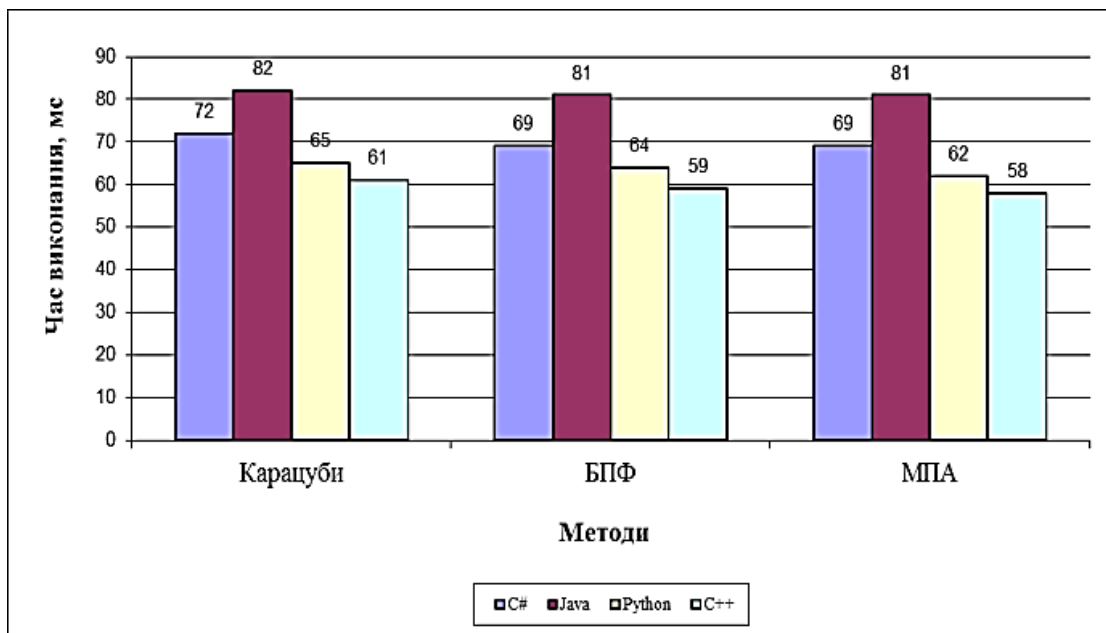


Рис. 3. Порівняльна оцінка часу виконання операції множення для різних методів

валось 20 запитів до стовпчика таблиці, за яким побудовано індекс, та бралось середнє значення.

Усі експерименти проводилися як із засобів керування базами даних, так і з використанням системи сервісів доступу до даних. Для системи сервісів використовувалося імітаційне тестування, яке дозволило тестувати кожен модуль окремо, що необхідно для зменшення навантаження на саму розподілену мережу.

Висновки. У цій статті запропонований аналіз оцінки високоточних операцій чисел із плаваючою точкою. Було визначено методи, які дозволили провести експериментальні дослідження та показали, що під час вибору мов програмування велику увагу слід приділяти бібліотекам, які застосовуються для роботи з високоточним обчисленням. У результаті проведених експериментів було показано, що бібліотеки C++ не достатньо швидко

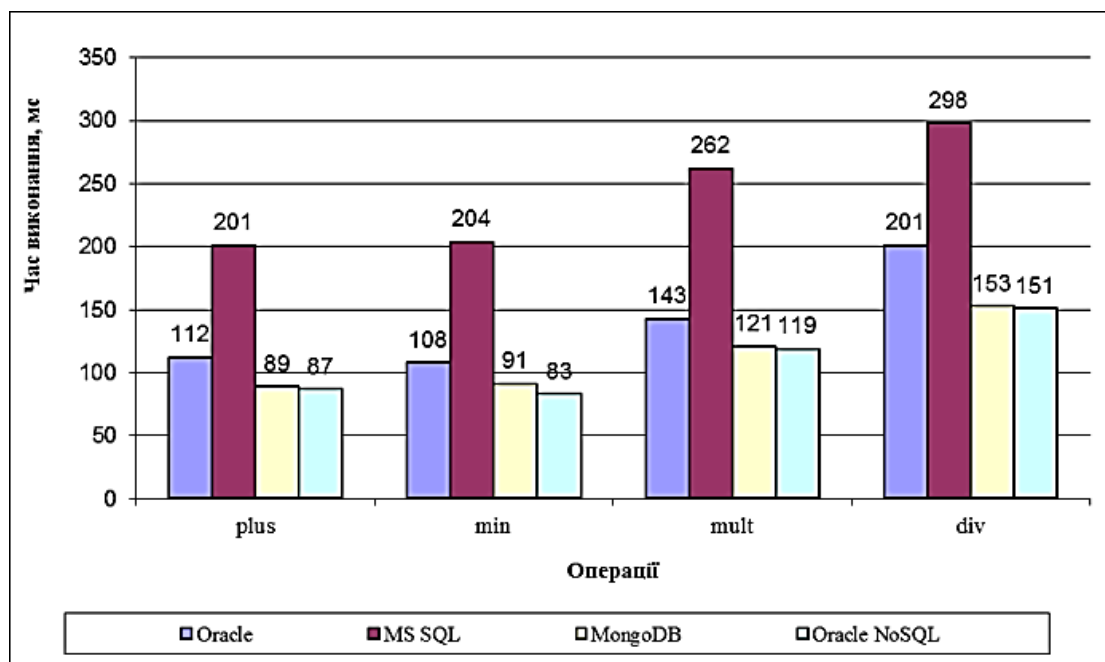


Рис. 4. Порівняльні оцінки часу виконання операцій різними базами даних

працюють з високоточними числами, та методи, які застосовувалися для оцінки швидкості виконання високоточних операцій класичними мовами програмування, дають результати, які відрізняються менше ніж на 5%. Експеримент із базами даних

показав, що нереляційні бази даних проводять обчислення з більшою швидкістю, ніж реляційні. Результати нереляційних відрізняються не більше ніж на 2%, а база даних Oracle проводила розрахунків даних більше як на 30% швидше ніж MS SQL.

Список літератури:

1. Bailey D.H., Borwein J.M. High-precision arithmetic: progress and challenges. URL : <http://www.davidhbailey.com/dhbpapers/hp-arith.pdf>.
2. Исупов К.С. Методика выполнения базовых немодульных операций в модулярной арифметике с применением интервальных позиционных характеристик. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2013. № 3. С. 26–39.
3. Исупов К.С. Об одном алгоритме сравнения чисел в системе остаточных классов. *Вестник Астраханского государственного технического университета*. 2014. № 3. С. 40–49.
4. Цюцюра М.І., Єрукаєв А.В. Застосування генетичного алгоритму для формування функції належності нечітких множин. *Інформаційні технології управління*. 2018. № 36. С. 71–75.
5. Исупов К.С., Мальцев А.Н. Модулярное масштабирование степенью двойки с произвольным шагом. Издательство ВятГУ. 2014. С. 1179–1184.
6. Chang C.C., Yang J.H. A division algorithm using bisection method in residue number system. *International Journal of Computer, Consumer and Control*. 2013. № 1. С. 59–66.
7. Gbolagade K.A., Cotofana S.D. An O(n) residue number system to mixed radix conversion technique. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*. (Taiwan, 24-27 May 2009). Taiwan, 2009. P. 521–524.
8. Федусенко О.В., Федусенко А.О., Доманецька І.М. Концептуальна модель адаптивної інформаційної системи навчання. *Інформаційні технології управління*. 2017. № 32. С. 86–90.
9. Корнага Я.І. Порівняльні оцінки застосування методів підвищення швидкості пошуку та запису даних в базах даних. *Адаптивні системи автоматичного управління*. 2013. № 1(22). С. 37–44.
10. Мухін В.Є., Корнага Я.І. Аналіз ефективності оброблення запитів серверами гетерогенних розподілених баз даних. *Технічні науки та технології*. 2016. № 1. С. 89–94.

Kornaha Ya.I., Herasymenko O.Yu., Bazaka Yu.A., Bazalii M.Yu., Mukhin O.V.

USING OF DATABASES AND PROGRAMMING LANGUAGES

IN HIGH-PRECISION CALCULATIONS OF FLOATING-POINT NUMBERS

Many scientific calculations involving empirical dates uses 32-bit floating-point arithmetic, which gives results of sufficient accuracy for calculations. The problem of modern computers is the correct selection of repositories for data storage and calculations, and the assessment of the correctness of the calculations has been performed with greater accuracy. There are solutions for which such accuracy is not sufficient, so using of calculation methods with 64-bit floating-point arithmetic is more appropriate. There is a requirement for higher levels of accuracy for some very complex tasks with a large data set. This article considers the problem of using various modern programming languages to solve computational problems with high accuracy. There are multi-core and multi-node parallel calculations that can be performed with high accuracy for different processes in different areas of activity. A particularly important argument is the accuracy of calculations for industries such as energy, chemical, engineering. The choice of methods is made for high-precision calculations and analysis of packages for high-precision arithmetic, which are used in programming languages. An environment has been developed for conducting experiments with the possibility of connecting four compilers and libraries of programming languages. An experimental study was also conducted with different databases using large data sets, on which the corresponding indices in high-precision calculations were constructed and comparisons were made for different types of data. Relational Oracle and MS SQL databases were used, as well as non-relational MongoDB and Oracle NoSQL databases. As a result of experiments, it was shown that C++ libraries do not work fast enough with high-precision numbers and the methods used to estimate the speed of high-precision operations in classical programming languages give results that differ by less than 5%. The experiment with databases showed that non-relational databases perform calculations with a faster rate than relational ones, and the results differ by no more than 2%. The Oracle database calculated more than 30% faster than MS SQL.

Key words: high-precision calculations, floating point arithmetic, programming languages, databases.

Мельник О.Г.

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

Мельник Р.П.

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

ПРОЄКТУВАННЯ ЗАСОБІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ПОЖЕЖНОЮ БЕЗПЕКОЮ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ

Дослідження присвячене проєктуванню сучасних методів і технічних засобів цивільного захисту з метою виконання завдання із прогнозування в реальному часі передумов виникнення пожеж у будівлях і спорудах житлового фонду. Це стало основою для створення засобів цивільного захисту – інформаційних систем із попередження виникнення пожеж і передачі оперативної інформації для прийняття управлінських рішень.

Розроблена інформаційна система базується на використанні методу групового урахування аргументів за рахунок його адаптації до предметної сфери. Запропонована технологія дозволяє виконувати надскладні завдання з отримання інтегральних даних зі стану об'єктів моніторингу пожежної безпеки як послідовність, що містить скоординовані між собою складники, адаптовані до змін сторонніх впливів.

Для впровадження результатів дослідження використано систему залишкових класів, яка є найбільш ефективним методом підвищення швидкодії та достовірності роботи спеціалізованих засобів обчислювальної техніки. Подальші дослідження були спрямовані на пошук системи числення, що забезпечила б швидку реалізацію системи залишкових класів. Запропоновано реалізувати її на основі позиційної надлишкової системи числення, а це дозволяє гарантовано знаходити помилки, адже помилки у прогнозуванні можуть призвести до нерационального використання сил і засобів органів і підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій і значної втрати коштів.

Також розвинуто методи синтезу дискретних пристроїв на основі систем числення з постійною кількістю одиниць. Розроблено математичну модель суматора для двійково-четвіркової системи числення з постійною кількістю одиниць, у якій використовуються інверсні розряди. Така модель суматора формує сигнал переносу в парафазному коді, повністю контролює правильність виконання всіх операцій разом із переносом.

Отримані результати дозволяють забезпечити точність прогнозування впродовж трьох днів із середньою похибкою від 1,2 до 2,6%.

Ключові слова: цивільний захист, прогнозування пожеж, житловий фонд, інформаційна система, алгоритмічна концепція, метод групового урахування аргументів, система залишкових класів, система числення.

Постановка проблеми. Протягом останніх кількох років в Україні спостерігається тенденція до зростання кількості надзвичайних ситуацій, збільшення їх масштабів і кількості жертв [1]. Аналіз результатів практичної діяльності органів і підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій і єдиної державної системи цивільного захисту загалом свідчить про те, що існують суттєві недоліки в забезпеченні оперативного реагування на надзвичайні ситуації (НС) різного характеру, прийнятті своєчасних і обґрунтованих рішень. Це призводить до неналежного рівня організації державного управління у НС та інформаційного забезпечення [2].

У зв'язку зі збільшенням кількості НС сьогодні набирає обертів проблема недостатньої кількості

сил і засобів органів та підрозділів служби цивільного захисту для ліквідації наслідків НС. Тому гостро стоїть питання щодо попередження та надшвидкого реагування на передумови виникнення НС різного характеру, а надалі – й отримання оперативної інформації під час ліквідації НС для прийняття ефективних управлінських рішень, адже попередження виникнення НС або хоча б якнайшвидше реагування на них дозволить мінімізувати наслідки, зменшити кількість залучених сил і засобів для їх ліквідації та як наслідок – зберегти життя та здоров'я громадян, захистити майно та зекономити державні кошти.

Україна знаходиться на тому етапі розвитку, коли перед теорією і практикою державного управ-

ління постають завдання модернізації органів і підрозділів ДСНС України та системи цивільного захисту загалом [3]. Одним зі шляхів модернізування служби цивільного захисту є впровадження сучасної техніки та засобів цивільного захисту – інформаційних технологій із попередження НС та інформаційного забезпечення для прийняття управлінських рішень. Щодо питання запобігання виникненню таких НС, як пожежі в житловому секторі, то пропонується впровадження заходів профілактики на базі техніки та засобів цивільного захисту – сучасних інформаційних систем. Реалізація цього завдання суттєво залежить від достовірності й оперативності інформації, що підлягає моніторингу, на основі якого приймаються управлінські рішення.

Однак сьогодні проблема автоматизації прогнозування передумов виникнення пожеж у будівлях і спорудах житлового фонду залишається невирішеною через відсутність адаптованих методів у галузі прогнозування та спеціальних засобів збору первинної інформації, засобів обчислювальної техніки, що в реальному часі могли б забезпечити вирішення цього завдання [4].

Таким чином, перед нами ставилося важливе науково-технічне завдання – розроблення сучасних методів і технічних засобів із метою виконання завдання із прогнозування в реальному часі передумов виникнення пожеж у будівлях і спорудах житлового фонду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науково-технічний прогрес дедалі більше привертає увагу до модернізації та вивчення питання проєктування новітніх засобів цивільного захисту, таких як автоматичні й автоматизовані системи, створення різних систем моніторингу й управління. Автором роботи [3] проведено аналіз сучасного стану модернізації системи цивільного захисту України, розкрито шляхи та завдання її подальшого розвитку. У дослідженні [5] запропонована автоматична система моніторингу електроспоживання. Однак детальний аналіз вищезазначених досліджень показав, що вони не відповідають вимогам до використання у сфері цивільного захисту та пожежної безпеки, оскільки не враховують усі параметри електричних мереж і їхні зміни, що можуть стати причинами виникнення пожеж.

У дослідженні [6] запропоновано рішення для проєктування систем моніторингу пожежної безпеки із застосуванням бездротових датчиків і передавання даних контрольованих параметрів пожежі в режимі on-line. Проте ця система фіксує

лише виникнення пожеж, а не їхнє попередження. Застосування автоматизованих систем перетворення інформації для моніторингу стану пожежної безпеки та використання системи залишкових класів у разі недостатньої інформативності було розглянуто в роботі [7]. У [8] було продовжено вивчення можливості застосування системи залишкових класів з урахуванням рішення задачі прогнозування пожеж. Однак у [7; 8] не проведено синтез та аналіз кодованих систем числення, що могли б застосовуватися в реалізації системи залишкових класів.

Детальне вивчення вищезазначених наукових робіт показало, що наявні методи та технічні засоби моніторингу НС не дають змоги виявити саме передумови виникнення пожеж у житловому секторі. Така ситуація дозволяє стверджувати, що наукове дослідження розробки засобів цивільного захисту, а саме комп'ютеризованої системи прогнозування пожеж у житловому секторі на основі показників електромережі є доцільним.

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення методів і технічних засобів багаторівневого комп'ютеризованого моніторингу стану пожежної безпеки житлового сектору, що слугуватиме основою для створення засобів цивільного захисту – інформаційних систем із попередження виникнення пожеж і передачі оперативної інформації для прийняття управлінських рішень.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробити методи моделювання передпожежного стану електричних мереж у житлових приміщеннях;
- визначити системи числення, які дозволять розробити апаратні засоби прогнозування пожеж у житловому секторі;
- синтезувати математичні моделі дискретних пристроїв і функціональні схеми для апаратної реалізації задачі прогнозування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Активна інформатизація всіх сфер життєдіяльності людини вимагає прийняття та впровадження оперативних і високоефективних рішень на всіх рівнях державного управління в ЄДСЦЗ. Якісний рівень прийнятих рішень залежить від достовірності та змістовності інформації, що підлягає аналізу, її підготовки й узагальнення, а також подання її у відповідній формі. Все це свідчить про безумовну актуальність розробки систем збору, передачі, опрацювання, візуалізації та документування статистичної інформації. Правильно опрацьовану аналітичну інформацію можна використовувати

для оцінки, моделінгу та завчасного прогнозування виникнення пожеж у житловому секторі [9].

Теоретично доведено, що одним із ефективних підходів до вдосконалення пожежної безпеки житлового сектора є застосування техніки та засобів цивільного захисту з моніторингу по багаторівневому перетворенню інформації [7]. Запропонована технологія дозволяє виконувати надскладні завдання з отримання інтегральних даних зі стану об'єктів моніторингу пожежної безпеки як послідовність, що містить скоординовані між собою складники, які адаптовано до змін сторонніх впливів. Такі наукові дослідження, як [8; 10] доводять ефективність методу групового урахування аргументів для використання у сфері завчасного прогнозування пожеж у житловому секторі та визначають споживання електроенергії як показника дистанційного прогнозування.

У продовження дослідження цього питання нами здійснений експеримент, результати якого представлені на рис. 1, що дозволяє зробити висновок про те, що вхідний масив даних для прогнозування передпожежного стану житлового сектору містить достатній перелік елементів. На основі цих даних можна синтезувати адекватні прогнозні моделі за багаторядним алгоритмом методу групового урахування аргументів.

Особливо слід відзначити ту обставину, що зі зростанням прогнозного періоду збільшується середнє значення похибки прогнозування. Якщо тривалість прогнозного періоду 3 кроки, то похибка прогнозування зростає на 1,4%, водночас вона залишається прийнятною.

Модель прогнозу передумов виникнення пожежі у квартирі – це поліном Колмогорова – Габора:

$$y = w_0 + \sum_{i=1}^m w_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m w_{ijk} x_i x_j x_k + \dots, \quad (1)$$

де $x = \{x_i | i = 1, \dots, m\}$ – множина вільних змінних; w – вектор параметрів вагових коефіцієнтів $w = \langle w_i, w_{ij}, w_{ijk}, \dots | i, j, k, \dots = 1, \dots, m \rangle$; x – вільна

змінна. Базова модель лінійна відносно параметрів w та нелінійна відносно вільних змінних x .

На базі методу групового урахування аргументів було отримано модель прогнозу квартири, що є складним поліномом. Житловий сектор моніторингу – це множина споживачів електроенергії, тому на кожен квартиру (житловий будинок) необхідно отримати таку модель. Окрім цього, згенеровані моделі з часом «старіють», тому потрібно їх періодично перераховувати. Для одержання даних зі стану електромережі у житлових приміщеннях необхідні великі працезатрати, час і високотехнологічні засоби обчислювальної техніки. Всі ці вимоги сьогодні майже унеможливають проведення постійного аналізу стану електромереж житлового сектору. Це стало підґрунтям для проведення подальших досліджень.

У науковій роботі [4] розроблено структурну схему комп'ютеризованої системи, що демонструє реалізацію методу прогнозування передпожежного стану у житловому секторі.

Для реалізації цієї комп'ютеризованої системи прогнозування передумов виникнення пожеж у житловому секторі нами запропонована алгоритмічна концепція побудови програмно-апаратних засобів прогнозування пожеж у житловому секторі, представлена на рис. 2.

У наукових дослідженнях [7; 8] було підтверджено зможу використання системи залишкових класів для забезпечення оперативності розрахунку моделей квартир, а також доведено правильність вибору системи числення, що найефективніше виконує операції множення, додавання та віднімання. У системі залишкових класів всі числа є своїми залишками від ділення на обрану систему основ. Результатом розрахунків поліномів кожної окремої житлової оселі буде модель у табличній формі.

Після ряду досліджень нами було обрано позиційну двійково-четвіркову систему числення з постійною кількістю одиниць [4].

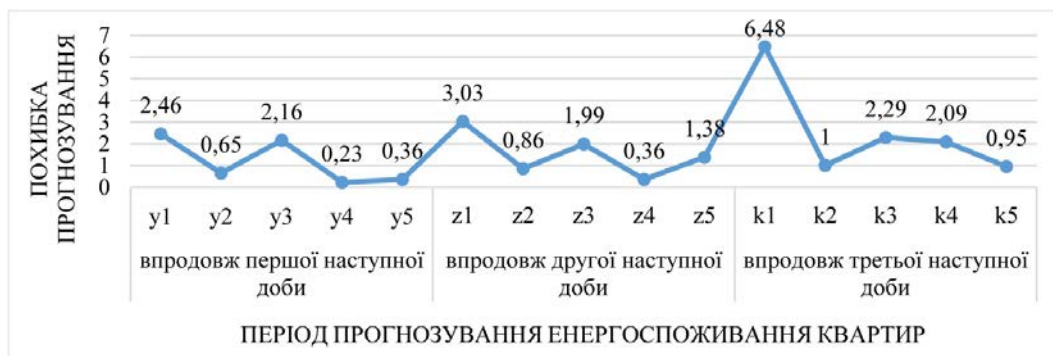


Рис. 1. Результати прогнозування енергоспоживання квартир

Контроль помилок у такій системі числення буде здійснюватися:

$$\bar{F} = F_1 \cup F_2 \cup \dots \cup F_k \cup \dots \cup F_n, \quad k \in [1, n], \quad (2)$$

де

$$F_k = A_{4n} \bar{A}_{4n-1} \bar{A}_{4n-2} \bar{A}_{4n-3} \cup \bar{A}_{4n} A_{4n-1} \bar{A}_{4n-2} \bar{A}_{4n-3} \cup \bar{A}_{4n} \bar{A}_{4n-1} A_{4n-2} \bar{A}_{4n-3} \cup \bar{A}_{4n} \bar{A}_{4n-1} \bar{A}_{4n-2} A_{4n-3}$$

Така система числення гарантує виявлення всіх помилок непарної кратності за значної простоти

пристрою контролю інформації, тому ця система числення є перспективною для використання у спеціалізованих системах засобів цивільного захисту з прогнозування передпожежного стану в житловому секторі та системах управління пожежною безпекою.

Оскільки сьогодні відсутні схемотехнічні рішення, що могли б поєднати особливості обох систем – системи залишкових класів і двійково-четвіркової системи числення з постійною кількістю одиниць, – необхідно синтезувати арифметичні пристрої.

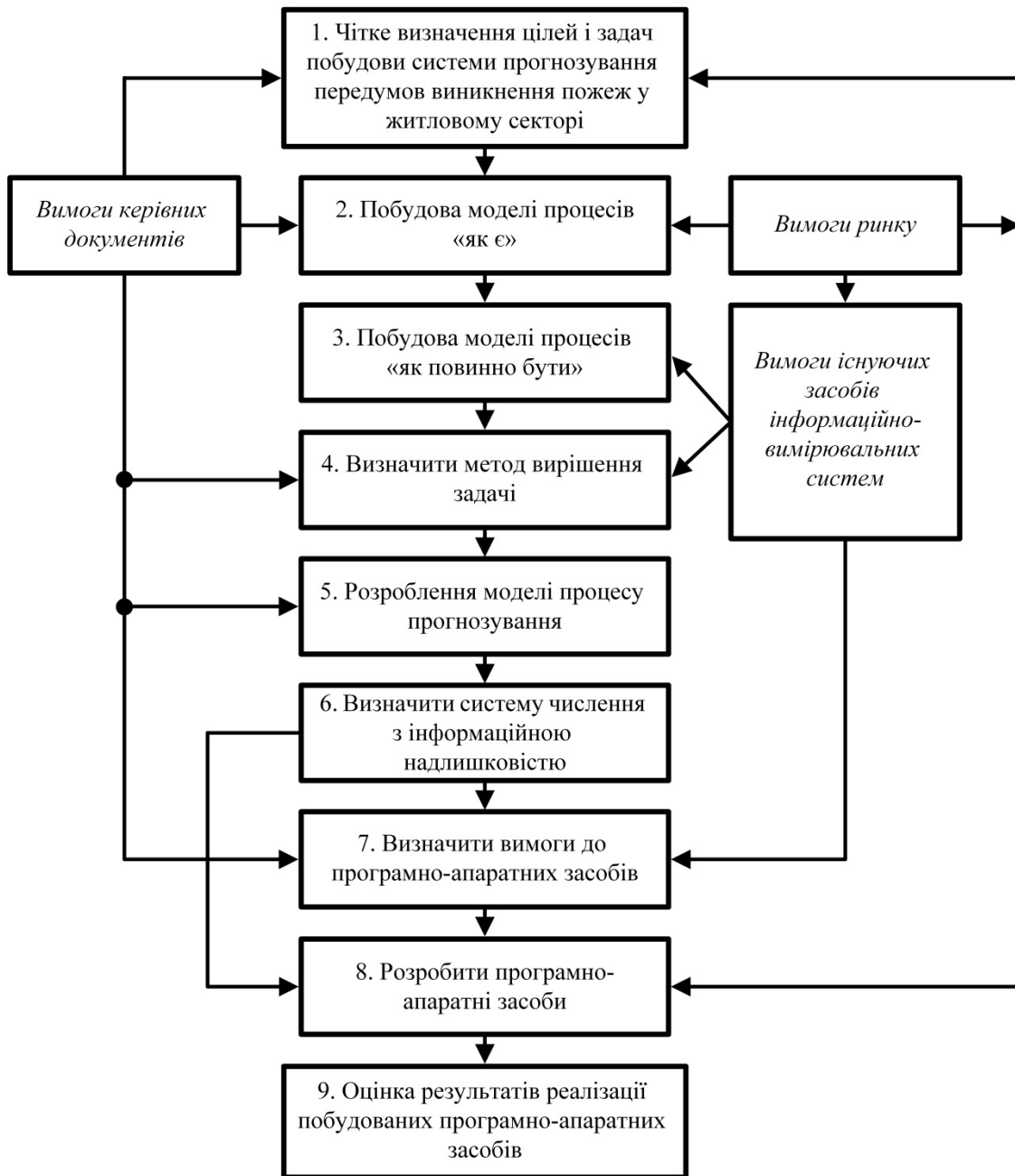


Рис. 2. Алгоритмічна концепція побудови програмно-апаратних засобів прогнозування пожеж у житловому секторі

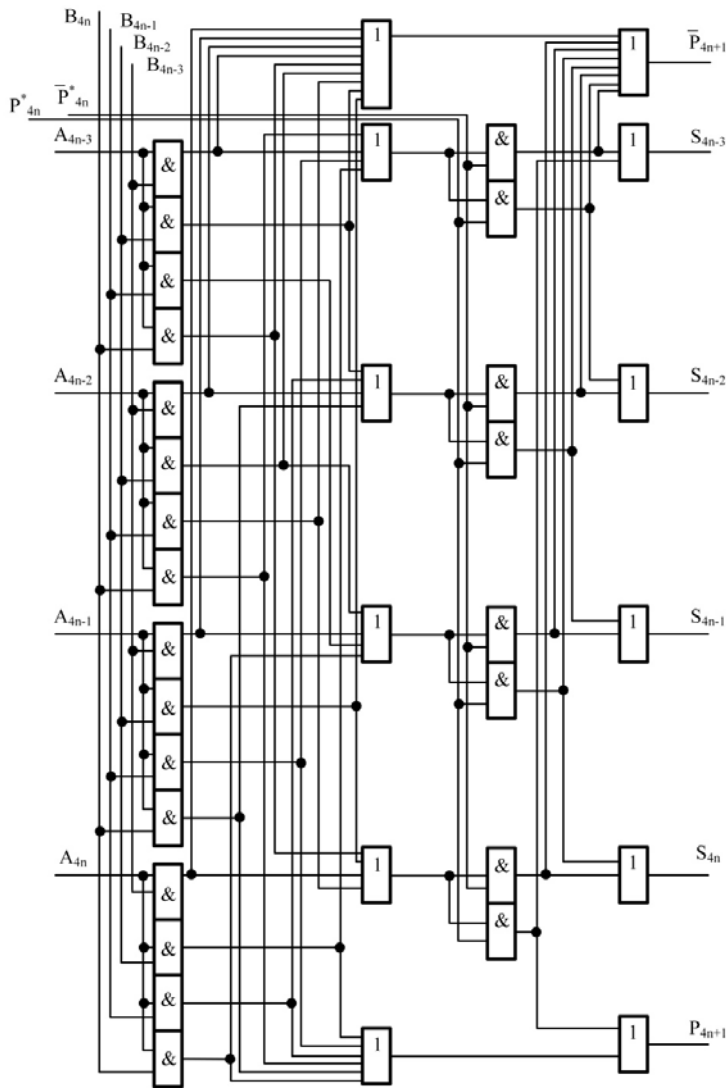


Рис. 3. Функціональна схема суматора двійково-четвіркової системи числення з постійною кількістю одиниць з обробленням сигналів переносу в парафазному коді

Нами було розроблено математичну модель суматора для двійково-четвіркової системи числення з постійною кількістю одиниць, у якій використовуються інверсні розряди. Така модель суматора, функціональна схема якого зображена на рис. 3, формує сигнал переносу в парафазному коді, повністю контролює правильність виконання всіх операцій разом із переносом.

Суматор має входи $A_{4n} - A_{4n-3}$ першого операнду, входи $B_{4n} - B_{4n-3}$ другого операнду, першу та другу групи елементів I , першу та другу групи елементів $АБО$, входи P_{4n} та \bar{P}_{4n} сигналу переносу з попередньої групи розрядів суматора в парафазному коді, виходи $S_{4n} - S_{4n-3}$ результату додавання та виходи P_{4n+1} і \bar{P}_{4n+1} сигналу переносу суматора в парафазному коді.

Необхідно зауважити, що використання перемикачів забезпечує практичну реалізацію суматора без використання інверторів, а це спростить пристрій і, як наслідок, збільшить його надійність.

Висновки. У цьому дослідженні вперше розв'язано важливе науково-технічне завдання розроблення сучасних методів і технічних засобів із метою виконання завдання із прогнозування пожеж у будівлях і спорудах житлового фонду за рахунок адаптації методів прогнозування до предметної сфери. Отримані результати дозволяють забезпечити точність прогнозування впродовж трьох діб із середньою похибкою від 1,2 до 2,6%.

Вперше запропоновано концепцію розроблення спеціалізованих програмно-апаратних засобів для прогнозування передумов виникнення пожеж у житловому секторі.

Розвинуто методи синтезу системи числення на основі системи залишкових класів шляхом використання позиційних надлишкових систем числення. Це дозволило зменшити час прогнозування та збільшити достовірність виявлення передпожежного стану в житловому секторі.

Розроблено суматор, що забезпечує виконання додавання чотирьох розрядів числа у двійково-четвірковій системі числення з постійною кількістю одиниць на 20% швидше, оскільки в ньому відсутні інвертори у другій групі елементів I .

Список літератури:

1. Інформаційно-аналітична довідка про виникнення НС в Україні упродовж 2019 р. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Dovidka-za-kvartal/103179.html> (дата звернення: 01.02.2020).
2. Барило О.Г., Потеряйко С.П., Тищенко В.О. Інформаційне забезпечення органів державного управління у надзвичайних ситуаціях. *Науковий вісник Академії муніципального управління. Серія: Управління*. 2013. Вип. 4. С. 77–84.
3. Любінський А. Сучасний стан та перспективи модернізації системи цивільного захисту України. *Збірник наукових праць «Ефективність державного управління»*. 2015. Вип. 43. С. 104–109.

4. Мельник Р.П., Мельник О.Г. Розроблення комп'ютеризованої системи прогнозування пожеж у житловому секторі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2019. Вип. 1. С. 5–10.
5. Alahmad, M., Nader, W., Neal, J., et al. Real time power monitoring & integration with BIM. *IECON 2010 – 36th annual conference on IEEE industrial electronics society*, 7–10 Nov., 2010. P. 2454–2458. Doi: 10.1109/IECON.2010.5675385.
6. Vidyashree, P., Pushpalatha, S. The design and implementation of building fire monitoring system using zigbee-wifi gateway. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 2017. Vol. 4. Issue 7. P. 3030–3032.
7. Дендаренко В.Ю., Мельник О.Г., Чепурний Г.П. Побудова інформаційної системи моніторингу пожежної безпеки. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. 2014. Вип. 3 (40). С. 167–170.
8. Мельник О.Г. Формування вимог до векторної основи системи залишкових класів з урахуванням рішення задачі прогнозування пожеж у житловому секторі. *Системи озброєння і військова техніка*. 2015. № 1 (41). С. 165–167.
9. Мельник О.Г., Мельник Р.П. Оцінка оперативності прогнозування пожеж у житловому секторі. *Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2017. Вип. 4. С. 27–31.
10. Мельник О.Г., Мельник Р.П. Застосування методу групового урахування аргументів до прогнозування пожеж у житловому секторі. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист* : мат-ли VII всеукр. наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Черкаси, 2017. С. 7–8.

Melnyk O.G., Melnyk R.P. DESIGN OF CIVIL PROTECTION MEANS FOR MANAGEMENT OF FIRE SAFETY OF HOUSING FUND

The research is devoted to the design of modern methods and technical means of civil protection in order to perform the task of real-time forecasting of the preconditions for fires in buildings and structures of the housing stock. This became the basis for the creation of civil protection – information systems to prevent fires and the transfer of operational information for management decisions.

The developed information system is based on the use of the method of group accounting of arguments due to its adaptation to the subject area. The proposed technology allows to perform complex tasks to obtain integrated data from the state of fire safety monitoring objects as a sequence containing coordinated components that are adapted to changes in external influences.

To implement the results of the study, a system of residual classes was used, which is the most effective method of increasing the speed and reliability of specialized computer equipment. Further research was aimed at finding a number system that would ensure the rapid implementation of the system of residual classes. It is proposed to implement it on the basis of positional redundant number system, which allows to find errors, because errors in forecasting can lead to irrational use of forces and means of bodies and units of the Civil Service of Ukraine for Emergencies and significant loss of funds.

Methods for the synthesis of discrete devices based on number systems with a constant number of units have also been further developed. A mathematical model of the adder for a binary-quadruple number system with a constant number of units, which uses inverse digits, is developed. This model of the adder generates a transfer signal in the paraphase code, fully controls the correctness of all operations together with the transfer.

The obtained results allow to ensure the accuracy of forecasting for three days with an average error of 1.2 to 2.6%.

Key words: *civil protection, fire forecasting, housing stock, information system, algorithmic concept, method of group consideration of arguments, system of residual classes, number system.*

Паулін О.М.

Одеський національний політехнічний університет

Комлева Г.О.

Одеський національний політехнічний університет

Улізко Г.В.

Одеський національний політехнічний університет

РЕКОМЕНДАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ДОПОМОГИ У ВИВЧЕННІ МУЗИЧНИХ ТВОРІВ

Роботи у сфері створення рекомендаційних систем можуть мати як комерційний, так і науково-дослідний характер і потребують вирішення ряду питань. Перше питання полягає в усвідомленні місця рекомендаційної системи у бізнес-процесі та формалізації функціоналу, виконання якого вона повинна забезпечувати. Це вимагає чіткого розуміння принципів роботи кожного етапу бізнес-завдання. Друге питання пов'язане з визначенням принципів створення рекомендацій. Традиційно для побудови рекомендаційних систем використовуються контент-орієнтовані методи, колаборативна фільтрація та кластеризація. Особливий інтерес становить використання рекомендаційних систем як помічника при самостійному опануванні нового пізнавального напрямку чи поглиблення власних навичок у будь-якій сфері навчання. Метою роботи є підвищення якості процесу вивчення музичних творів шляхом використання рекомендаційної системи, що дозволяє створювати власну траєкторію навчання з урахуванням поточного рівня гри та музичних уподобань без залучення музичного ментора. У роботі визначено методи надання рекомендацій і метрики для оцінювання релевантності цих рекомендацій вподобанням користувача. Згідно з типовим використанням програми користувачеві для власного опанування надаються нотні тексти, які він переглядає та зберігає у поточний плейлист, створюючи тим самим фрагмент траєкторії навчання на найближчий проміжок часу. За допомогою зворотного зв'язку перевіряється ступінь задоволення користувача наданим списком творів. Система використовує оцінки TF-IDF та метод косинусної подібності для обробки векторів, що визначають «профілі» для користувача та музичних творів. З архітектурного погляду розроблена система є вебсервісом, який містить серверну частину проекту на основі Apache, рекомендаційну модель на основі мови Python, бібліотек Sklearn і Pandas, сервер бази даних MySQL і базу для збереження даних.

Ключові слова: рекомендаційна система, контент-орієнтований метод, метод косинусної подібності, машинне навчання, модель, метрика.

Постановка проблеми. Центральною проблемою навчання з метою оволодіння навичками в новій для себе предметній сфері є управління процесом навчання за допомогою ефективних методів і засобів. Зазвичай це управління виконується вчителем, або ментором, який має більший професійний досвід, ніж його підопічний. Ментор бере функції регулювання, мотивації, виявлення загальних слабких сторін і розвитку стратегії подальшого навчання. Відсутність ментора викликає комплекс труднощів. Складність організації навчально-пізнавального процесу без участі ментора впливає з недостатньої формалізації загальної мети, контролю та складових частин цього процесу. Потужним інструментом для підтримки пізнавального процесу без залучення ментора можуть стати рекомендаційні системи.

В останні роки рекомендаційні системи отримали поширення при вирішенні завдань із різних предметних сфер. Рекомендаційна система – це програмний інструмент, призначений для аналізу минулого досвіду користувача і надання списку пропозицій із великого обсягу інформації. Принципи роботи рекомендаційних систем залежать від особливостей конкретного бізнес-завдання та часто ґрунтуються на методах машинного навчання. Система рекомендацій – це метод, який використовується для надання користувачеві оптимальних пропозицій із вибору елемента. Ці пропозиції засновані на різних процесах прийняття рішень, наприклад, виборі предметів для покупки, перегляді фільму з набору фільмів та ін. Особливий інтерес становлять рекомендаційні системи, націлені на допомогу в навчанні залежно

від вхідного рівня користувача, особливостей навчального контенту та кінцевої мети навчання.

Різні типи алгоритмів рекомендацій працюють відповідно до їх сфер і знань, що використовуються користувачами; в кінці для створення рекомендацій використовуються різні типи алгоритмів прогнозування.

Для кожної рекомендаційної системи повинен бути визначений набір метрик для оцінки їх роботи. Відсутність чітких критеріїв робить неможливою оцінку успішності обраної моделі рекомендаційної системи та методів, які вона використовує. За наявності декількох варіантів правильний вибір метрик для поставленого завдання дозволяє отримати оптимальне рішення бізнес-завдання.

Найчастіше для побудови рекомендаційних систем використовуються контент-орієнтовані методи, колаборативна фільтрація та кластеризація. Серед метрик оцінки використовують статистичні метрики та метрики підтримки прийнятих рішень.

При розробці рекомендаційної системи потрібно визначитися з підходом, який буде покладено в її основу, таким як:

- *контент-орієнтована* фільтрація, заснована на зіставленні користувачів із тим контентом або товарами, котрим було віддано перевагу, з використанням методів косинусної подібності та міри Жаккара;

- *колаборативна* фільтрація, що використовує відомі уподобання групи користувачів щодо певного контенту або товару для прогнозування невідомих уподобань іншого користувача з використанням матриці корисності;

- *кластеризація*, яка є завданням машинного навчання без вчителя та дозволяє за відсутності чи малої кількості розмічених даних кластеризувати спостереження на основі набору ознак, а потім призначити рекомендації для кластерів на основі міток, якими володіють об'єкти в певному кластері.

Кожен із цих підходів дозволяє отримати доступні, індивідуальні, а головне – високоякісні рекомендації для певних завдань прийняття рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Нині доступна велика кількість рекомендаційних систем, спроектованих відповідно до певного підходу. Формування системи рекомендацій починається з інформаційного аналізу елементів і користувачів, за яким виконується створення моделі користувача. У цієї моделі зберігається інформація, оброблена шляхом аналізу інформації, після чого модель використовується для генерації рекомендацій [1, с. 113].

Рекомендуючи елементи користувачам, важливо враховувати багато показників продуктивності, а не тільки точність прогнозів рекомендацій. Існують різні метрики для оцінки рекомендацій [2, с. 187].

Метрика різноманітності – це включення різних типів елементів, поданих у рекомендації для користувача, що відрізняються від попередніх уподобань. Різноманітність обчислюється за допомогою міри подібності стосовно списку елементів. Різноманітність у системах рекомендацій запроваджується для вирішення проблеми надмірності, яка протягом останніх кількох років стає темою, котру багато дослідників обговорюють в інформаційних публікаціях [3, с. 19; 4, с. 2445]. Крім того, застосування метрики різноманітності дозволяє задовольнити користувачів рекомендаціями із використанням диверсифікації [5, с. 176; 6, с. 154].

Міра випадковості – це міра того, як для користувача формуються несподівані або відповідні рекомендації. Випадковість обчислюється як різниця ймовірності елемента i , рекомендованої для користувача u , і ймовірності того, що елемент i буде рекомендований для будь-якого іншого користувача [7, с. 273; 8, с. 84].

Метрика новизни – це показник якості системи рекомендацій, завдяки якому оцінюється ефективність додавання нового елемента до списку рекомендацій. Недостатнє значення цього показника веде до низького ступеня диверсифікації [9, с. 1].

Велика кількість розроблених рекомендаційних систем є контент-орієнтованими [10, с. 176]. Тематична фільтрація формує рекомендацію на основі поведінки користувача, тобто ретроспективної інформації про те, які елементи обирав користувач, і характеристики цих елементів. Цей контент може бути визначений у ручному режимі або витягнутий автоматично на основі інших методів подібності [11, с. 3; 12, с. 1; 13, с. 524].

Таким чином, як показав аналіз, існує багато продуманих методів і метрик якості для реалізації й оцінювання контент-орієнтованих рекомендаційних систем для пошуку інформаційних елементів. Тому доцільне використання цього підходу для розробки методів і програмних засобів, націлених на підтримку самостійної навчально-пізнавальної діяльності.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення якості процесу вивчення музичних творів шляхом використання рекомендаційної системи, що дозволяє створювати власну траєкторію навчання з урахуванням поточного рівня гри

та музичних уподобань без залучення музичного ментора.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розроблювана рекомендаційна програмна система заснована на контент-орієнтованій фільтрації. Кожен користувач зіставляється з тим контентом, тобто музичними творами, які йому подобалися та були обрані для вивчення. Мета контент-орієнтованих методів – створити «профіль» для кожного користувача і кожного твору.

Найважливішу роль віграють атрибути творів (метадані), що використовуються для побудови списку рекомендацій. Серед таких атрибутів можна виділити такі: назву, жанр, композитора, складність, тривалість, національність стилю, ритм, часовий діапазон та ін. Крім того, можливо витягувати такі характеристики, як оцінка настроїв і оцінки TF-IDF з описів творів. TF-IDF (TF – term frequency, IDF – inverse document frequency) – це статистичний показник, що використовується для оцінки важливості слів у контексті документа, який є частиною колекції документів, у нашому випадку – описів музичних творів. Вага (значимість) слова пропорційна кількості вживань цього слова у документі й обернено пропорційна частоті вживання

слова в інших документах колекції. Оцінка TF-IDF відображає, наскільки важливе слово для опису твору в наборі описів. Попередньо машинний класифікатор навчається на колекції заздалегідь розмічених описів, а потім отримана модель використовується для аналізу нових описів. Для рекомендаційної системи це означає необхідність отримання та розмітки певної кількості описів для створення моделі аналізу, яка потім буде використовуватися для нових описів і визначати, чи рекомендувати той чи інший твір. Дані, що використовуються для навчання моделі, повинні бути повними та коректними [14, с. 91]. Якщо немає потрібної кількості таких даних, вирішується задача кластеризації [15, с. 376].

На рис. 1 показана узагальнена схема роботи системи. Вона передбачає: 1) типове використання програми, за якого зареєстрований користувач може отримувати нотні тексти згідно з його уподобаннями від рекомендаційної системи; 2) оцінювання роботи програми з наданням зворотної реакції щодо релевантності наданого рекомендаційного списку уподобанням користувача; 3) оформлення підписки на програмні оновлення для подальшого просування на ринку та монетизації програмного продукту; 4) відстеження про-



Рис. 1. Узагальнена схема роботи системи

дуктивності для забезпечення роботи системи з великою кількістю користувачів.

За типового використання програмної системи користувач обирає вікову категорію – дорослу чи дитячу – та переглядає список музичних творів. Щоб допомогти користувачеві орієнтуватися серед великої кількості творів, були розроблені фільтри, що дозволяють шукати твори за певними ознаками, наприклад, за жанром, автором (композитором), розділом тощо. Алгоритм фільтрації починається з формування запити до бази даних на вибірку всіх наявних у ній творів. Далі відбувається читання даних і відображення їх відповідно до обраних фільтрів. За бажанням користувача йому надається рекомендація щодо твору (рис. 2).

На рис. 3 показана діаграма роботи рекомендаційної системи. Спочатку користувач робить запит на рекомендацію відповідно до заданих ним вимог. Контролер перевіряє метадані й описи творів, наявні у базі даних, обчислює оцінки TF-IDF та створює відповідні вектори для користувача та творів. Далі система з використанням методу косинусної подібності обчислює подібності між користувачами та творами. Твори повинні бути рекомендовані користувачеві, якщо: 1) вони мають найбільшу схожість із користувачем або

2) мають велику схожість з іншими елементами, прочитаними користувачем.

Архітектура системи наведена на рис. 4. Вона містить: 1) сторінки сайту та їхні складові частини – компоненти; 2) серверну частину проекту на основі Apache, що опрацьовує запити клієнта; 3) рекомендаційну модель, яка кастомізується завдяки засобам машинного навчання у Python; 4) сервер бази даних MySQL і саму базу.

Висновки. У роботі проведено проектування рекомендаційної системи, що дозволяє обирати власну траєкторію навчання за самостійного опанування музичних творів. Система використовує принцип контент-орієнтованої фільтрації для побудови рекомендацій. Для оцінки точності методу фільтрації шляхом порівняння прогнозованих рейтингів безпосередньо з фактичним рейтингом користувачів використані такі статистичні метрики, як середня абсолютна помилка та середньоквадратична помилка. Застосування системи дозволить підвищити якість процесу навчання з наданням персональних онлайн-рекомендацій. Зворотній зв'язок дозволяє робити додаткове налаштування з метою відстеження відповідності встановленим метрикам для оцінки рекомендацій: різноманітності, випадковості, новизни.

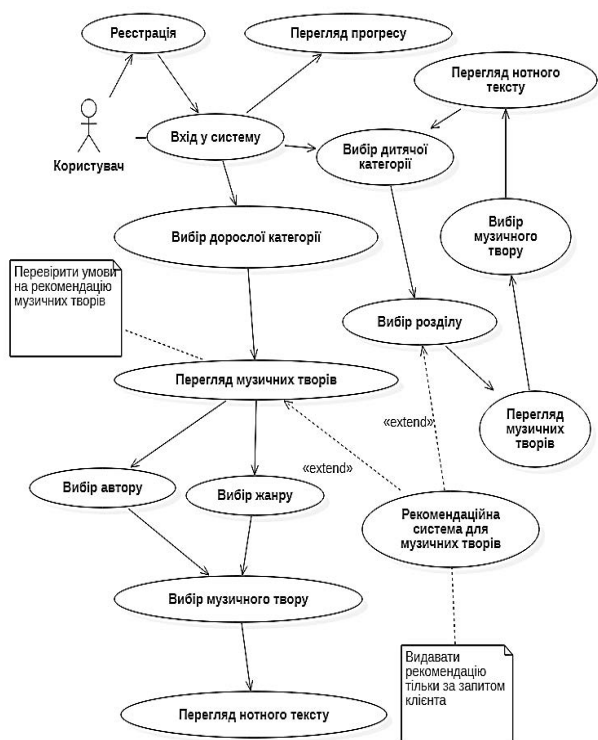


Рис. 2. Деталізація функціоналу рекомендаційної системи

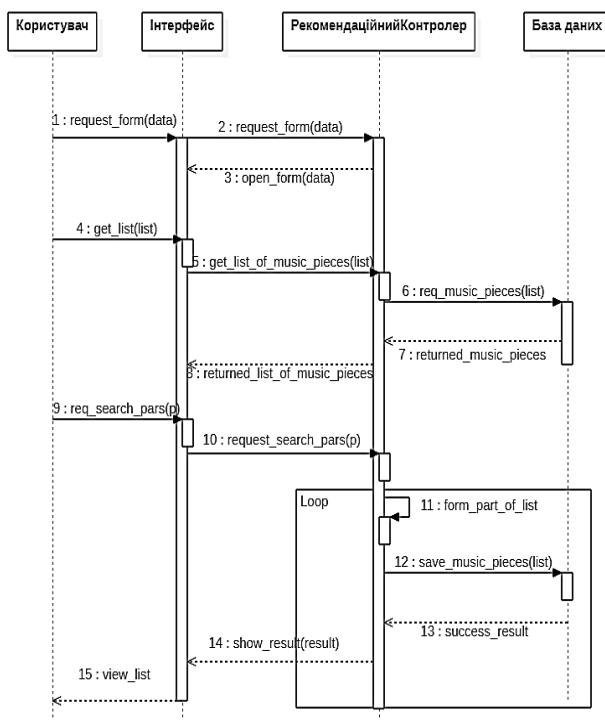


Рис. 3. Діаграма послідовності роботи рекомендаційної системи

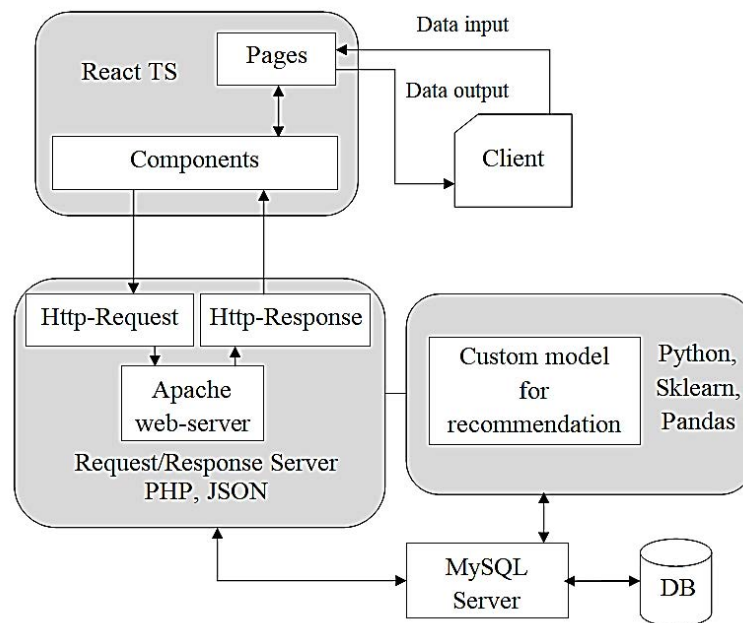


Рис. 4. Архітектура програмної системи

Список літератури:

1. Yadav N., Kumar R., Singh A., Pal S. Diversity in Recommendation System: Cluster Based Approach. *Hybrid Intelligent Systems*. 2020. P. 113–122.
2. Bag S., Abhijeet G., Manoj K.T. An integrated recommender system for improved accuracy and aggregate diversity. *Computers Industrial Engineering*. 2019. P. 187–197.
3. Yuan B. One-class Field-aware Factorization Machines for Recommender Systems with Implicit Feedbacks. *Technical Report. National Taiwan University*. 2019. 216 p.
4. Cho-Jui H., Nagarajan N., Inderjit D. PU Learning for Matrix Completion. *In Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning (ICML)*. 2015. P. 2445–2453.
5. Gantner Z., Drumond L., Freudenthaler C., Rendle S., Schmidt-Thieme L. Learning attribute-to-feature mappings for cold-start recommendations. *In Proceedings of the IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*. 2010. P. 176–185.
6. Kunaver M., Požrl T. Diversity in recommender systems – A survey. *Knowledge-Based Systems*. 2017. P. 154–162.
7. Twardowski B. Modelling contextual information in session-aware recommender systems with neural networks. *In Proceedings of the 10th ACM Conference on Recommender Systems*, ACM. 2016. P. 273–276.
8. Adomavicius G., Bockstedt J.C., Curley S.P., Zhang, J. Effects of online recommendations on consumers' willingness to pay. *Information Systems Research*. 2017. V. 29 (1). P. 84–102.
9. Javari A., Jalili M. A probabilistic model to resolve diversity – accuracy challenge of recommendation systems. *Knowledge and Information Systems*. 2014. P. 1–19.
10. Глибовец Н.Н., Сидоренко М.О. Создание рекомендационной системы учебного типа с использованием фреймворка. *Проблемы интеллектуализации компьютера : сборник статей. Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины*, 2012. С. 176–181.
11. Nath S., Chakrabartty S.N. Cosine similarity approaches to reliability of Likert scale and items. *Romanian journal of psychological studies*. 2018. P. 3–16.
12. Fletcher S., Zahidul I. Comparing sets of patterns with the Jaccard index. *Australasian Journal of Information Systems*. 2018. V. 22. P. 1–17.
13. Sama R., Thamarai L. A Survey on Recommender System in Learning Analytics. *Education Data mining*. 2020. P. 524–541.
14. Крисилов В.А., Комлевая Н.О. Анализ и оценка компетентности источников информации в задачах интеллектуальной обработки данных. *Международная научно-практическая конференция «Электротехнические и компьютерные системы: теория и практика» ELTECS-2019. Problemele energeticii regionale*. Вып. 1–1 (40). 2019. С. 91–104.
15. Komleva N., Liubchenko V., Zinovatnaya S. Methodology of information monitoring and diagnostics of objects represented by quantitative estimates based on cluster analysis. *Applied Aspects of Information Technology*. 2020. V. 3. P. 376–392.

Paulin O.M., Komleva H.O., Ulizko H.V. RECOMMENDATION SYSTEM FOR ASSISTANCE IN THE STUDY OF MUSICAL WORKS

Work in the field of creating recommendation systems can be both commercial and research in nature, and need to address a number of issues. The first question is to understand the place of the recommendation system in the business process and formalize the functionality that it must provide. This requires a clear understanding of the principles of each stage of the business task. The second issue is to define the principles for making recommendations. Traditionally, content-oriented methods, collaborative filtering and clustering are used to build recommendation systems. Of particular interest is the use of recommendation systems as an assistant in the independent acquisition of a new cognitive direction or the deepening of their own skills in any field of study. The aim of the work is to improve the quality of the process of studying musical works by using a recommendation system that allows you to create your own learning trajectory taking into account the current level of play and musical preferences without the involvement of a music mentor. The paper identifies methods for providing recommendations and metrics for assessing the relevance of these recommendations to the user's preferences. According to the typical use of the program, the user is provided with musical texts for his own mastery, which he views and saves in the current playlist, thus creating a fragment of the learning trajectory for the near future. Feedback is used to check the user's satisfaction with the provided list of works. The system uses TF-IDF estimates and the cosine similarity method to process vectors that define "profiles" for the user and music. From an architectural point of view, the developed system is web service that contains the server part of the project based on Apache, recommendation model based on Python language, Sklearn and Pandas libraries, MySQL database server and database for storing data.

Key words: recommendation system, content-oriented method, cosine similarity method, machine learning, model, metrics.

Повхан І.Ф.

Ужгородський національний університет

МОДЕЛІ ДЕРЕВ КЛАСИФІКАЦІЇ ПАВОДКОВИХ ЯВИЩ РІЧКИ УЖ ЗАКАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ

Робота присвячена виявленню простого й ефективного механізму, за допомогою якого можна будувати алгоритмічні дерева класифікації (моделі АДК) за фіксованою початковою інформацією у вигляді навчальної вибірки великого та надвеликого об'єму. Побудоване алгоритмічне дерево класифікації безпомилково класифікуватиме (розпізнаватиме) всю навчальну вибірку, за якою побудована модель, матиме мінімальну структуру (структурну складність) і складатиметься з компонентів – автономних алгоритмів класифікації та розпізнавання як вершин конструкції (атрибутів дерева).

Важливим моментом також є те, що концепція дерев класифікації не суперечить принциповій можливості як ознаки (вершини структури) дерева класифікації використовувати не тільки окремі атрибути (ознаки) об'єктів їх сполучення та набори, а й відбирати окремі незалежні алгоритми розпізнавання (оцінені за даними НВ), і на виході буде отримана нова структура – АДК. Запропонований метод побудови моделей АДК дозволяє працювати з навчальними вибірками великого об'єму різнотипної інформації та забезпечує високу швидкість та економність апаратних ресурсів у процесі генерації кінцевої схеми класифікації, будувати дерева класифікації з наперед заданою точністю. Пропонується синтез нових алгоритмів розпізнавання на основі бібліотеки (набору) вже відомих алгоритмів (схем) і методів. Тобто представлена ефективна алгоритмічна схема розпізнавання дискретних об'єктів на основі покрокової оцінки та вибору алгоритмів класифікації (узагальнених ознак) на кожному кроці синтезу схеми.

Одним із можливих напрямів застосування концепції алгоритмічних дерев класифікації є задачі, пов'язані із прогнозуванням і класифікацією паводкових явищ (на основі масивів метеорологічних і гідрологічних даних). Тому дослідження умов формування паводкових ситуацій у розрізі класифікації метеорологічних явищ за мінливих кліматичних умов є необхідним етапом для подальшого обґрунтування нових методик для розрахунків і прогнозів подолання кризових екологічних ситуацій. На базі запропонованої концепції алгоритмічних дерев класифікації побудована модель структури АДК, яка забезпечила класифікацію паводкових ситуацій для басейну річку Уж.

Ключові слова: дерево класифікації, алгоритмічне дерево, дискретний об'єкт, алгоритм розпізнавання, ознака.

Постановка проблеми. Задачі, які об'єднуються тематикою розпізнавання образів, дуже різноманітні та виникають у сучасному світі в усіх сферах економіки та соціального контенту діяльності людини, що приводить до необхідності побудови та дослідження математичних моделей відповідних систем. Нині не існує універсального підходу до їх розв'язання, запропоновано декілька досить загальних теорій і підходів, які дозволяють вирішувати багато типів (класів) задач, але їхнє прикладне застосування відрізняється великою чутливістю до специфіки самої задачі або предметної сфери застосування [1]. Багато теоретичних результатів отримано для спеціальних випадків і підзадач, причому слабким місцем вдалих реальних систем розпізнавання залишається необхідність виконання величезного об'єму обчислень та орієнтація на потужний апаратний інструментарій. Проте велика кількість прикладних задач у різних галузях природознавства, наприклад, у геології,

геофізиці, геохімії, медицині, соціології, археології, біології та ін., де вирішуються задачі класифікації з використанням програмних та апаратних систем, визначає інтенсивність та актуальність такого напряму досліджень [2–7]. Так, сьогодні відомо майже чотири тисячі методів та алгоритмів розпізнавання, які засновані на різноманітних підходах і концепціях, причому всі вони мають певні обмеження у використанні – точність, швидкодію, пам'ять. Важливо, що кожен із алгоритмів класифікації обмежений певною специфікою прикладних задач застосування (обмеження універсальності), що є найслабкішим місцем не тільки цих алгоритмів, але й інформаційних систем, які базуються на відповідних концепціях [6].

Нехай на деякій множині G дискретних об'єктів x задане розбиття R на скінчене число k підмножин (класів, образів) $H_i, (i=1, \dots, k)$, $G = \bigcup_{i=1}^k H_i$. Відповідні множини H_1, \dots, H_k будемо називати образами, а елементи множини

G – зображеннями або представниками образів H_1, \dots, H_k . Об'єкти (зображення) x задаються наборами значень деяких ознак $x_j, (j=1, \dots, n)$. Якщо $x \in H_i$, то будемо вважати, що цей об'єкт належить образу H_i . Загалом образи H_1, \dots, H_k можуть бути задані імовірнісними розподілами $p(H_1/x), \dots, p(H_k/x)$, де $p(H_i/x)$ – імовірність (або в неперервному випадку щільність імовірності) належності $x, (x \in H_i)$ образу H_i . Нехай умовою задачі задана деяка початкова НВ у вигляді послідовності навчальних пар такого вигляду:

$$(x_1, f_R(x_1)), \dots, (x_m, f_R(x_m)). \quad (1)$$

Причому крім початкової НВ задана також ТВ (тестова вибірка – набір об'єктів відомої класової належності) як деяка частина початкової НВ. Отже, за початковою умовою НВ – це сукупність (фіксована послідовність) деяких наборів (дискретних об'єктів), причому кожний набір – це сукупність значень деяких ознак (атрибутів) і значень деяких функцій розпізнавання (ФР) на цьому наборі. Тоді сукупність значень ознак – це деяке зображення (дискретний об'єкт), а значення функції (ФР) відносить це зображення до відповідного образу [3].

Отже, зазвичай стоїть загальна задача побудови моделі АДК із набором деяких параметрів p , структура L (дерева класифікації) якої була б оптимальною $F(L(p, x_i), f_R(x_i)) \rightarrow opt$ щодо початкових даних НВ (структури початкового масиву дискретних даних), причому нас цікавитиме побудова структур АДК для реальних навчальних вибірок метеорологічних даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наше дослідження продовжує цикл робіт, присвячених проблематиці деревоподібних схем розпізнавання (класифікації) дискретних об'єктів [2–5; 8–10]. У них піднімаються питання побудови, використання й оптимізації логічних дерев. Так, із [3] відомо, що результуюче правило класифікації (схема), яке побудоване довільним методом або алгоритмом розгалуженого вибору ознак, має деревоподібну логічну структуру. Логічне дерево складається з вершин (ознак), що групуються за ярусами й отримані на певному кроці (етапі) побудови дерева розпізнавання [6]. Важливою задачею, яка виникає з [8], є задача синтезу дерев розпізнавання, котрі будуть представлятися фактично деревом (графом) алгоритмів. На відміну від наявних методів, головною особливістю деревоподібних систем розпізнавання є те, що важливість окремих ознак (групи ознак чи алгоритмів) визначається відносно функції, яка задає розбиття

об'єктів на класи [12]. Так, у роботі [15] піднімаються принципові питання генерації дерев рішень для випадку малоінформативних ознак. Здатність структур ЛДК/АДК виконувати одномірне розгалуження для аналізу впливу (важливості, якості) окремих змінних дає можливість працювати зі змінними різних типів у вигляді предикатів (у випадку АДК – відповідними автономними алгоритмами класифікації та розпізнавання) [14]. Така концепція логічних дерев активно використовується в інтелектуальному аналізі даних, де кінцева мета полягає в синтезі моделі, яка прогнозує значення цільової змінної на основі набору початкових даних на вході системи [15].

Важливим моментом також є те, що концепція дерев класифікації не суперечить принциповій можливості як ознаки (вершини структури) дерева класифікації використовувати не тільки окремі атрибути (ознаки) об'єктів їх сполучення та набори, а й відбирати окремі незалежні алгоритми розпізнавання (оцінені за даними НВ). На виході буде отримана нова структура – АДК [14]. Саме структурам у практичній площині і буде присвячена наша робота.

Постановка завдання. Отже, з огляду на все вищесказане метою роботи буде отримання методу побудови структур АДК для класифікації паводкових явищ річки Уж (на основі оцінки та ранжування набору автономних алгоритмів розпізнавання та класифікації для генерації структури дерева класифікації, причому на кожному кроці розгалуження дерева класифікації апроксимується певна частина НВ (або її підмножина)).

Виклад основного матеріалу дослідження. За аналогією з методом апроксимації НВ набором оцінених елементарних ознак, поданим у роботі [3], представимо головну ідею методів алгоритмічних дерев класифікації, яка полягає в апроксимації масиву початкової НВ набором автономних різнотипних алгоритмів класифікації.

Загальна концепція методів АДК

Нехай на початку задана початкова НВ загального вигляду (1) як послідовність навчальних пар відомої класифікації (потужності m) та деяка система (набір) незалежних та автономних алгоритмів розпізнавання (класифікації) для початкової НВ $a_1(x), a_2(x), \dots, a_m(x)$. Введемо такі множини, які представляють розбиття даних НВ відповідними алгоритмами класифікації a_i :

$$G_{a_1, \dots, a_i} = \{x \in G / a_i(x) = 1\}, (i=1, \dots, n). \quad (2)$$

Для спрощення пояснень кожний з автономних алгоритмів класифікації $a_i(x)$ генерує на виході

значення лише в межах бінарної множини $\{0,1\}$, тобто тут $a_i(x)=1$ у разі вдалої класифікації об'єкта x та $a_i(x)=0$ у протилежному випадку.

Система множин G_{a_1, \dots, a_i} фактично представлятиме повне поетапне розбиття множини G (зі зростання величини i – тобто задіяних алгоритмів класифікації), яке реалізується незалежними алгоритмами a_1, a_2, \dots, a_M . Залежно від початкового обрання набору алгоритмів класифікації a_1, a_2, \dots, a_M деякі з множин G_{a_1, \dots, a_i} можуть бути пустими (випадок непридатності одного конкретного або декількох алгоритмів для апроксимації поточної НВ).

Через величину S_{a_1, \dots, a_i} позначимо кількість входжень у початкову НВ тих пар навчальних $(x_s, f_R(x_s))$, $(1 \leq s \leq m)$, які задовольняють базову умову належності $x_s \in G_{a_1, \dots, a_i}$. Відповідно, через величину S_{a_1, \dots, a_i}^j , $j=0,1, \dots, k-1$ позначимо кількість входжень у НВ тих пар $(x_s, f_R(x_s))$, $(s=1,2, \dots, m)$, які задовольняють умови $x_i \in G_{a_1, \dots, a_i}$ та $f_R(x_s)=j$. Отже, з огляду на вищесказане та за аналогією до методів селекції наборів елементарних ознак [12] можна ввести такі величини, які доцільно розглядати як певний критерій розгалуження у структурі АДК:

$$\delta_{a_1, \dots, a_i} = \frac{S_{a_1, \dots, a_i}}{m}, \psi_{a_1, \dots, a_i}^j = \frac{S_{a_1, \dots, a_i}^j}{S_{a_1, \dots, a_i}}, \rho_{a_1, \dots, a_i} = \max_j \psi_{a_1, \dots, a_i}^j. \quad (3)$$

Зауважимо, що, якщо об'єкт $x_s \notin G_{a_1, \dots, a_i}$ для всіх $s=1, \dots, m$, тоді зрозуміло, що δ_{a_1, \dots, a_i} та $\psi_{a_1, \dots, a_i}^j = 0$, при $(j=0,1, \dots, k-1)$. Величина δ_{a_1, \dots, a_i} характеризує частоту входжень членів послідовності x_1, x_2, \dots, x_m (дискретних об'єктів) у множину G_{a_1, \dots, a_i} , а відповідно, величина ψ_{a_1, \dots, a_i}^j характеризує частоту належності об'єкту деякого x образу (класу) H_j за умови, що $x \in G_{a_1, \dots, a_i}$. Тут слід зауважити, що умова $x \in G_{a_1, \dots, a_i}$ еквівалентна умові, що в послідовності алгоритмів a_1, \dots, a_i знайдеться такий алгоритм a_y , що $a_y(x)=1$. Тоді величина δ_{a_1, \dots, a_i} характеризує інформаційну ефективність розпізнавання належності деякого об'єкта x до одного з класів H_0, H_1, \dots, H_{k-1} звичайно, за умови, що $x \in G_{a_1, \dots, a_i}$. На наступному етапі знову виникає принципове питання щодо належності об'єкта x класам H_0, H_1, \dots, H_{k-1} (питання формування правила класифікації). Зрозуміло, що тут також слід віднести об'єкт x до того класу H_j , для якого виконується просте співвідношення:

$$\rho_{a_1, \dots, a_i} = \psi_{a_1, \dots, a_i}^j. \quad (4)$$

Зауважимо, що тут $\{0 \leq j \leq k-1\}$, а співвідношення (4) представляє деяке правило класифікації, причому зрозуміло, що чим більше величина ρ_{a_1, \dots, a_i} , тим вища його ефективність. Оскільки

єдиною інформацією, яка представляє розбиття образів H_0, H_1, \dots, H_{k-1} , є початкова НВ, під класом H_j розуміється сукупність всіх навчальних пар $(x_s, f_R(x_s))$ НВ, які задовольняють співвідношення $f_R(x_s)=j$, тобто умову належності. Аналогічно середня ефективність розпізнавання набору образів H_0, H_1, \dots, H_{k-1} , що задані даними НВ за допомогою алгоритмів розпізнавання $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ оцінюється такою величиною:

$$F_S(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n) = \sum_{a_1, \dots, a_i} \delta_{a_1, \dots, a_i} * \rho_{a_1, \dots, a_i}. \quad (5)$$

Отже, величину $F_S(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ можна вважати оцінкою апроксимації початкової НВ за допомогою набору незалежних алгоритмів класифікації $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$. З огляду на саму ідею алгоритмічного дерева класифікації представлену вище величину $F_S(\alpha_1, \dots, \alpha_n)$ можна отримати ще з таких міркувань – функцією розпізнавання F назвемо деяке відображення, яке кожному набору a_1, \dots, a_i ставить у відповідність деякий елемент множини $\{0,1, \dots, k-1\}$ (тобто відповідний номер класу). Таким чином, ФР F представляє функцію вигляду $F(a_1, \dots, a_i)$, де a_1, \dots, a_i приймають значення із множини $\{0,1\}$. Відповідно, ФР $F(a_1, \dots, a_i)$ об'єкт x , $(x \in G)$ однозначно належить до того класу (образу) H_j , $(0 \leq j \leq k-1)$, для якого виконується співвідношення:

$$F(a_1, \dots, a_i) = l, (0 \leq l \leq k-1). \quad (6)$$

Експериментальна частина

Одним із можливих напрямів застосування концепції алгоритмічних дерев класифікації є задачі, пов'язані із прогнозуванням і класифікацією паводкових явищ (на основі масивів метеорологічних і гідрологічних даних). Відомо, що паводкові явища завдають величезної шкоди як економічному, так і екологічному сектору народного господарства: затоплюють і виводять із господарського обороту сільськогосподарські угіддя, підтоплюють населені пункти, руйнують житлові будинки та промислові підприємства, греблі, шосе та залізниці, трапляються і людські жертви, що надзвичайно актуально для Закарпатського регіону. Тому дослідження умов формування паводкових ситуацій у розрізі класифікації метеорологічних явищ за мінливих кліматичних умов є необхідним етапом для подальшого обґрунтування нових методик для розрахунків і прогнозів подолання кризових екологічних ситуацій. Відзначимо, що режим поверхневого водного стоку басейну річки Уж характеризується значною територіальною нерівномірністю, зумовленою кліма-

тичними, температурними факторами та впливом гірських масивів Карпат, які мають визначальний вплив для формування сезонних стоків. Для аналізу умов і причин формування паводкових явищ на річці Уж Закарпатської області в осінньо-весняний період використовувалися дані двох гідрологічних (спостережних) постів із періодом моніторингу від початку 1992 і по 2010 р. включно (на ділянці спостереження 30 км). За водним режимом річку Уж можна віднести до річок із паводковим режимом Карпатського підтипу, де паводкові ситуації спостерігаються переважно в осінньо-весняний період. Зазвичай такі паводкові ситуації називають паводками холодного періоду, причому вони спостерігаються в період із жовтня-листопада по квітень-травень. Зрозуміло, що з поправкою на сучасні кліматичні зміни межі теплого і холодного періодів не є постійними з року в рік, в основу визначення їхнього початку і кінця були покладені базові метеорологічні умови (температура повітря, види атмосферних опадів і стан снігового покриву). Початкові параметри цієї прикладної задачі класифікації паводкових явищ річки Уж представлені в табл. 1. Загальна модель паводкового явища описується на основі 18 ознак (атрибутів), які мають різну природу та формуються на основі багаторічних спостережень басейну річки Уж. На основі набору представлених гідрографічних характеристик в Ужгородському національному університеті були побудовані моделі класифікації паводкових явищ для річки Уж за період 1992–2010 у вигляді структур АДК. Для побудови моделей дерев класифікації використовувалася ПС «Оріон III» для генерації автономних систем розпізнавання та класифікації, де алгоритмічна бібліотека системи нараховує 15 алгоритмів (методів і схем розпізнавання). Так, НВ складалася з об'єктів (кожен із яких описується 18 ознаками) трьох базових класів, а на етапі екзамени побудована система класифікації (модель АДК) має забезпечити ефективне розпізнавання об'єктів невідомої класифікації щодо цих трьох класів. Загальні параметри (характеристики) побудованих структур (моделей АДК) представлені в табл. 2.

На початковому етапі роботи програмної системи навчальна вибірка була автоматично перевірена на коректність (пошук і видалення однакових об'єктів різної належності – помилки першого роду). Зауважимо, що в масиві початкової навчальної інформації переважали навчальні пари класу H_3 (об'єкти ситуаційного стану нейтральної зони, зеленого маркеру), на другому місці зі значним відривом за кількістю знаходилися навчальні пари класу H_2 (об'єкти ситуаційного стану спостережної зони, жовтого маркеру), на третьому – безпосередньо навчальні пари паводкових явищ (об'єкти червоного маркеру) класу H_1 . Потужність класу H_2 незначно переважає потужність класу H_1 , це пояснюється динамікою зміни паводкової ситуації в часі, яка може повертатися до нормального стану (нейтральної зони) – явищ класу H_3 , а здебільшого переходить у кризовий стан (червону зону паводкового явища) класу H_1 . Масив НВ складався із 8 391 об'єкта (набору відомої класифікації) для двох пунктів моніторингу на ділянці міста Ужгород, причому ефективність сконструйованої системи розпізнавання оцінювалася на тестовій вибірці об'єму 500 об'єктів на кожний із постів спостереження, причому масив ТВ становив відокремлену частину початкової НВ (складався з дискретних об'єктів відомої класифікації).

Важливим моментом є аналіз критеріїв якості отриманих інформаційних моделей, які залежать від похибки моделі, потужності початкового масиву даних НВ та ТВ (кількість навчальних пар і розмірність ознакового простору задачі), кількості структурних параметрів моделі і т. д. Зрозуміло, що критично важливими параметрами побудованої моделі АДК, котрі необхідно мінімізувати, є помилки моделі на масивах даних НВ, ТВ та для кожного із класів (частин, підмножин початкової НВ), які задані початковою умовою поточної прикладної задачі. Одним із найважливіших показників, що характеризує базові властивості отриманих моделей АДК, є базовий показник узагальнення даних початкової НВ деревом класифікації (моделлю класифікації), який розраховується таким чином:

Таблиця 1

Початкові параметри задачі класифікації паводкових явищ басейну річки Уж

Номер поста спостереження, №	Розмірність ознакового простору – N	Потужність масиву даних початкової НВ – M	Потужність масиву даних ТВ – S	Загальна кількість класів за розбиттям даних НВ – l	Відношення об'єктів різних класів НВ ($H_1 / H_2 / H_3$)
1	18	4252	500	3	73/102/4107
2	18	4139	500	3	68/97/3974

$$I_{Main} = \frac{m * O_{Uz}}{Fr_{All} + V_{All} + N_{All} + 2P_{All}} \quad (9)$$

Цей показник узагальнення моделі дерева класифікації (структури АДК) відображає його базові параметри (характеристики) дерев класифікації та може бути застосований як критерій оптимальності у процедурі оцінки довільної деревоподібної схеми розпізнавання. Для довільної прикладної задачі важливо максимізувати параметр I_{Main} (показник узагальнення моделі АДК), що дозволяє добитися найбільш оптимальної структури дерева (моделі) класифікації та забезпечує фактично максимальний стиск даних початкової НВ (представити масив початкових даних мінімальним за структурною складністю деревом) [28]. Важливим показником якості побудованої моделі у вигляді дерева класифікації з урахуванням параметрів структури моделі АДК є загальний інтегральний показник якості, представлений у формі:

$$Q_{Main} = \frac{Fr_{All}}{O_{Uz} * \sum p_i} * e^{-\frac{Er_{All}}{M_{All}}} \quad (10)$$

У цих функціоналах (9–10) параметри мають таку інтерпретацію:

Er_{All} – загальна кількість помилок моделі АДК на масивах даних початкових тестової та навчальної вибірки – $Er_{All} = En_{tr} + Et_{tr}$;

M_{All} – загальна потужність цих двох масивів даних – $M_{All} = m + T$, де m та T відповідні потужності НВ та ТВ;

Fr_{All} – характеризує загальну кількість вершин отриманої моделі АДК із результируючими значеннями f_R (ФР, тобто листів дерева класифікації);

O_{Uz} – представляє загальну кількість всіх узагальнених ознак (наборів УО) у структурі моделі АДК;

V_{All} – представляє загальну кількість всіх типів вершин (крім результируючих ФР) у структурі моделі АДК;

N_{All} – загальна кількість різних автономних алгоритмів класифікації, що використовуються в моделі дерева класифікації;

P_{All} – загальна кількість переходів між вершинами (ярусами) у структурі побудованої моделі дерева класифікації.

Набір параметрів p_i для інтегральної оцінки якості моделі дерева класифікації становить найбільш важливі характеристики дерева класифікації (відповідно до структур ЛДК/АДК), що оцінюється (наприклад, кількість елементарних ознак або узагальнених ознак, які використовуються в моделі дерева класифікації, кількість переходів між вершинами, ярусами дерева класифікації тощо).

Висновки. Побудовані дерева класифікації (моделі АДК) забезпечили необхідні якість і швидкість схем класифікації паводкових явищ

Таблиця 2

Порівняльна таблиця моделей дерев класифікації (структур АДК) класифікації паводкових явищ річки Уж (постів № 1–2)

№	Метод (схема) синтезу структури (моделі) дерева класифікації (ЛДК/АДК)	Інтегральний показник якості моделі дерева класифікації Q_{Main}	Загальна кількість помилок моделі на НВ та ТВ Er_{All}
1	Метод повного АДК (тип I) (кількість алгоритмів – 5, обмеження на послідовне використання по одному алгоритму)	0,005821 0,005845	0 0
2	Метод повного АДК (тип II) (кількість алгоритмів – 5, обмеження на кількість генерацій УО на один крок побудови АДК)	0,004778 0,004712	0 0
3	Обмежений метод АДК (Z=10) (кількість алгоритмів – 1, алг. гіперсфер)	0,004464 0,004389	0 0
4	Обмежений метод АДК (Z=5) (кількість алгоритмів – 1, алг. гіперкуба)	0,004387 0,004228	12 13
5	Обмежений метод АДК (Z=3) (кількість алгоритмів – 1, алг. гіперпаралелепіпеда)	0,004256 0,004354	6 6
6	Обмежений метод АДК (Z=3) (кількість алгоритмів – 1, алг. гіпереліпса)	0,005582 0,005645	1 0
7	Метод повного АДК (тип I) (кількість алгоритмів – 2, алг. гіперсфер, алг. гіперкуба)	0,005790 0,005801	0 0

річки Уж за достатньо компактною структурою самої конструкції дерева. Набори незалежних алгоритмів класифікації, які були відібрані для генерації груп УО, також підтвердили свою ефективність у межах цієї прикладної задачі. Можливим шляхом подальших досліджень може бути розширення переліку алгоритмів класифікації у схемі АДК, а також додаткові умови й обмеження щодо генерації наборів УО для кожного кроку схеми дерева класифікації (структури АДК). Представлені моделі дерев класифікації можна застосовувати для оцінки загального стану басейну річки Уж (на ділянці спостереження) та виявлення ситуації червоної (паводкової) зони на основі поточних замірів постів спостережень.

Відзначимо, що проведені практичні випробування структур (моделей) АДК підтвердили працездатність математичного забезпечення та запропонованих методів та алгоритмів побудови АДК, розробленого програмного забезпечення, що дозволяє зробити рекомендацію щодо використання цього підходу (концепції моделей АДК) та його програмної реалізації для широкого спектру прикладних задач класифікації та розпізнавання у практичній площині. Єдиним прин-

циповим моментом, на який треба зважати при генерації моделей АДК, є те, що зазвичай витрати робочої пам'яті та процесорного часу інформаційної системи є значно більшими порівняно зі структурами (моделями) ЛДК, причому значною мірою це залежить від особливостей реалізації алгоритмів розпізнавання (класифікаторів), кількості алгоритмів у схемі АДК, схеми (типу моделі) структури АДК, яка генерується.

Отже, з огляду на все вищесказане перспективним напрямом розв'язку задачі класифікації ситуаційного стану річки Уж може бути також застосування методів, алгоритмів і схем побудови моделей ЛДК із можливістю їх порівняння (ефективності, структурної складності та швидкодії класифікації) з побудованими структурами (моделями) АДК, розширення об'єму бібліотеки алгоритмів розпізнавання (класифікаторів), оптимізації програмних реалізацій запропонованих у цьому дослідженні методів побудови АДК (за взірць такої ефективної програмної оптимізації можна взяти еволюційний перехід від алгоритму C4.5 до C5.0), а також практичної апробації побудованих моделей дерев класифікації на множині даних НВ більшої кількості постів спостереження басейну річки Уж.

Список літератури:

1. Zheng Z., Kohavi R., Mason L. Real world performance of association rule algorithms. *Proceedings of the Seventh ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* / ed. by F. Provost, R. Srikant. 2001. P. 401–406.
2. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Ващук Ф.Г., Повхан І.Ф. Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі метода розгалуженого вибору ознак. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2004. № 7 [1]. С. 13–15.
3. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Ващук Ф.Г., Повхан І.Ф. Метод розгалуженого вибору ознак в математичному конструюванні багаторівневих систем розпізнавання образів. *Штучний Інтелект*. 2003. № 7. С. 246–249.
4. Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю., Ващук Ф.Г., Повхан І.Ф. Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2011. № 6 / 4 (54). С. 24–28.
5. Повхан І.Ф., Ващук Ф.Г. Загальна оцінка мінімізації деревоподібних логічних структур. *European Journal of Enterprise Technologies*. 2012. № 1 / 4 (55). С. 29–33.
6. Quinlan J.R. Induction of Decision Trees. *Machine Learning*. 2008. № 1. P. 1–81.
7. Vtoghoff P.E. Incremental Induction of Decision Trees. *Machine Learning*. 2009. № 4. P. 161–186.
8. Повхан І.Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об'єктів. *Вчені записки Таврійського національного університету. Серія: технічні науки*. 2018. Т. 29 (68). № 6. С. 217–222.
9. Povhan I. General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. *Електроніка та інформаційні технології*. 2019. Вип. 11. С. 112–117.
10. Povhan I. Generation of elementary signs in the general scheme of the recognition system based on the logical tree. *Електроніка та інформаційні технології*. 2019. Вип. 12 С. 20–29.
11. Srikant R., Agrawal R. Mining generalized association rules. *Future Generation Computer Systems*. 1997. Vol. 13. № 2. P. 161–180.
12. Povhan I. Designing of recognition system of discrete objects. *2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, Ukraine*. Lviv. P. 226–231.
13. Mitchell T. *Machine learning*. New York : McGraw-Hill, 1997. 432 p.

14. Povkhan I.F. Features of synthesis of generalized features in the construction of recognition systems using the logical tree method. *Information technologies and computer modeling ITKM-2019* : materials of the international scientific and practical conference, Ivano-Frankivsk, May 20–25, 2019. Ivano-Frankivsk, 2019. P. 169–174.
15. Subbotin S.A. Methods of sampling based on exhaustive and evolutionary search. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2013. Vol. 47. № 3. P. 113–121.
16. Povhan I. Question of the optimality criterion of a regular logical tree based on the concept of similarity. *Electronics and information technology*. 2020. Vol. 13. P. 12–16.
17. Miyakawa M. Criteria for selecting a variable in the construction of efficient decision trees. *IEEE Transactions on Computers*. 1989. Vol. 38. № 1. P. 130–141.

Povkhan I.F. MODELS OF TREES FOR CLASSIFICATION OF FLOOD EVENTS OF THE UZH RIVER IN THE TRANSCARPATHIAN REGION

The paper is devoted to the identification of a simple and effective mechanism that can be used to build algorithmic classification trees (ACT models) based on fixed initial information in the form of a large and ultra-large sample. An algorithmic classification tree is constructed. it will accurately classify (recognize) the entire training sample that the model is based on, have a minimal structure (structural complexity), and consist of components of Autonomous classification and recognition algorithms as construction vertices (tree attributes).

The important point is that the concept of classification trees is not contrary to the principle of signs (vertex structure) of a classification tree to use not only individual attributes (characteristics) of objects, their combinations and sets, but if you go ahead and not be considered as a branching object attributes (characteristics) and select independent algorithms (measured according to TS) then the output will be a new structure of ACT. The proposed method for constructing ACT models allows you to work with training samples of a large amount of different types of information and provides high speed and economy of hardware resources in the process of generating the final classification scheme, build classification trees with a predetermined accuracy. We propose an approach for synthesizing new recognition algorithms based on a library (set) of already known algorithms (schemes) and methods. In other words, we present an effective algorithmic scheme for recognizing discrete objects based on step-by-step evaluation and selection of classification algorithms (generalized features) at each step of the scheme synthesis.

One of the possible areas of application of the concept of algorithmic classification trees is problems related to the prediction and classification of flood events (based on arrays of meteorological and hydrological data). Therefore, the study of conditions for the formation of flood situations in the context of classification of meteorological phenomena under changing climatic conditions is a necessary stage for further substantiation of new methods for calculations and forecasts of overcoming environmental crisis situations. Based on the proposed concept of the classification tree algorithm, a model of the ACT structure was constructed, which provided classification of flood situations for the Uzh river basin.

Key words: *classification tree, algorithmic tree, discrete object, recognition algorithm, attribute.*

УДК 378:004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/18>

Сікора О.В.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Вдовичин Т.Я.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

Козут У.П.

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В ПЕДАГОГІЧНОМУ УНІВЕРСИТЕТІ

Основним завданням інформатизації освіти є використання комп'ютерних програм у навчальному процесі. Швидкий розвиток ІКТ, перехід до нової української школи немислимий без використання програмованого та дистанційного навчання в освітньому процесі. Поєднання різних форм навчання призводить до кращого засвоєння матеріалу, поглиблення знань із предмету, трансформації набутих вмінь до інших предметів, формуванню у студентів ІКТ-компетентності для використання у майбутній професійній діяльності.

Успішна реалізація різноманітних проектів, зокрема бухгалтерських програм, мобільних та ігрових додатків, ґрунтується на об'єктно-орієнтованому програмуванні. Особливої актуальності сьогодні набуває проблема розробки, створення та впровадження комп'ютерних освітніх програм, які сприяють адаптації до життя в інформаційному суспільстві. Програмоване навчання для студента розкриває широкі можливості, адже дозволяє опрацьовувати навчальний матеріал у зручний для нього час, проводити контрольний зріз знань в індивідуальному темпі, тим самим адаптуючи процес навчання до конкретного користувача.

Стаття присвячена розробці та впровадженню системи комп'ютерної підтримки процесу навчання, що використовується у підготовці майбутнього вчителя інформатики. Для розробки навчальної програми обрано візуальне середовище системи Delphi. Програмне середовище адаптоване під потреби користувача з можливістю конструювання діалогових вікон і написання функцій певних подій. У статті продемонстровано створення навчальної програми з можливістю опрацювання теоретичних відомостей та організації контролю знань студентів у середовищі програмування Delphi. Зокрема, поетапно викладено процес тестування, де студент має можливість обрати тему для перевірки знань, задавши контактну інформацію та встановивши за необхідності час проходження тесту.

Ключові слова: програмний продукт, середовище програмування Delphi.

Постановка проблеми. Комп'ютерні технології породжують нові форми та методи навчання. Дедалі більше на заняттях використовуються програмні засоби, які можуть застосовуватися окремо або ж разом із традиційними методами навчання. Кожна така програма має розроблятися, враховуючи дидактичні підходи до вивчення матеріалу. Обов'язковим компонентом програми має бути мета та доцільність її використання. Також необхідно врахувати педагогічну ефективність розробленого програмного забезпечення. Поруч із ефективністю на перший план висуваються також інші важливі характеристики програм: зрозумілість, надійність, гнучкість, зручність супроводження.

Наявність комп'ютера на занятті не вирішує проблеми освітнього процесу. Для цього потрібне програмне забезпечення, розроблені навчальні

комплекси, методичні матеріали та кваліфікований педагог, здатний все об'єднати в єдине ціле і дати глибокі знання студенту, вміння та навички практичного використання.

Процес інформатизації освіти полягає у використанні у навчальному процесі не лише комп'ютерів, але і програмних продуктів, які сьогодні є дорогими. Тому створення таких навчальних систем, котрі б використовував студент для навчання у своєму темпі та зручний для нього час, є актуальним. Програмоване навчання відображене в розробці та застосуванні навчально-контролюючих програм.

Сучасний студент досконало володіє комп'ютером, тому не важко адаптувати його до чогось нового. Темп вивчення у кожного студента різний, тому доцільно використовувати програмоване навчання для вивчення складного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Програмоване навчання розкрито у дослідженнях американських вчених Б. Скінера [2] та Н. Клаудера. Помітний внесок у розвиток програмованого навчання зробив В. Беспалько [4], а також В. Гальперін, Л. Ланда [6], А. Матюшкін, Н. Тализіна [8], В. Глушков та ін.

З можливостями середовища об'єктно-орієнтованого програмування Delphi й основами роботи в ньому можна ознайомитися у працях А. Архангельського [3], В. Фаронова [9], В. Попова [7], Н Кульгіна [5] та ін.

Постановка завдання – створення та застосування навчально-контролюючої програми для підтримки освітнього процесу й аналіз доцільності застосування програмованого навчання для підготовки майбутнього вчителя інформатики в педагогічному університеті.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктно-орієнтоване програмування сьогодні визнане серед програмістів. За його допомогою розробляються проекти фірм, організацій, бухгалтерські програми, ігрові додатки та ін. Широко використовується візуальне програмування і для навчальних цілей. У середовищі об'єктно-орієнтованого програмування розроблено ряд програм навчального характеру, однак із часом вони старіють. Інколи матеріал навчальної програми виходить за рамки практичного використання, тому щоразу необхідно поповнювати архів навчальних програм, враховуючи розвиток ІКТ і сучасні потреби в організації освітнього процесу.

Обираючи середовище для створення проекту навчально-контролюючої програми, користувач повинен володіти базовими конструкціями роботи у ньому та знати його переваги та недоліки.

Для розробки навчальної програми, яка сприятиме вивченню окремих тем програмування, вибрано візуальне середовище системи Delphi, технологія роботи у якому базується на ідеях об'єктно-орієнтованого та візуального програмування. Середовище розробки бере на себе більшу частину рутинної роботи, залишаючи користувачеві конструювання діалогових вікон і написання функцій обробки подій.

Навчальна програма побудована за модульним принципом. Це означає, що загалом програма є системою, яка складається з кількох підпрограм – модулів. Модуль – це програмна одиниця, текст якої компілюється автономно від решти програм. Модуль включає визначення констант, типів даних, змінних, процедур і функцій. У Delphi кожен модуль пов'язаний з одним екземпляром

компонента екранної форми. Екранна форма – це візуальний компонент, котрий є універсальним контейнером для всіх типів об'єктів компонент, присутніх у бібліотеці VCL. В екранну форму можна вставити будь-який візуальний компонент-об'єкт на екрані, такий як кнопка, меню та ін. Кожен із цих об'єктів і сама екранна форма мають певну кількість властивостей, методів і підтримують ряд подій.

Проектуючи комп'ютерна програма повинна складатися з таких модулів, як: головний; вивчення навчального матеріалу; тестування; опрацювання результатів тестування. Взаємодія між розділами може здійснюватися за допомогою кнопок, пунктів меню й автоматично в ході роботи програми. Головний модуль програми повинен бути «диспетчером» для всіх інших програмних модулів, адже здійснює функції керування роботою всієї програми. До складу такої екранної форми може входити:

- головне меню програми, реалізоване за допомогою компонента MainMenu або мітки класу Tlabel чи кнопки класу Tbutton;

- компонент Image для зображення рисунка.

Меню навчальної програми призначене для реалізації діалогового режиму, метою якого є надання користувачу можливості вибору навчальної теми для теоретичного вивчення, проходження тестування, перегляду результатів тестування та завершення роботи із програмою (рис. 1). Вибір опції меню здійснюється за допомогою миші або клавіш переміщення курсора.

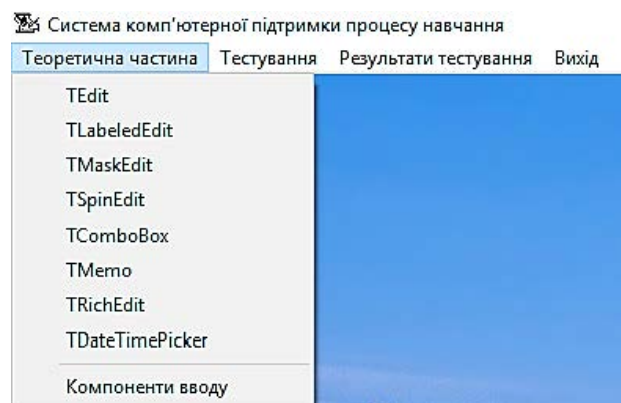


Рис. 1. Головна форма

Модуль вивчення теоретичного матеріалу є основним програмним засобом організації каналу прямого зв'язку зі студентом у процесі навчальної взаємодії «студент – комп'ютер», метою якого є порційна подача навчального матеріалу теми й організація пізнавального процесу.

Підготовлений файл теоретичного матеріалу можна представити за допомогою елемента

управління WebBrowser, який дозволяє відображати веб-сторінки у клієнтських додатках Windows Forms або, відключивши функціональні можливості Internet Explorer, використовувати елемент управління як простий засіб перегляду документа HTML. Щоб підключити файл у форматі HTML, достатньо написати:

```
webbrowser1.Navigate(widestring(ExtractFilePath(Application.ExeName)+'Index.htm'));
```

де *Index.htm* – ім'я файла, який завантажуюмо.

Якщо файл знаходиться не в біжучій папці, а в іншій папці, тоді необхідно записати повний шлях до файла.

Компоненти Memo і RichEdit є вікнами редагування багаторядкового тексту, які, як і вікно Edit, мають багато функцій, зокрема комбінації «гарячих» клавіш. У компоненті Memo формат (шрифт, його атрибути, вирівнювання) однаковий для всього тексту і визначається властивістю Font. Загрузка у вікно Memo1 тексту із файла може задаватися командою: *Memo1.Lines.LoadFromFile('F_RichEdit.txt')*.

Компонент RichEdit працює із текстом у форматі RTF. Якщо потрібно змінити атрибути тексту, що вводиться, необхідно задати значення властивості SelAttributes (Color (колір), Name (ім'я шрифту), Size (розмір), Style (стиль) та ін. Фрагмент програмного коду виводу теоретичного матеріалу у форматі RTF продемонстровано на рис. 3.

На формі виводу теоретичного матеріалу доцільно розмістити кнопки (рис. 4):

1) «Головна форма», яка припиняє вивчення навчального матеріалу та забезпечує повернення до головної форми.

2) «Шрифт», що викликає діалогове вікно зміни параметрів шрифту для виділеного фрагмента.

3) «Приклад», яка показує візуальне зображення компонента та його практичне застосування.

4) «Тестування», що дозволяє перейти до режиму проходження тестів.

За бажанням розробника модуля можуть бути відсутні окремі кнопки або додані нові компоненти.

```

146  const
147  filenameel='F_RichEdit.htm';
148  var
149  url:widestring;
150  begin
151  url:=extractfiledir(application.exename)+'\'+filenameel;
152  Form3. webbrowser1.navigate {url};
153  Form3.Show;
154  end;
155
    
```

Рис. 2. Програмний код виводу тексту файла за допомогою компонента webbrowser

```

144
145  procedure TForm1.RichEdit3Click(Sender: TObject);
146  begin
147  n_m:=7;
148  n_f:='F_RichEdit.rtf';
149  Form3.Show; //теоретичний матеріал
150  Form1.Visible:=False; //приховати дану форму
151  end;
152
    
```

Рис. 3. Програмний код виводу RTF файла із меню за допомогою компонента RichEdit

Перехід до тестування повертає на форму, де користувач зобов'язаний вибрати тему для перевірки знань, задати інформацію про себе та за необхідності встановити таймер. Тестування передбачає питання та варіанти відповідей, одна з яких є правильною. Студент, проходячи тестування, активізує за допомогою опції одну із відповідей, яку вважає правильною. Модуль тестування призначене для проведення контролю рівня засвоєння знань і фактично є програмною реалізацією каналу зворотного зв'язку у навчальній взаємодії «студент – комп'ютер» (рис. 5).

До складу екранної форми тестування входить: екземпляр компонента RichEdit, що служить для виводу тексту тестового завдання; екземпляр компонента RadioGroup для виводу на екран чотирьох

варіантів відповідей, одна з яких є правильною; екземпляр компонента SpeedButton для переходу на наступне запитання; екземпляр компонента Label для відображення текстової інформації.

Запитання беруться з файлу тестів, що відповідає навчальній темі та видаються на екран. Студент зобов'язаний вибрати одну правильну відповідь із чотирьох запропонованих (рис. 6).

Після того, як на екран було видане останнє запитання й отримано відповідь, управління автоматично передається модулю опрацювання результатів тестування. Масив питань qq[i] і варіанти відповідей aa[i] формуються читанням із файлу. На рис. 7 подано програмний код проектування форми тестування.



Рис. 4. Теоретичні відомості

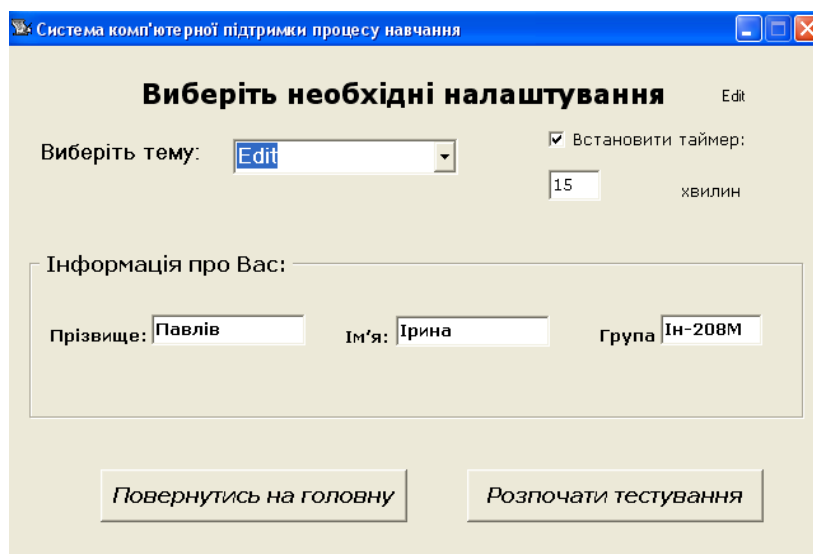


Рис. 5. Вікно параметрів тестування

Модуль опрацювання результатів тестування призначено для виведення на екран інформації про тему, загальну кількість опрацьованих запитань, кількість правильних відповідей, кількість неправильних відповідей і час тестування (рис. 8).

Результати тестування записуються у файл у вигляді бази даних (рис. 9).

Одним із етапів використання ІКТ в освітньому процесі є засвоєння навчального матеріалу та його перевірка за допомогою тестуючих програм. Така форма навчання використовується для студентів під час проведення проміжного та підсумкового контролю знань, при перевірці залишкових знань і проведенні екзаменів. Комп'ютерне навчання та тестування має ряд переваг: вивчення матеріалу та проходження тестування у зручний час; забезпечення можливості швидкої перевірки знань великої кількості навчаючих із різних тем; доступ користувача до повної інформації про результати контролю; звільнення викладача від

виконання рутинної роботи по організації масового контролю; забезпечення самоперевірки засвоєння матеріалу в зручному режимі роботи; підвищення об'єктивності контролю.

Висновки. На освітньому ринку дуже мало навчально-контролюючих програмних засобів, однак ці програмні продукти мають свої переваги. Кожен користувач може знайомитися з відповідною темою в довільний час, опрацьовувати пізнавальний матеріал чи проходити тестування у зручному темпі, оскільки темп навчання у кожного є різним.

Оскільки сьогодні розвиток ІКТ і перехід до нової української школи сприяє поєднанню традиційних форм навчання з інноваційними, використання комп'ютера та програмного забезпечення у навчальному процесі робить його цікавим, більш доступним і формує не тільки знання, вміння, навички з обраного предмету, але й ІКТ-компетентність загалом.

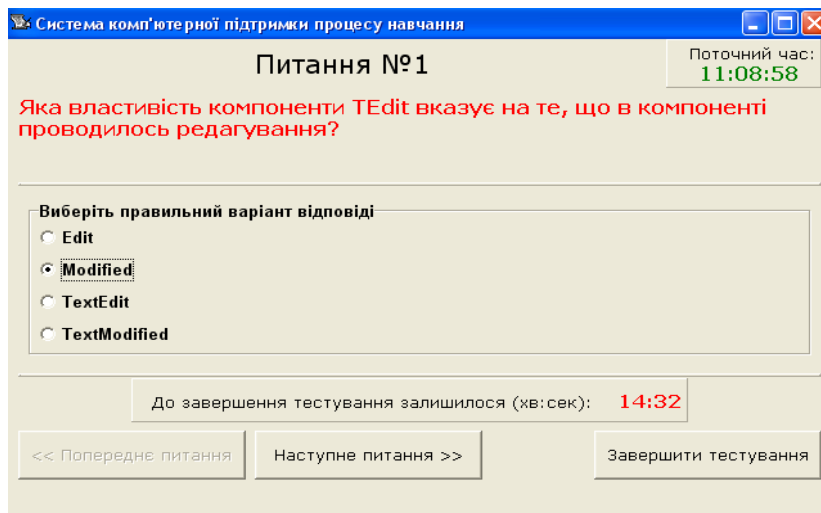


Рис. 6. Вікно форми тестування

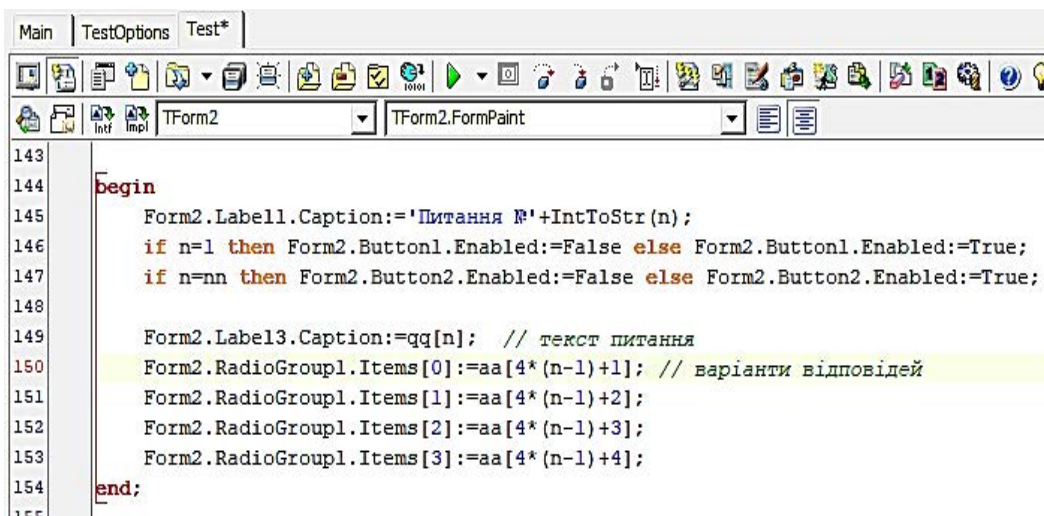


Рис. 7. Програмний код проектування форми тестування

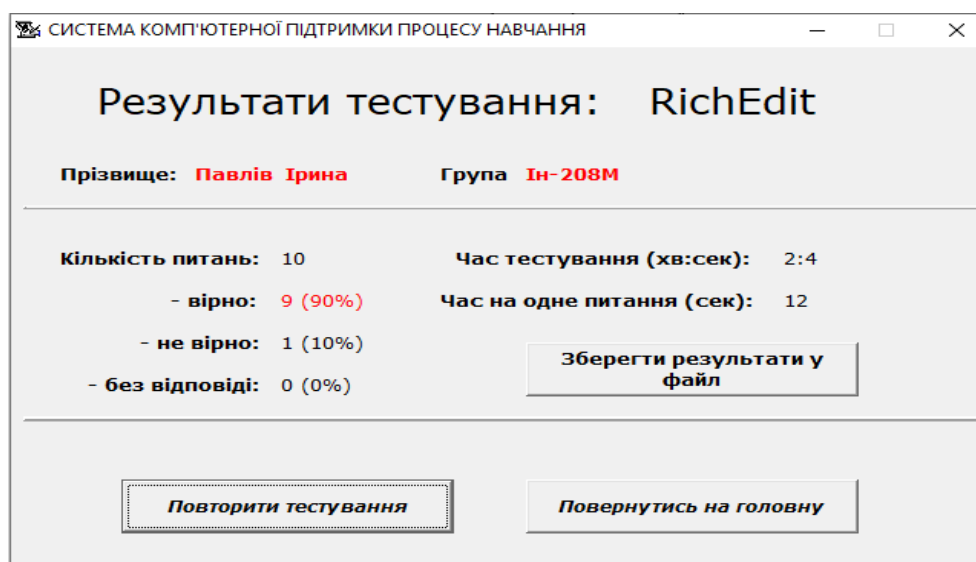


Рис. 8. Вікно форми результатів тестування

Тема	Прізвище	Ім'я	Група	Правильних	Неправильних	Дата	Час
Edit	Шоповалов	Андрій	Ін-205М	1 (7%)	11 (79%)	09.12.2019	0:25
LabeledEdit	Павлів	Ірина	Ін-205М	7 (39%)	11 (61%)	09.12.2019	3:10
MaskEdit	Дамрін	Євген	Ін-205М	0 (0%)	12 (100%)	09.12.2019	0:23
SpinEdit	Сас	Юля	Ін-205М	2 (29%)	5 (71%)	09.12.2019	0:12
ComboBox	Біляк	Павло	Ін-205М	3 (30%)	7 (70%)	09.12.2019	0:18
ComboBox	Марканич	Микола	Ін-205М	2 (20%)	8 (80%)	09.12.2019	0:18
Memo	Пенкальський	Олег	Ін-205М	5 (33%)	10 (67%)	09.12.2019	0:37
RichEdit	Огар	Тарас	Ін-205М	7 (70%)	3 (30%)	09.12.2019	1:2

Рис. 9. Вікно бази даних

Список літератури:

1. Embarcadero Delphi: веб-сайт. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Embarcadero_Delphi (дата звернення: 22.05.2020).
2. Skinner B.F. Verbal Behavior. New York, 1957. 486 p.
3. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi5. Москва, 2000. 1072 с
4. Беспалько В.П. Программированное обучение (дидактические основы). Москва, 1970. 300 с.
5. Культин Н.Б. Delphi в задачах и примерах. Санкт-Петербург, 2005. 288 с.
6. Ланда Л.Н. Диагностика і програмоване навчання. *Радянська школа*. 1967. № 2. С. 45–51.
7. Попов В.В. Программирование в Delphi. Оптимальный подход. Київ, 2005.
8. Тализіна Н.Ф. Актуальні проблеми програмованого навчання. *Програмоване навчання в школі* : збірник статей. *Радянська школа*. 1966. С. 18–35.
9. Фаронов В.В. Delphi5, учебный курс. Москва, 1990. 420 с.

Sikora O.V., Vdovychyn T.Ya., Kohut U.P. SYSTEM OF COMPUTER SUPPORT OF THE EDUCATIONAL PROCESS IN THE PEDAGOGICAL UNIVERSITY

The main task of informatization of education is the use of computer programs in the educational process. The rapid development of ICT, the transition to a new Ukrainian school is inconceivable without the use of programmed and distance learning in the educational process. The combination of different forms of education

leads to better mastering of the material, deepening of knowledge on the subject, transformation of acquired skills to other subjects, formation of students' ICT competence for use in future professional activities.

Successful implementation of various projects, in particular, accounting programs, mobile and game applications, etc., is based on object-oriented programming. The problem of development, creation and implementation of computer educational programs that contribute to the adaptation of teachers to life in the information society is especially relevant today. Programmed learning for students opens up a wide range of opportunities, because it allows you to study the material at a convenient time for him, to conduct a control slice of knowledge at an individual pace, thereby adapting the learning process to a particular user.

The article is devoted to the development and implementation of a computer support system for the learning process, which is used in the training of future computer science teachers. The visual environment of the Delphi system was chosen for the development of the curriculum. The software environment is adapted to the needs of the user with the ability to design dialog boxes and write the functions of certain events. The article demonstrates the creation of a curriculum with the ability to process theoretical information and organize the control of students' knowledge in the Delphi programming environment. In particular, the testing process is described step by step, where the student has the opportunity to choose a topic for testing knowledge, specifying contact information and setting, if necessary, the time of the test.

Key words: *software product, Delphi programming environment.*

Suhoniak I.I.

Zhytomyr Polytechnic State University

Yefimenko A.A.

Zhytomyr Polytechnic State University

Marchuk G.V.

Zhytomyr Polytechnic State University

Feschenko D.I.

Zhytomyr Polytechnic State University

DECISION SUPPORT SYSTEM DEVELOPMENT FOR BLOCKING UNWANTED CONTENT BY NEURAL NETWORKS

Context. The development of information technology and computer technology are main stream of nowadays. Virtual reality become more important than real life. Social measures, electronic mail, video-conferencing, forums, news - all tis technologies are implemented in people activities. That's why spam is part of our information flows too. Spam is what every network user is familiar with. In the classical sense of the word, spam is the mass distribution of certain information, mostly of an advertising nature, without the consent of the people who receive it. This term began to be used actively in the early 90's, when the mass distribution of computers led to the appearance of large advertising companies on the Internet. This problem is important today because of the need to build a complex decision support system for filtering spam, advertising and pornographic content. **Objective.** The purpose of the paper is analyzing of models and methods for building decision support systems for filtering a variety of spam. **Method.** Research contain the model of quickly determining and filtering spam content, advertising and adult content combining classical methods with modern ones based on the use of neural networks. The essence of this approach is the joint use of the classical method of classification of text spam based on the Bayesian theorem, as well as modern algorithms based on convolutional neural networks and optical character recognition methods. Existing architectures for classifying a large volume of images based on convolutional neural networks and their modifications were investigated, after which a new integrated solution was developed for spam, advertising and pornographic images based on research data. **Results.** The purpose of the study is to analyze the models and methods used to build decision support systems for filtering advertising and pornographic content, as well as tools for their implementation and use. **Conclusions.** The article examines a new system for filtering spam and advertising in the information environment that provides tools for the rapid recognition and filtering of spam content, advertising and content for adults by combining classical methods with modern ones, based on the use of neural networks.

Key words: spam, advertising, neural networks, convolutional neural networks, Android, iOS.

Introduction. Big companies forced to pay a lot of attention to information security issues, which also includes struggle with spam. The methods include: information verification by human, the use of various gray and black lists, domain blocking, and the use of various statistical methods.

The classic methods of dealing with NSFW (short for Not suitable / safe for work, not dangerous for work), such as checking and confirming every image or video by a person, are no longer relevant. However, new investigations into machine learning and profound neural networks, enable go to new finds in this area. In particular, one of the most effective statistical methods is a method, that based on the use of the Bayes Theo-

rem, which, after training on a large enough sample, can filter out about 95–97% of text spam.

Problem statement. The purpose of the paper is analysing of models and methods for building decision support systems for spam filtering, advertising, pornographic content.

To achieve this goal, following tasks was to be resolved:

- analyze the methods and approaches to the task of recognizing, filtering and blocking spam;
- design a model for filtering spam and pornographic content;
- develop a service for optical text recognition and a service for lexical and morphological text processing;

– develop and implement a decision support system for identifying and blocking spam content, advertising, and pornographic images.

Review of the literature. The particularity of this problem is the few methods and models that have been researched and published. The main research is [3–11]. Overview of popular machine learning methods and their application to the problem of spam filtering is bounded in [3]. The article is related to applying machine learning methods in practice, and therefore may be of interest mainly to those familiar with the topic. The paper [4] examines the problem of spam filtering and the most common approaches to solving it: on the basis of lists of addresses, signatures, Bayes theorem in comparison with methods of artificial intelligence. An artificial neural network approach is proposed to solve the problem. But this approach requires training and test message sampling to train the classifier, marking important message features, model parameters correction, evaluating classifier accuracy etc. How to overcome these barriers is contained in [5]. The impact of depth convolutional network on accuracy in large-scale customization of image recognition is investigated there. The possibility to use residual learning frameworks as one approach is described in [6]. The mail's messages filtering method on the server side is used in [8] to facilitate the learning of the network. Anti-spam filtering using text categorization methods is possible least for mailing lists and newsgroups [9]. The machine learning methods [11] have the highest performance and best results in spam classification, over all the spam filtering methods. But all methods have some messages mistakenly classified as spam. That is why, new research in anti-spam methods is actually now.

Materials and methods. Classical spam and adware method. One of the most effective methods for filtering text spam is the use of the Bayes' classifier. The basis of this method is the use of the Bayesian theorem [1]. This method was first used to classify and detect spam in 1996. The majority of modern spam filtering tools use this method, or combine it with other methods to improve the results.

In order to bypass the antispam protection systems that use the Bayes' classifier, the hackers began to convey the ad text as a picture or animation. To secure from such images, the method for image signatures recognition has started to be applied. In order to recognize the image data, a method based on the analysis and recognition of image signatures in the message can be applied and the creation of a corresponding database of collected signatures. Accordingly, after receiving a new message, it is only necessary

to obtain the signatures of all the images included in it, and then compare them with those available in the database.

To combat this method of protection, the method of dynamic image formation is quite often used, which can be substantially changed at the moment of generation - the size of the image can be enlarged or reduced, the font and color of the text are changed, and so on.

In order to block ads without spending user traffic, it is necessary to intercept messages and block them before sending a message. The method of the message sender recognition is not based on the analysis of the message content, but namely on the information about its sender.

The advantage of this method is the relative simplicity of implementation and a small requirement for resources.

The disadvantages include the fact that all the letters will come with a certain delay because of such a check, and if there is a failure or error, a large number of users who use the services of one server will be blocked and will not be able to send messages.

The method of using grey lists is based on the fact that the behavior of spam software differs from the behavior of ordinary mail services, for example, spam servers do not attempt to re-send a message, as required by SMTP. Accordingly, in this case, the server is put on the list as potential spammer. Mail clients that are targeted to this list can automatically log messages from this sender to the spam section or simply ignore such messages [2].

Advertising and spam recognition using OCR. Optical Character Recognition (OCR) methods can be used to recognize messages with dynamically generated promotional or spam images. These methods allow to detect a text in an image, recognize it, and then use the obtained text for analysis with other spam filtering methods.

Nowadays, intelligent methods are used to recognize characters that in their turn can recognize not only printed letters, but also to some extent handwritten characters, and so on [3-11].

Recognition NSFW methods. The general NSFW algorithm can be described in two steps. In the first step the images with large areas of flesh colour pixels need to be found. The next step is to find elongated parts in these areas and try to group them into possible human limbs or groups of limbs with the help of specialized grouping modules. These modules contain a large amount of information about the structure of the object.

Today Facebook is using the method of modification to prevent the distribution of its own photos with

a certain pornographic content. Yahoo company uses the Convolutional Neural Network (CNN), which has about 50 hidden layers and was trained with the ImageNet 100 class dataset. This dataset contained a large number of images, each of which was labeled NSFW or as a safe image.

They used the CaffeeOnSpark framework to train this network with Hadoop and Spark clusters. They were able to train and preserve the model for the detection of pornographic images. The corresponding model can be used by researchers from all over the world to create their own networks for the recognition of NSFW in combination with the framework for the creation and training of deep neural networks – Caffee.

Setting up the task for developing of spam and advertising DSS filtering. According to the development of modern means such as computer vision, improved network training, algorithms of deep learning, computers can automatically perform recognition and filtering of such content with a high probability.

The protection against unwanted content is quite subjective and does not have clear boundaries, because even a person in different circumstances may misinterpret what content is acceptable, obscene or contains a certain context.

Within this article, only 1 type of NSFW content will be considered, namely pornographic images that allow to appropriately rate a specific image or group of images as probably relevant to the pornographic content.

Based on the comparative analysis of spam, advertising and pornographic content filtering techniques, it has been determined that each of these methods has certain advantages and disadvantages. The classification based on Bayes' theorem is extremely effective in relation to text content, but it is completely helpless against any visual content. OCR methods are extremely effective for cases when it is necessary to take texts on images into account.

Modern methods based on convolutional neural networks allow to quickly teach the model to recognize NSFW with a fairly high probability [4–9].

There is a need to develop a universal application that combines the basic classical methods for solving spam and adware filtering problems, but also contains modern tools for covering a greater number of different scenarios for the use of DSSs.

The service being developed should be flexible enough to be able to add new functionality without having to make significant changes to the existing code. The appropriate solution should be developed in the form of a SaaS application that can be easily placed in the cloud and provide this functionality to

any user without the need to install the application, and to maintain its sustainable work

Development of a model for spam and pornographic content filtering based on a combination of classical and machine learning tools. Having analyzed the available methods and approaches to the recognition, filtering and blocking of spam and ad content, it can be concluded that none of them covers all aspects of content analysis and, as a result, prevents complex analysis and filtering of unwanted content.

The decision support system for filtering should not only be focused on the presence of certain keywords, or be entirely based on the assumption that one of these keywords is more likely to occur in spam and others in real content. According to these conditions, it is necessary to build a complex of several services, in particular, an image processing service with the OCR module, a link processing service, a module for the recognition of pornographic images, which will also interact with the module for comparing signatures with the database.

In order to distinguish spam from useful content for the text-processing service, it's advisable to use the Bayes' formula.

For training and verification, CSMining has been selected to collect and distribute public data sets, including the LingSpam dataset, which contains real examples of spam and useful emails. The original set can be downloaded at: <http://csmining.org/index.php/ling-spam-datasets.html>.

In order to make the service more versatile and flexible, it is necessary to use an improved version of the Bayesian Classifier (modification for many-to-many type classification).

To improve the service of text spam recognition, it is advisable to use appropriate libraries for primary processing. One of the stages of such processing is the algorithm for finding the base word for a given derived word (the so-called "stemming"). One of the most popular implementations of this algorithm is Porter's stemmer. This algorithm was developed by Martin Porter in 1980 and worked only in English. After that, appropriate algorithms for other popular languages were implemented. This algorithm does not use the root of the word, but just applies a series of rules that are intended to cut off the endings and suffixes. At the same time, the algorithm is very fast. The negative point is that this algorithm may produce a faulty result, that is, its accuracy is not absolute [7].

The pre-processing service will be used to translate words into normal form, remove extra words, transliteration, etc. The processed text will be put into the input for the Bayes' classifier and at the same time

for the neural network in order to improve the quality of the system.

Beginning since 2012 Convolutional Neural Networks have been continually improving the results of the classic ImageNet Imaging Excellence test. This has led to the appearance of certain modified methods, such as residual networks (RN). Each modification differs from others in speed, equipment requirements and accuracy. The ideal option is a network with the minimum number of connections and parameters, but with the maximum accuracy of the network [5].

To train the network the setoff data, which consists of both positive (belonging to NSFW) and negative (non-NSFW) images that are split into 2 separate directories, is used.

As the network training is a very tedious and lengthy process, it was decided to use the Yahoo CaffeOnSpark open source framework. This company also provides its own model, which is already somehow trained and can be used for further improvement and research.

There are many different options for building the architecture of residual neural networks, but the ResNet-50thin architecture is most suitable for this task. This architecture was first described in the “Deep Residual Learning for Image Recognition” conducted by Microsoft researchers [6]. The ResNet network with 50 layers of neurons given that each layer contains half of the filters, provides sufficient accuracy for the acceptable network operating time. In general, such a network consumes less than 0.5 seconds of CPU time and approximately 23MB of memory.

The resulting model can be further adjusted for a specific task, thereby improving the results of its work. This is achieved through the use of correction algorithms (such process is known to the researchers as “fine-tuning”).

As a metric (which will verify the quality of the resource content and its security in general), it was decided to introduce a new coefficient – the security index. The security index is a value that determines content quality in terms of lack of advertising, spam and pornographic content that a certain resource provides. In general, the security index for a resource is a number from 0 to 5, given that the closer it is to 5, the more qualitative is the content of the resource. This index can be used to automatically block dangerous resources, build a certain ranking of sites and pages, and be actively used as a basis for the parental control tool.

This metric is complex, so it requires the introduction of appropriate new values – the safety index of advertising, as well as the security index from NSFW.

An advertising security index is a number from 0 to 1, given that the larger it is, the smaller the ratio of the number of ads to the total content of the content. According to this definition, the safety index of advertising can be expressed by the formula:

$$I_{adsec} = \frac{C_{ham}}{C_{ham} + C_{ads}}, \quad (1)$$

where C_{ham} is the total amount of useful content (not advertising), and C_{ads} is the total number of ads.

Depending on the detail, formula (1) can be applied equally well for both a specific content group and for a certain resource as a whole.

The security index from pornographic content is also a floating point number from 0 to 1, given that the larger it is, the less the ratio of the number of ads to the total number of NSFW content is.

$$I_{nsfwsec} = \frac{C_{ham}}{C_{total}}, \quad (2)$$

where C_{ham} is the total amount of useful content (not NSFW), and C_{total} is the total amount of analyzing content for resources.

Depending on the options set by a user, a certain index can be ignored or taken into account during a general estimation.

To increase the flexibility of the system the ability to customize the parameters of system settings need to be added. In particular, to change the heuristics to determine whether this content is spam, customize image, link and text processing services, enable or disable the features that you want or do not need, etc.

The general scheme of interaction between modules and DSS filtering services for spam, advertising and NSFW presented in fig. 1.

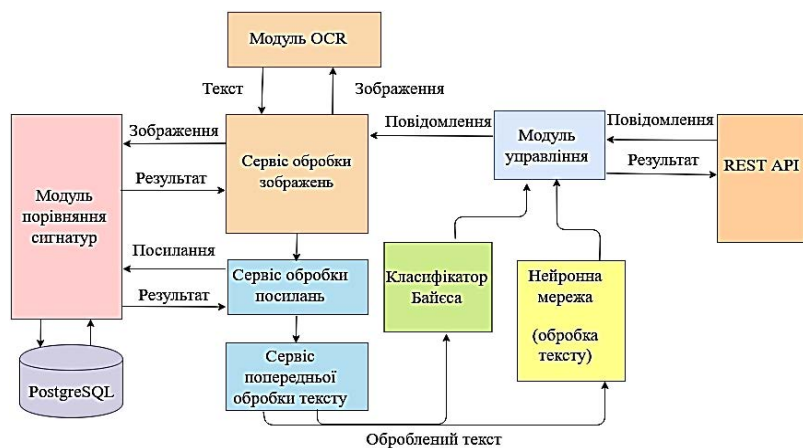


Fig. 1. The general scheme of interaction between modules and DSS filtering services for spam, advertising and NSFW

The system should automatically learn, thereby increasing the efficiency of its work

DSS structures and data warehouse organization.

The DSS structure should be modular and provide the opportunity for further improvement and expansion of the functionality.

According to this goal, the most appropriate solution will be the use of a structure consisting of a large number of different services. In this case, each service can use different technologies and data sources. If necessary, the system performance can be adjusted by adding functionality to load balancing and replication of those services that are most often used. Also, this structure allows to place the corresponding services on different working machines with the help of appropriate auxiliaries and software systems.

According to this, it is expedient to use several delimited data sources instead of a single large source. This will allow the use of different databases and database management systems for different services, depending on the tasks and needs.

For communication between services, it is advisable to use one of the existing methods, such as the use of the REST API, SOAP, protobuf, GraphQL, and others. As a result, a set of maximally independent services and ones with the possibility of their re-use is acquired.

At the same time, each service must be responsible for a certain logical part of the application, that is, it is a complete part of business logic that may well solve certain tasks within its own responsibility (Figure 2).

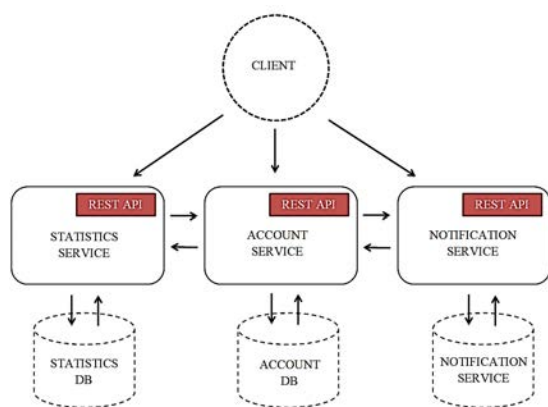


Fig. 2. General scheme of the organization in the form of separate services

According to these requirements, it was decided to create 2 separate data warehouses. The first one is used to store statistics and estimate site security indexes and will be organized in a relational form and contain user data, scanned pages and sites,

a list of blocked resources, certain image signatures and the like. The second data warehouse is designed to store service logs that allow to determine the load, the time of recall of various services, errors occurring during the application.

According to this structure, services cannot access the data store that is not directly owned by them. To do this, queries between services need to be used, which makes services more independent and allows to make the structure of the project more flexible, and also allows to use the services repeatedly when necessary.

To provide a single point of access to the application, it is expedient to use the Proxy API Gateway pattern, which will be implemented as a separate service and which will provide access to all internal services and utilities.

Design and implementation of the separate system modules. To implement a service that performs spam recognition based on Bayes' theorem, 3 components need to be created:

- Bayesian classifier that will train and perform the spam recognition function;
- a training system for the classifier that takes data from Lingspam, performs the analysis and preliminary training of data and initializes the classifier;
- a server in Golang, which creates access points to the classifier functions in the form of gRPC and RESTful API.

The corresponding classifier was created in the form of a package for the programming language Golang, which makes it more versatile and allows to use it for other tasks when needed.

When the service is launched, automatic network training is performed using Lingspam data set, and the overall accuracy of the programme is estimated using the appropriate test message set. To do this, read the data from 2 directories for training, transfer them to the classifier in training mode. To calculate the accuracy of the network a set of real-time emails with 2 directories for training is used. After that, a gRPC server is generated and launched, which allows to communicate with other services and send data in binary format.

To implement the NSFW recognition service the trained model for the Caffee framework is used. The corresponding service is written in the Python programming language (Figure 3).

When launching Docker the Caffee model files and the description of the neural network are copied to the source container. Immediately after loading Python launches a script that initializes the Caffee

network using the appropriate model and description. Network initialization usually takes no more than 1 second.

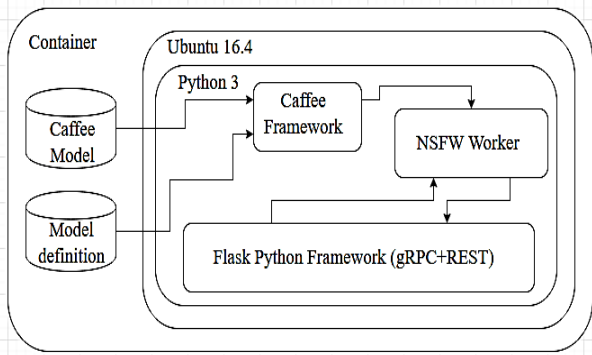


Fig. 3. The general structure of the container for NSFW recognition

Immediately after downloading CNN and all necessary data, the Flask server starts to listen to the corresponding ports (in the case of REST) and raises the gRPC server with the appropriate settings for Service Discovery.

To implement the optical character recognition service, it was also decided to use the Go programming language and Tessaract’s service as an engine for recognition. This is done by using the port of the engine from the C++ programming language to the Golang programming language, which is called gossaract. It comes in the form of appropriate packages that can be easily integrated into own applications.

In order to ensure the integrity of the system and provide the user with a more convenient way

to interact with it, it was decided to use the pattern of the Proxy API Gateway. It makes it much easier to interact with services that use different protocols for data transfer between each other, such as REST, GraphQL, APMQ, gRPC, etc. It also allows to implement multiple gateways for different clients without changing the internal structure of services in any way.

The REST architecture as well as the AMPQ and gRPC data transfer protocols were used in the development of this application. Also, it is very important that all customers of this system can be divided into 4 main categories: browser extensions, mobile applications, Web clients and arbitrary developers of their own solutions and APIs.

To implement the Proxy API Gateway a proxy_api_gateway service has been created that includes clients for all internal gRPC services, is able to serialize and deserialized data for services that use the REST architecture, and also works well with message brokers using the AMPQ protocol. After that the service provides all available access points for this application available to external applications and users.

The basic queries that the Proxy API Gateway can take from customers. Api / v1 / nsfw / score query allows to determine whether the image belongs to the content class for adults (Figure 4). It returns an evaluation, the minimum and maximum value used by the Google Chrome browser extension, as well as an additional explanation for this value, which is also displayed in the modal window of this extension.

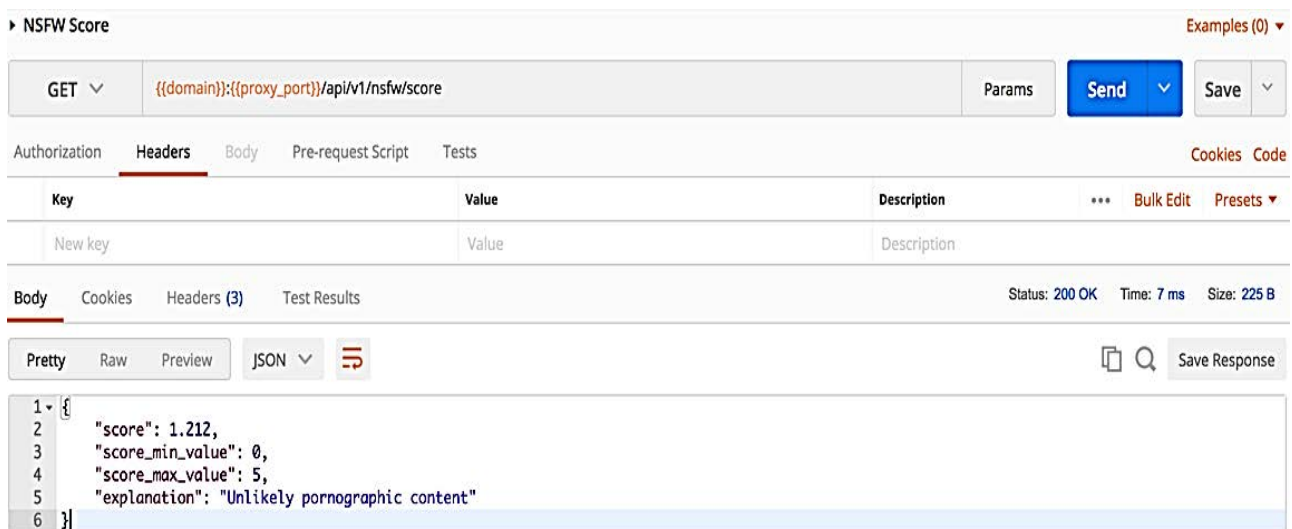


Fig. 4. Request to Proxy API for NSFW recognizing

Request by pattern `api/v1/spam/score` should take result, is the text a spam or not (Figure 5).
 Api / v1 / batch query combines the previous

two queries, and also contains additional fields for the query. An example of the following query parameters in the JSON format:

```

{
  "base_url": "http://www.tomforth.co.uk/chromeextension/",
  "images": [
    "http://www.tomforth.co.uk/chromeextension/examplepic.png",
    "http://www.tomforth.co.uk/chromeextension/pic2.png",
    "http://www.tomforth.co.uk/chromeextension/pic3.png"
  ],
  "articles": [
    "Sadly, the best guide to building a simple but functional page-scraping Chrome extension is quite complicated. So I've learned from it and written a much simpler Hello World Chrome extension for page scraping.",
    "Want to parse the content of a website? More comfortable coding in javascript and displaying your results in HTML than you are using Scrapy at a Python command prompt? A google Chrome extension might be perfect for you."
  ]
}
    
```

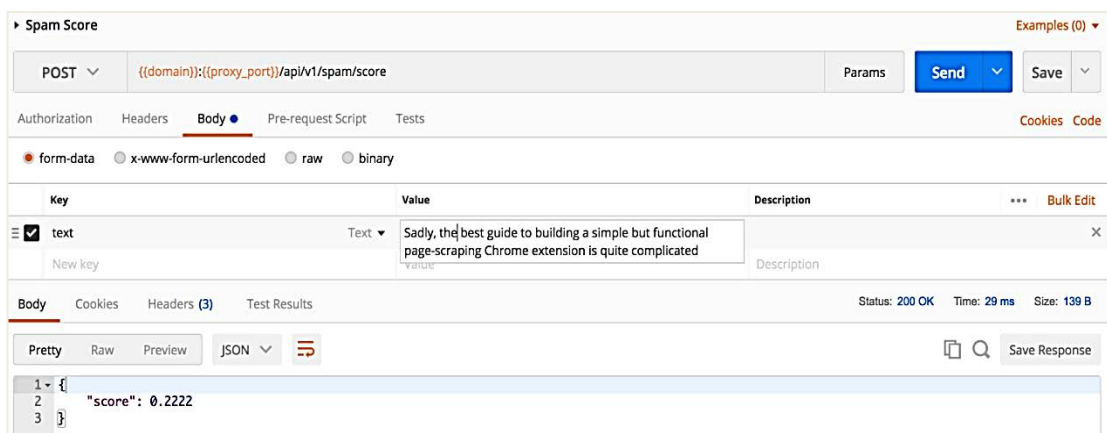


Fig. 5. Query for the Proxy API to recognize spam

In the response the result of the analysis for images on NSFW and spam for the text will be obtained (Figure 6).

Relevant query results will be automatically saved to the database in order to use them to build a general ranking of sites, as well as for caching.

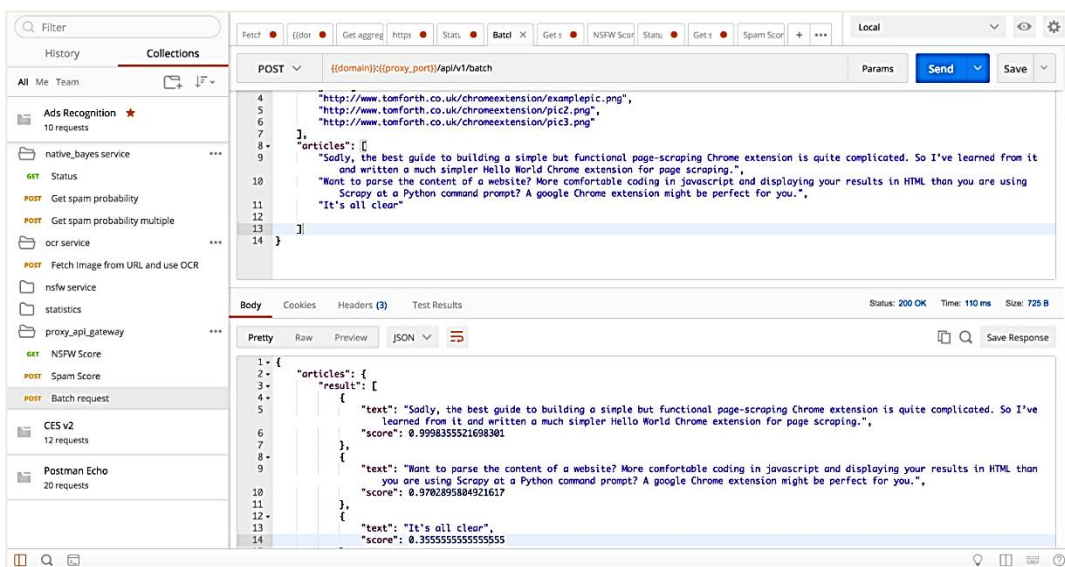


Fig. 6. Example of query response from spam, ad, and NSFW content recognition using Postman

In order to compile a particular service, there is a special Makefile file without an extension at the root

of this service. Typical structure of this file (example for Proxy API Gateway service):

```
build:
    GOOS=linux GOARCH=amd64 go build
run:   docker run -e MICRO_REGISTRY=consul proxy_api_gateway
       docker build -t proxy_api_gateway .
```

This file determines that the standard Golang compiler will be used to compile the Go application. The application itself will be compiled into a binary type for the Linux operating system under the amd64 architecture. This is very important as the developed system works fully under the control of Linux machines, and the data flags provide the correct compilation for this particular platform.

After that Docker is used to build the application. Each Dockerfile describes everything that is needed to run the service, including such data as: the basic image, all the necessary commands for preparing, the application compilation, setting environment variables, settings for various additional utilities, and so on (Figure 7).

Implementation of its own extension for Google Chrome consists of several steps. The first step is to create a manifest.json file that contains a description of actions, scripts and a list of required permissions from the user side for the correct operation of the application.

This Manifest indicates that the correct operation of this extension requires access to all active tabs, to both HTTP and HTTPS content, to localStorage to

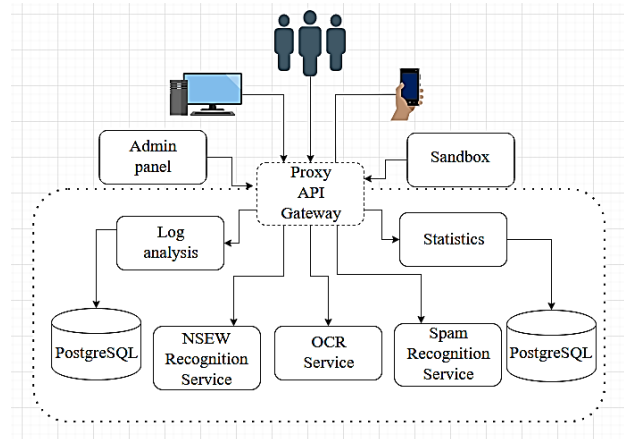


Fig. 7. The services general architecture for the advertising recognition

save extension settings and the like. It also determines that for all available tabs, it is necessary to automatically insert scripts of this extension, which will be responsible for blocking of unwanted content.

Extension is written using TypeScript, which is compiled using the Webpack module in JavaScript. An example of the Parser class that finds all images inside the corresponding DOM node:

```
import * as $ from 'jquery'; import Image from './Image'; class Parser {
images: Array<Image>; constructor() {
    this.images = new Array<Image>();
}
/* Finds all images within the given root
Element.
* Filters images to avoid animations (gif) and cut
* off all icons, logos and thumbs. Also, includes
* only images more than 50px in width and height to
* ignore many small images.
* Returns an array of images.
* @param $root Root for searching images
* @returns array an array of images.
*/ static parseImages($root: Document) : Array<String> {
    const imagesSources = [];
    const images = $($root).find("img");
    for (let i = 0; i < images.length; i++) {
        let $image = $(images[i]);
        let src = $($image).prop('src');
        if (src.includes(".gif")) {continue; }
        if (src.includes("icon") || src.includes("logo") || src.includes("thumb")) {
            continue; }
        if ($image.width() > 50 && $image.height() > 50) { imagesSources.push(src); }
    }
    return imagesSources;
} } export default Parser;
```

To store image data, articles, and other media data, the appropriate classes of Article, Image, Media are used. After loading the extension, it automatically inserts the content_script.js script into the user's page. This script communicates with the background.js script in order to share the current page data with it. This communication uses postMessage technology, which avoids problems with crossdomain queries, creating a certain channel between the user's page and extensions scripts for Google Chrome.

After this, the initialization of the Parser class object, which in its turn searches for content that can potentially be advertising, spam, or adult content, is initialized. The relevant findings are serialized and sent to the Proxy API Gateway service. Then fol-

low the registration of the corresponding page and site in the system, all necessary preliminary data are stored in the database. In order to reduce the load on the neural network, a query is made to the local cache and it is checked for the certain images in its data.

After that, the optical character recognition service analyses the image ads, after which all recognized texts are sent to the service of advertising and spam classification.

Conclusions. For analysis of pornographic images, the NSFW recognition service is used. After performing the relevant queries, aggregation and serialization of the data in the Proxy API Gateway service takes place, which is given to their client for display.

References:

1. Metsis V. Spam Filtering with Naive Bayes – Which Naive Bayes? *Proceedings of the 3rd Conference on Email and Anti-Spam (CEAS 2006)*. Mountain View, CA, USA, 2006.
2. Зайцев О. Технологии рассылки спама и методы защиты от него *КомпьютерПресс*. 2007. № 2. С. 75–78.
3. Tretyakov K. Machine Learning Techniques in Spam Filtering. *University of Tartu. Data Mining Problem-oriented Seminar, Institute of Computer Science*. MTAT.03.177. May 2004. P. 60–79.
4. Ларионова А.В., Хорев П.Б. Метод фильтрации спама на основе искусственной нейронной сети. *Интернетжурнал «НАУКОВЕДЕНИЕ»*. 2016. Том 8. № 3 (май–июнь). URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/04TVN316.pdf>
5. Simonyan K., Zisserman A. Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. *International Conference on Learning Representations*. 2015. URL: <https://arxiv.org/abs/1409.1556v6>
6. Deep Residual Learning for Image Recognition / He Kaiming et al. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2016. P. 770–778. URL: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/He_Deep_Residual_Learning_CVPR_2016_paper.pdf
7. Porter M. Snowball: A language for stemming algorithms. *Published online*. 2001. URL: <http://snowball.tartarus.org/texts/introduction.html>
8. Абдуллаев В.Г. Защита от спама в интернет-пространстве. *Радиоэлектроника и информатика*. 2014. № 2. С. 35–38.
9. A memory-based approach to anti-spam filtering for mailing lists / G. Sakkis et al. *Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands*. 2003. P. 49–73.
10. Seguin K. The Little Go Book. *Published online*. 2014. P. 83. URL: <https://openmymind.net/assets/go/go.pdf>
11. Mahsa Riahi Asl, Hasan Naderi. Filter Spamming In Computer Networks by Text Mining and Machine Learning Method *International Academic Journal of Science and Engineering*. 2016. Vol. 3. № 8. P. 32–46.

Сугоняк І.І., Єфіменко А.А., Марчук Г.В., Фещенко Д.І. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ БЛОКУВАННЯ НЕБАЖАНОГО КОНТЕНТУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Актуальність. Розвиток інформаційних технологій і комп'ютерних технологій сьогодні є основним напрямом. Віртуальна реальність стала важливіше реального життя. Соціальні заходи, електронна пошта, відеоконференції, форуми, новини – всі ці технології впроваджені в діяльність людей. Ось чому спам теж є частиною інформаційних потоків. Спам – це те, з чим знайомий кожен користувач мережі. У класичному розумінні цього слова спам – це масове поширення певної інформації, в основному рекламного характеру, без згоди людей, які її отримують. Активно цей термін почали використовувати на початку 90-х років, коли масове поширення комп'ютерів призвело до появи в Інтернеті великих рекламних компаній. Ця проблема важлива сьогодні через необхідність створення комплексної системи підтримки прийняття рішень для фільтрації спама, реклами і порнографічного контенту. **Метою дослідження** є аналіз моделей і методів, використовуваних під час побудови систем підтримки прийняття рішень для фільтрації різноманітного спама. **Методи.** Дослідження містять

модель швидкого визначення та фільтрації спам-контенту, реклами і контенту для дорослих, яка поєднуватиме класичні методи із сучасними, які використовують нейронні мережі. Суть даного підходу полягає в спільному використанні класичного методу класифікації текстового спаму на основі теореми Байєса, а також сучасних алгоритмів на основі згорткових нейронних мереж і методів оптичного розпізнавання символів. Були досліджені існуючі архітектури для класифікації великого обсягу зображень на основі згорткових нейронних мереж і їх модифікації, після чого було розроблено нове рішення для визначення спаму, реклами й порнографічних зображень, заснованих на наукових даних. **Результати.** Мета дослідження полягає в тому, щоб проаналізувати моделі та методи, що використовуються для систем підтримки прийняття рішень для фільтрації спаму різного типу, а також інструменти для їх впровадження і використання. **Висновки.** У статті розглядається нова система фільтрації спаму і реклами в інформаційному середовищі, яка надає інструменти для швидкого розпізнавання й фільтрації спам-контенту, реклами та контенту для дорослих шляхом поєднання класичних методів із сучасними, заснованими на використанні нейронних мереж.

Ключові слова: спам, реклама, нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, Android, iOS.

Терейковская Л.А.

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

Терейковский И.А.

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ПРИМЕНЕНИЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ АНАЛИЗА БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Стаття присвячена вирішенню завдання застосування згорткових нейронних мереж у засобах аналізу біометричних параметрів людини для аутентифікації та розпізнавання емоційного стану. Визначено, що незадовільна ефективність таких засобів пов'язана з недостатньою адаптацією конструктивних параметрів згорткової нейронної мережі до умов застосування. Запропоновано виправити вказаний недолік за рахунок удосконалення методологічної бази і розробки методу застосування згорткової нейронної мережі для аутентифікації і розпізнавання емоційного стану людини на основі аналізу геометричних показників біометричних параметрів. У результаті проведених досліджень розроблена модель формування вхідного поля згорткової нейронної мережі на підставі геометричних показників зображень, асоційованих з біометричними параметрами. Модель передбачає можливість кодування вхідних параметрів нейронної мережі з використанням математичного апарату вейвлет-перетворень. Також сформовано ряд принципів адаптації конструктивних параметрів згорткової нейронної мережі до поставленого завдання розпізнавання. Розроблена модель вхідного поля і сформовані принципи адаптації послужили методологічною базою для побудови методу застосування згорткової нейронної мережі для розпізнавання біометричних параметрів. Для верифікації запропонованих рішень проведені експерименти, спрямовані на розпізнавання особи користувачів на підставі нейромережевого аналізу зображень райдужної оболонки очей з бази даних CASIA-Iris-Interval. У результаті проведених комп'ютерних експериментів показано, що використання запропонованого методу дозволило побудувати згорткову нейронну мережу, точність розпізнавання якої рівна близько 0,95, що відповідає показникам найбільш сучасних систем подібного призначення. Це підтверджує ефективність запропонованого методу застосування згорткової нейронної мережі. Показана доцільність подальших досліджень у напрямі підвищення ефективності нейромережевого аналізу геометричних показників біометричних параметрів у разі впливу перешкод, пов'язаних з поворотом і освітленням зображень, асоційованих з біометричними параметрами.

Ключові слова: біометричний параметр, аутентифікація, розпізнавання емоцій, згорткова нейронна мережа, метод розпізнавання.

Постановка проблеми. Практический опыт и данные многочисленных публикаций свидетельствуют о том, что модернизация современных компьютерных систем в значительной степени коррелируется с решением задачи разработки высоконадежных и высокоэффективных средств анализа биометрических параметров (далее – БП), которые характеризуют биологические, психофизиологические и поведенческие качества человека. Такие средства широко используются в системах защиты информации для биометрической аутентификации пользователей, а также они находят свое применение в системах мониторинга психофизиологического состояния операторов информационных систем. При этом результаты многих научно-практиче-

ских работ связывают прогресс в области средств анализа БП с внедрением в них передовых нейросетевых технологий [2; 9; 10]. Поскольку в последние 5–10 лет развитие этих технологий связано с компьютерным зрением, то в первую очередь они используются для анализа БП, которые соотносятся с цветными изображениями и характеризуются с помощью геометрических показателей. С позиций стабильности и уникальности БП, а также с учетом необходимости регистрации первичной информации с помощью доступных аппаратных средств, вызывает интерес применение нейросетевых технологий для анализа геометрических показателей изображения лица, отпечатков пальцев, радужной оболочки глаза и изображения ушной раковины.

Анализ последних исследований и публикаций. Как показывают результаты [3; 5; 7], процесс нейросетевого анализа геометрических показателей БП можно условно разделить на этапы предобработки и собственно распознавания. Технология предобработки заключается в последовательном выполнении следующих шагов: анализ качества изображения, выделение внутренней и внешней границ, геометрическое преобразование выделенной области изображения для нормализации изображения. При заранее сформированной номенклатуре анализируемых показателей процесс распознавания заключается в определении значений этих показателей, формировании тестового образа и нейросетевом сравнении этого образа с одним или несколькими эталонами.

В научных работах [1; 4; 6] указано, что некорректность результатов нейросетевого анализа может быть вызвана разными условиями освещения, поворотом регистрируемых изображений, использованием различных средств видеорегистрации, помехами, характерными для определенного вида БП. Известные подходы для преодоления указанных трудностей связаны как с повышением эффективности средств видеорегистрации, так и с повышением эффективности нейросетевых средств анализа зарегистрированных параметров.

При этом данные [1; 2; 8] свидетельствуют о том, что повышение эффективности достигается за счет использования в средствах анализа сверточных нейронных сетей (далее – СНС). Так, разработан ряд СНС [8; 11], предназначенных для распознавания личности и эмоций пользователя, на основе анализа геометрии его лица при воздействии помех, характерных для информационных систем общего назначения. Показано, что использование СНС позволяет на 10–20% повысить точность распознавания и на 30–50% уменьшить вычислительную ресурсоемкость программно-аппаратной реализации. Схожие результаты получены в исследованиях [8; 12], посвященных применению нейросетевых технологий для распознавания личности пользователя на основании отпечатков пальцев, радужной оболочки глаза и геометрии ушной раковины. Также анализ упомянутых работ свидетельствует о том, что в доступной литературе отсутствует универсальный метод построения СНС, позволяющий реализовать адаптацию ее конструктивных параметров к распознаванию личности и эмоционального состояния пользователя на основе анализа геометрических показателей таких БП, как изо-

бражение лица, отпечатки пальцев, радужная оболочка глаза, изображение ушной раковины.

Постановка задачи. Основной целью публикации является совершенствование методологической базы и разработка метода применения сверточной нейронной сети для аутентификации и распознавания эмоционального состояния личности на основе анализа геометрических показателей биометрических параметров.

Изложение основного материала исследования. В соответствии с общеизвестной методологией разработки нейросетевых средств первый этап метода применения СНС соотносится с определением множества параметров, используемых для формирования входного поля сети. Поскольку анализируемые БП представляют собой изображение, цвет пикселей которого представлен в формате RGBA, то модель преобразования геометрических показателей во входные параметры СНС можно представить в виде:

$$q_x, q_y, q_R, q_G, q_B, q_A \rightarrow L, \quad (1)$$

$$L = \begin{pmatrix} I_{1,1} & \dots & I_{1,N} \\ \dots & \dots & \dots \\ I_{N,1} & \dots & I_{N,N} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где q_x, q_y – множество показателей, характеризующих координаты пикселей изображения, q_R, q_G, q_B, q_A – множество показателей, характеризующих каналы цвета каждого из пикселей, L – множество входных параметров СНС, N – размер входного поля СНС.

Второй этап метода связан с кодированием геометрических показателей для преобразования их к виду, пригодному для подачи в СНС. Отметим, что L представляет собой матрицу, каждый элемент которой соотносится с четырьмя коэффициентами, которые и являются входными параметрами СНС:

$$I_{x,y} = \{k_R, k_G, k_B, k_A\}. \quad (3)$$

Поскольку формат RGBA предполагает представление красного, зеленого и синего цвета числами от 0 до 255, а альфа-канала – от 0 до 1, то в первоначальном варианте кодирование входных параметров СНС возможно реализовать с помощью выражений вида:

$$k_z = q_z / 255, z \in \{R, G, B\}, \quad (4)$$

$$k_A = q_A \quad (5)$$

В дальнейшем для кодирования входных параметров возможно использовать аппарат вейвлет-преобразований:

$$W_{i,j} = a_i^{-\frac{1}{2}} \sum_{k=1}^p f(x_k) \psi\left(\frac{x_k - b_j}{a_i}\right), \quad (6)$$

где ψ – порождающий вейвлет, p – количество точек изображения, x_k – номер точки изображения, $f(x_k)$ – нормализованное значение интенсивности цвета, рассчитанное с помощью (4,5), a , b – масштаб и сдвиг вейвлета.

Отметим, что вейвлет-преобразование необходимо применить для всех каналов модели RGBA. В результате входное поле СНС будет ассоциировано с изображением вейвлет-спектрограммы. Третий этап метода связан с определением выходного поля СНС. Используя в качестве прототипа метод кодирования выходного сигнала СНС [12], предлагается выходные нейроны соотносить с заранее определенными классами. При распознавании эмоций этими классами являются номера базовых эмоций, а при аутентификации – номера личностей в базе данных учебных примеров. Следующие этапы метода соотносятся с адаптацией конструктивных параметров СНС к условиям распознавания. К основным конструктивным параметрам СНС относятся количество входных нейронов (L_{in}), количество выходных нейронов (L_{out}), количество полносвязных слоев (H), количество нейронов в полносвязных слоях (L_h), количество сверточных слоев (K_{con}), количество карт признаков в каждом сверточном слое (C_{con}), количество слоев субдискретизации (K_{sub}), масштабный коэффициент для каждого слоя субдискретизации (m_s), размер ядер свертки (b_{con}), смещение рецептивного поля (d) [4, 5]. Взаимосвязь между параметрами возможно определить так:

$$L_{in} = a(0) \times a(0), \quad (7)$$

$$s(l) = \frac{a(k)}{m_s(l)}, \quad (8)$$

$$a(k) = \frac{(a(k-1) - b(k) + r(k))}{d(k)} + 1, \quad (9)$$

$$2(C_{con}(K_{con}) + L_{out}) \leq L_h \leq P, \quad (10)$$

где $a(0)$ – размер входного поля, $s(l)$ – размер l -го слоя субдискретизации, $a(k)$, $r(k)$ – размер карты признаков и количество дополняющих нулей для k -го сверточного слоя, P – количество учебных примеров.

Предполагается, что адаптировать конструктивные параметры возможно по аналогии с тем, как эксперт проводит распознавание изображений, ассоциированных с БП. Интегрировав указанный подход с концепцией функционирования СНС, мы сформулировали принципы адаптации параметров СНС к поставленной задаче распознавания:

1. Количество слоев свертки должно быть равным количеству уровней распознавания экспертом изображения, ассоциированного с БП.

2. Количество карт признаков в i -ом слое свертки равно количеству признаков на i -ом уровне распознавания.

3. Размер ядра свертки для i -го слоя свертки должен быть равным размеру распознаваемых признаков на соответствующем уровне распознавания.

4. В результате реализаций всех процедур свертки и субдискретизации исходное двумерное изображение должно быть преобразовано в вектор, соответствующий первому полносвязному слою СНС.

Базируясь на предложенных элементах методологической базы, нами разработан метод применения СНС для распознавания биометрических параметров, укрупненная схема которого показана на рис. 1.

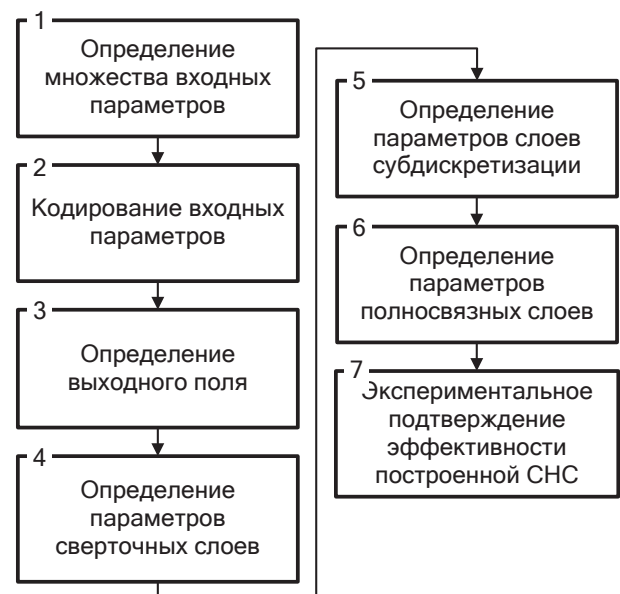


Рис. 1. Укрупненная схема метода применения СНС

Отметим, что реализация первых двух этапов метода базируется на разработанной модели преобразования геометрических показателей во входные параметры СНС, реализация четвертого и пятого этапов базируется на предложенных принципах адаптации конструктивных параметров.

Для верификации предложенных решений проведены эксперименты по распознаванию личности 100 пользователей на основании нейросетевого анализа радужной оболочки глаза. В качестве источника данных использовано 1000 изображений радужной оболочки глаз из базы данных CASIA-Iris-Interval, доступной по ссылке <http://biometrics.idealtest.org/>. Примеры использо-

ванних зображень з разрешенням 320x280 пікселів показані на рис. 2.

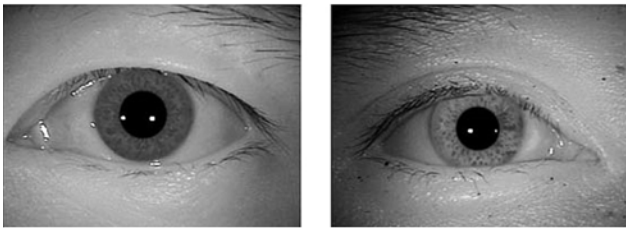


Рис. 2. Пример изображений глаз из базы данных CASIA-Iris-Interval 4.0

Проведений аналіз дозволяє утверждати, що зображення радужної оболонки вписується в квадрат розміром 280x280 пікселів. Піксели даного зображення прийнято використовувати в якості входних параметрів СНС. По тому розмір входного поля СНС $a(0)=280$. Кодування входних параметрів реалізовано з допомогою виражень (4, 5). Підставив значення $a(0)$ в (7), отримали $L_{in}=78\ 400$. Після цього в відповідності з принципом 1 путем експертного оцінювання визначено, що кількість рівнів розпізнавання радужної оболонки рівно 4, що відповідає кількості шарів свертки $K_{con}=4$. Також в відповідності з принципами 2 і 3 визначено, що на першому рівні розпізнавання цілесобразно детектувати 5 елементарних ознак розміром 5x5. Таким образом, $C_{con}(1)=5$, $b_{con}(1)=5$, $d=1$.

Прийнята передумова про відповідності карт ознак другого сверточного шару з 5-ю елементарними типами характерних ознак радужної оболонки, по-різному орієнтованих в просторі. Ураховуючи стійкість СНС до розпізнавання зображень з кутом повороту $\pm 15^\circ$, прийнято $C_{con}(2)=360/15 \times 5=120$. Кількість карт ознак третього і четвертого сверточного шару визначено виходячи з передумови про необхідності розпізнавання чотирьох по-різному орієнтованих комбінованих ознак радужної оболонки. З урахуванням стійкості до повороту на $\pm 15^\circ$ $C_{con}(3)=C_{con}(4)=360/15 \times 4=96$. Для всіх шарів

субдискретизації вибран масштабний коефіцієнт $m_s=4$. Решта конструктивні параметри СНС розраховані з допомогою виражень (8–10).

Побудована СНС реалізована програмно з використанням мови програмування Python і бібліотеки TensorFlow. В експериментах розраховувалась точність розпізнавання для тестових прикладів при 300 епохах навчання. Достигнута точність розпізнавання, рівна приблизно 0,95, що відповідає показателям найбільш сучасних систем подібного призначення [9; 12; 16; 18; 21] і свідчить про ефективність розробленого методу. Разом з тим недоліком методу є відсутність спеціалізованих процедур адаптації конструктивних параметрів СНС до шумів, які викликані поворотом і освітленням зображень, асоційованих з біометричними параметрами, що і визначає шляхи удосконалення даного методу.

Висновки. Розроблено метод застосування сверточної нейронної мережі для аутентифікації і розпізнавання емоційного стану особи на основі аналізу геометричних показників біометричних параметрів. В порівнянні з відомими рішеннями розробка передбачає використання в методі запропонованої моделі перетворення геометричних показників до входних параметрів сверточної нейронної мережі, а також запропонованих принципів адаптації, які дозволяють визначити основні параметри шарів свертки і субдискретизації. Експериментальним шляхом доведено, що використання запропонованого методу дозволило розробити нейронну мережу, точність якої на рівні 0,95, що відповідає найкращим сучасним рішенням аналогічного призначення. Показано цілесобразність подальших досліджень в напрямку підвищення ефективності нейронної мережі аналізу біометричних параметрів при впливі шумів, пов'язаних з поворотом і освітленням зображень, асоційованих з біометричними параметрами.

Список литературы:

1. Бобе А.С., Коньшев Д.В., Воротников С.А. Система распознавания базовых эмоций на основе анализа двигательных единиц лица. *Инженерный журнал: наука и инновации*. 2016. Вып. 9. С. 1–16.
2. Михайленко В.М., Терейковская Л.А. Обзор средств распознавания эмоционального состояния человека по геометрии лица. *Управління розвитком складних систем*. 2019. № 37. С. 178–184.
3. Терейковська Л.О. Нейромережева модель розпізнавання емоційного стану операторів автоматизованих робочих місць за клавіатурним почерком. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 1. № 4. С. 129–133.
4. Терейковська Л.О., Терейковський О.І. Нейромережева модель розпізнавання емоцій по зображенню обличчя. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 1 № 2. С. 209–213.

5. Нейросетевое распознавание рукописных символов в системе биометрической аутентификации / И.А. Терейковский и др. *Інформаційні технології в економіці та природокористуванні*. 2017. № 2. С. 29–44.
6. Determination of input parameters of the neural network model, intended for phoneme recognition of a voice signal in the systems of distance learning / B. Akhmetov et al. *International Journal of Electronics and Telecommunications*. 2018. Vol. 64. P. 425–432.
7. Anderson K., McOwan P. A realtime automated system for the recognition of human facial expressions. *Systems, man, and cybernetics. IEEE Transactions*. 2006. Vol. 36. P. 96–105.
8. Sabour S., Frosst N., Hinton G. Dynamic Routing Between Capsules. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 2017. P. 3857–3867.
9. An experimental investigation of infrasound influence hard drives of a computer system / I. Tereikovskiy et al. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. June. Vol. 9. Issue 6. P. 1558–1566.
10. Tereikovskaya L., Petrov O., Aleksander M. Prospects of neural networks in business models. *TransComp. Zakopanem. Poland*, 2015. P. 1539–1545.
11. Recognition of emotions by facial Geometry using a capsule neural network / L. Tereikovska et al. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. 2019. April. Vol. 10. Issue 04. P. 270–279.
12. Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems / L. Tereikovska et al. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. 2017. Vol. 6. №. 426. P. 217–224.

Tereikovska L.A., Tereikovskiy I.A. APPLICATION OF CONVENTIONAL NEURAL NETWORK FOR ANALYSIS OF BIOMETRIC PARAMETERS

The article is devoted to solving the problem of using hypotonic neural networks in the means of analyzing human biometric parameters for authentication and recognition of an emotional state. It has been determined that the unsatisfactory efficiency of such tools is associated with insufficient adaptation of the design parameters of the convolutional neural network to the conditions of use. It is proposed to correct this shortcoming by improving the methodological base and developing a method for using a convolutional neural network for authentication and recognition of a person's emotional state based on the analysis of geometric indicators of biometric parameters. As a result of the research carried out, a model for the formation of the input field of the hypotonic neural network was developed based on the geometric parameters of the images associated with the biometric parameters. The model provides for the possibility of coding the input parameters of the neural network using the mathematical apparatus of wavelet transforms. Also, a number of principles for adapting the constructive parameters of a convolutional neural network to the assigned recognition problem have been formed. The developed model of the input field and the principles of adaptation were formed, served as a methodological basis for building a method for using a convolutional neural network for recognizing biometric parameters. To verify the proposed solutions, experiments were carried out aimed at recognizing users' faces based on neural network analysis of iris images from the CASIA-Iris-Interval database. As a result of the computer experiments, it was shown that the use of the proposed method made it possible to construct a hypertrophic neural network, the recognition accuracy of which is about 0.95, which corresponds to the indicators of the most modern systems of this purpose. This confirms the effectiveness of the proposed method for applying a convolutional neural network. The expediency of further research in the direction of increasing the efficiency of neural network analysis of geometric indicators of biometric parameters under the influence of interference associated with the rotation and illumination of images associated with biometric parameters is shown.

Key words: biometric parameter, authentication, emotion recognition, convolutional neural network, recognition method.

Хорошевська І.О.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

Цема Є.І.

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

ЕТАПИ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИБОРУ ДИЗАЙН-КОНЦЕПТУ ЕТИКЕТКИ АЛКОГОЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

У статті запропоновано етапи методики створення веб-додатку, який виявляє ключові критерії під час вибору дизайн-концепту оформлення етикеток алкогольної продукції. Даний додаток пропонується розглядати як сучасний інструмент дизайнера для розроблення брендваної поліграфічної продукції. Робота додатку базується на комплексному аналізі вхідних даних для розроблення етикетки, які були зазначені виробником відповідно до виділених критеріїв. Описана в статті методика дозволяє оцінити важливість та пріоритетність заданих критеріїв на розроблення етикетки алкогольної продукції, які впливають на формування майбутнього дизайн-концепту, в особливості на зовнішнє оформлення та основний склад елементів. Проводиться чіткий зв'язок між вподобаннями цільової аудиторії та основними функціями етикетки. Реалізація етапів методики здійснюється на основі використання таких математичних методів: методу експертного оцінювання та методу аналізу ієрархій. Дана методика допомагає виявити критерії вибору дизайн-оформлення на базі функцій етикетки, оцінити рівень пріоритету кожного з визначених критеріїв, вибрати найбільш важливі та виявити послідовність їх виконання під час реалізації дизайн-оформлення етикетки для успішного виконання поставлених завдань від виробника (а саме: популяризації товару на ринку, формування лояльності бренду, збільшення кількості продажу тощо). Представлені етапи методики дозволяють розробити простий та ефективний веб-додаток для прийняття аргументованих рішень під час вибору дизайн-концепту етикетки з використанням математичного інструментарію. Надалі дані етапи методики можна використовувати як теоретико-методологічний інструментарій у розробці подібних веб-додатків різного напрямку. Для підвищення наочності процесу реалізації кожного з етапів методики вони представлені на прикладі розрахунків для веб-додатку (у вигляді посадкової сторінки веб-сайту), призначеного для збору рекомендацій щодо формування технічного завдання на розроблення дизайн-концепту етикетки алкогольної продукції.

Ключові слова: етапи методики, дизайн-концепт етикетки, групи, критерії, експерти, веб-додаток.

Постановка проблеми. У сучасному світі імідж будь-якої компанії формується завдяки багатьом елементам брендингу, основними з яких є фірмовий стиль та зовнішнє оформлення продукції. Відповідно до вибраного дизайн-концепту попит на товари може як зрости, так і зменшитись. Особливу увагу приділяють зовнішньому оформленню у сферах з великою кількістю аналогічних брендів-конкурентів, адже в такому випадку заволодіти більшою часткою ринку набагато складніше.

В Україні найбільш масштабним та сегментованим ринком вважається виробництво та продаж продукції підакцизної марки (алкогольних товарів). Даному комерційному ринку притаманний не лише широкий різновид асортименту, а й наявність представників виробництва як регіональ-

ного, так і міжнародного рівня. Таким чином, українські алкогольні компанії приділяють велику увагу становленню належного іміджу та репутації бренду, аби зберегти свою конкурентоспроможність на ринку.

Головним інструментом впливу на вибір споживача під час покупок є етикетка та упаковка відповідної торгової марки. Таким чином, неякісна або незрозуміла етикетка може відштовхнути покупця, навіть від високоякісного товару відомого бренду. Для створення ефективного дизайну потрібно враховувати множинну різноманітних факторів: потреби та вподобання цільової аудиторії відповідного продукту, функціональні можливості поліграфічного друку, змістовну інформативність та склад дизайн-елементів етикетки,

маркетинговий складник відповідних ринків для продажу та інші.

Зараз можна спостерігати велику кількість недоброякісного дизайн-оформлення алкогольних товарів на українському ринку. Більшість етикеток або упаковок не відповідають очікуванню або навіть потребам споживачів. Таким чином, компанії втрачають прибуток та лояльність покупців. Зазвичай основною проблемою під час розроблення дизайн-концепту етикетки для алкогольного бренду є відсутність маркетингового аналізу цільової аудиторії та ринку, виявлення «больових точок» споживача та чітко поставленого комерційного завдання. Тому дизайнеру важко врахувати множину факторів, виявити найважливіші та реалізувати їх у майбутньому дизайні етикетки.

З огляду на цю проблему тематика створення методики для розроблення змістовно-функціонального веб-додатку для прийняття обґрунтованих рішень із використанням математичного інструментарію є досить актуальною, адже велика кількість «слабких» компаній на ринку України зацікавлені в динамічному зростанні кількості продажів та «ідеалізації» власного бренду. Такий веб-продукт допоможе профільним спеціалістам збирати ключові вхідні дані та рекомендації для успішного формування концепту етикетки та реалізації «працюючого» дизайну.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, присвячених темі створення дизайн-концепту етикетки та пакування для алкогольної продукції [1–3], показав, що на даний момент немає методики, яка би враховувала множину всіх факторів, які впливають на вибір майбутнього дизайн-оформлення. В існуючих працях описується дана проблематика загалом та розглядається лише декілька комплексних методів та підходів щодо розроблення дизайну пакування певного алкогольного продукту. Так, наприклад, М.Б. Бірюкова вважає, що головне завдання дизайнера – не лише витримати всі естетичні та технологічні вимоги ринку, але й додати особистої індивідуальності [1]. Автор пропонує на основі загального враження умовно розподілити винні етикетки на три основні категорії: класичні, універсальні та сучасні. Для кожної категорії наводяться притаманні їм композиційні та стилістичні елементи. Альтернативні методи проектування дизайн-оформлення, які базуються на вподобаннях та потребах цільової аудиторії або практичному функціоналу етикетки та упаковки, в роботі не розглядаються. У праці авторів Н.Ф. Єфремова, Т.В. Лемешко і А.В. Чуркіна [2] розглядаються особливості спільної роботи інженера та художника-

конструктора на різних стадіях розроблення, визначається методологія маркетингових досліджень на етапі проектування. На базі класичних уявлень про технологічність конструкцій ведеться проектування тари та упаковки. Однак запропонована методика заснована лише на врахуванні технологічного аспекту. Вона не враховує інших критеріїв, пов'язаних зі стилістичним напрямом, вибором кольору, композицією та іншими елементами дизайну в проектуванні загального концепту оформлення алкогольних товарів. Праця [3] розкриває взаємозв'язок та взаємовплив між дизайном об'єкта та поведінкою покупців, якою можна керувати.

Таким чином, у наведених працях відсутні цілісне рішення стосовно виділення певних етапів, розкриття їх взаємозв'язку та причинно-наслідкового впливу, наведення доцільної послідовності їх реалізації на основі застосування математичних методів із прикладними розрахунками.

Отже, існує багато теоретичних та методологічних матеріалів на тему розроблення дизайну етикетки та пакування підакцизних товарів, однак немає комплексної методики для створення функціональних програмних засобів (вузькопрофільних веб-додатків), які б не лише враховували всі важливі фактори, від яких залежить вибір відповідного концепту, а й набагато полегшували процес проектування.

Постановка завдання. Прийняття рішення щодо відповідної дизайн-концепції етикетки алкогольної продукції повинно базуватись на детальному аналізі цільової аудиторії, виділенні найважливіших критеріїв для розроблення дизайн-оформлення та визначення послідовності їх реалізації.

Таким чином, необхідно розробити методику для створення веб-додатку, що полегшить процес вибору елементів дизайн-оформлення, підвищить ступінь обґрунтованості прийняття рішень щодо доцільності компонентів етикетки відповідно до заданих критеріїв та завдань виробника, особливо в розрізі реалізації завдання зі збільшення продажів та популяризації бренду.

Метою статті є розроблення методики для створення веб-додатку для вибору дизайн-концепту етикетки алкогольної продукції.

Виклад основного матеріалу дослідження. Запропонована методика створення веб-додатку для вибору дизайн-концепту етикетки алкогольної продукції складається з чотирьох етапів:

– етап 1: виділення ключових критеріїв етикетки на базі маркетингового аналізу цільової аудиторії та їх групування;

– етап 2: визначення ваги та виділення найбільш значущих критеріїв для прийняття рішень щодо вибору доцільних компонентів дизайну етикетки;

– етап 3: оцінювання рівня пріоритету кожної групи критеріїв для визначення їх послідовності та ступеня реалізації у веб-додатку;

– етап 4: визначення доцільного стилю для оформлення веб-додатку.

Розглянемо змістовне наповнення наведених етапів.

Зміст 1 етапу «Виділення ключових критеріїв етикетки на базі маркетингового аналізу цільової аудиторії та їх групування» полягає у формуванні множини критеріїв етикетки, за якими далі буде проектуватися дизайн. Для цього був попередньо виконаний підготовчий етап роботи, що включає [3]: маркетинговий аналіз ринку та цільової аудиторії, аналіз поточних трендів та конкурентних брендів, аналіз технологічних особливостей друку, аналіз рекомендацій та принципів розроблення етикеток.

У результаті проведеного аналізу, було виділено сорок різнотипних критеріїв етикетки, які були згруповані в чотири групи (A_p , при $p = \overline{1, 4}$) (1):

$$A_p = \langle a_1, a_2, a_3, a_4 \rangle, \quad (1)$$

де a_1 – активізація уваги;

a_2 – асоціація з брендом;

a_3 – виділення переваг;

a_4 – функціональне призначення.

Кожна група містить такі критерії (2):

$$P_a^u \in (p_{a=1}^{u \in \overline{1,10}}, p_{a=2}^{u \in \overline{1,10}}, p_{a=3}^{u \in \overline{1,10}}, p_{a=4}^{u \in \overline{1,10}}), \quad (2)$$

де P_a^u – це множина альтернативних критеріїв, які виконують відповідне функціональне завдання. Нижній індекс (a) у кожного з критеріїв вказує на приналежність певній групі (тобто функціональної мети), верхній індекс (u , при $u = \overline{1, n}$) вказує на порядковий номер у контексті даної групи.

Сукупність критеріїв є відкритою множиною, що може корегуватися та доповнюватися в залежності від особливостей процесу формування дизайн-концепту, особливостей продукції, ринку та інших факторів.

Розглянемо змістовне навантаження запропонованих P_a^u :

$p_{a=1}^{u \in \overline{1,10}}$ – альтернативні критерії групи «активізація уваги»: наявність колірних акцентів ($p_{a=1}^{u=1}$), наявність фото ($p_{a=1}^{u=2}$), наявність ілюстрацій від руки ($p_{a=1}^{u=3}$), наявність об'ємного комірця ($p_{a=1}^{u=4}$), наявність орнаменту ($p_{a=1}^{u=5}$), наявність тиснення фольгою ($p_{a=1}^{u=6}$), наявність декоративного шрифту ($p_{a=1}^{u=7}$), використання нетрадиційних матеріалів

($p_{a=1}^{u=8}$), наявність неординарної форми ($p_{a=1}^{u=9}$), наявність елементів, які корелюють з формою пляшки ($p_{a=1}^{u=10}$);

$p_{a=2}^{u \in \overline{1,10}}$ – альтернативні критерії групи «асоціація з брендом»: наявність логотипу ($p_{a=2}^{u=1}$), наявність фірмових кольорів ($p_{a=2}^{u=2}$), наявність фірмового шрифту ($p_{a=2}^{u=3}$), використання екоматеріалів ($p_{a=2}^{u=4}$), наявність brand-story ($p_{a=2}^{u=5}$), наявність взаємозв'язку кольору з емоцією ($p_{a=2}^{u=6}$), наявність ігрового елемента ($p_{a=2}^{u=7}$), наявність лімітованої серії ($p_{a=2}^{u=8}$), використання монохромних кольорів ($p_{a=2}^{u=9}$), використання аутентичних образів ($p_{a=2}^{u=10}$);

$p_{a=3}^{u \in \overline{1,10}}$ – альтернативні критерії групи «виділення переваг»: наявність коротких чітких формулювань ($p_{a=3}^{u=1}$), наявність QR-коду з точками продажу ($p_{a=3}^{u=2}$), наявність прозорого фону ($p_{a=3}^{u=3}$), наявність гармонійної композиції ($p_{a=3}^{u=4}$), ілюзія ручної роботи ($p_{a=3}^{u=5}$), наявність кольєретки ($p_{a=3}^{u=6}$), наявність коктейльної карти ($p_{a=3}^{u=7}$), наявність об'ємних елементів ($p_{a=3}^{u=8}$), стилізація дизайну до призначення ($p_{a=3}^{u=9}$), відсутність великої кількості деталей ($p_{a=3}^{u=10}$);

$p_{a=4}^{u \in \overline{1,10}}$ – альтернативні критерії групи «функціональне призначення»: наявність назви/знаку товару ($p_{a=4}^{u=1}$), наявність інформації про склад продукту ($p_{a=4}^{u=2}$), наявність дати виробництва та терміну зберігання ($p_{a=4}^{u=3}$), наявність номінальної кількості ($p_{a=4}^{u=4}$), наявність місцезнаходження виробника ($p_{a=4}^{u=5}$), позначка про наявність ГМО ($p_{a=4}^{u=6}$), позначка вікових обмежень ($p_{a=4}^{u=7}$), можливість багаторазового використання ($p_{a=4}^{u=8}$), наявність інформації про кількість вмісту спирту та цукру ($p_{a=4}^{u=9}$), наявність гарантійних обов'язків виробника ($p_{a=4}^{u=10}$).

На етапі 2 «Визначення ваги та виділення найбільш значущих критеріїв для прийняття рішень щодо вибору доцільних компонентів дизайну етикетки» був застосований метод аналізу ієрархій для визначення числових значень ступеню важливості попарно порівнювальних критеріїв (P_a^u) для кожної групи.

Для аналізу було побудовано чотири матриці парних порівнянь. Далі спеціаліст із розроблення дизайн-концептів етикеток порівнював критерії один з одним за допомогою 9-бальної шкали відносин (шкали ступеня значимості дій), запропонованої у [4; 5] для визначення найбільш доцільних із критеріїв. Для процедури оцінки було використане питання: «Наскільки один із критеріїв більш значущий відносно іншого для популяризації продукції на ринку?». Приклад оцінювання альтернативних критеріїв ($p_{a=1}^{u \in \overline{1,10}}$) групи (a_1) «активізація уваги» подано нижче (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця парних порівнянь групи (a₁) «активізація уваги»

$P_{a=1}^u$	$P_{a=1}^u$	$P_{a=1}^{u=1}$	$P_{a=1}^{u=2}$	$P_{a=1}^{u=3}$	$P_{a=1}^{u=4}$	$P_{a=1}^{u=5}$	$P_{a=1}^{u=6}$	$P_{a=1}^{u=7}$	$P_{a=1}^{u=8}$	$P_{a=1}^{u=9}$	$P_{a=1}^{u=10}$
$P_{a=1}^{u=1}$	1,00	7,00	5,00	0,14	5,00	0,33	2,00	0,50	0,33	0,50	
$P_{a=1}^{u=2}$	0,14	1,00	0,50	0,17	0,50	0,20	0,33	0,14	0,11	0,20	
$P_{a=1}^{u=3}$	0,20	2,00	1,00	0,14	2,00	0,50	0,50	0,33	0,14	0,50	
$P_{a=1}^{u=4}$	7,00	6,00	7,00	1,00	6,00	2,00	2,00	0,50	0,50	3,00	
$P_{a=1}^{u=5}$	0,20	2,00	0,50	0,17	1,00	0,50	0,33	0,33	0,20	0,50	
$P_{a=1}^{u=6}$	3,00	5,00	2,00	0,50	2,00	1,00	2,00	0,50	0,50	5,00	
$P_{a=1}^{u=7}$	0,50	3,00	2,00	0,50	3,00	0,50	1,00	0,50	0,50	5,00	
$P_{a=1}^{u=8}$	2,00	7,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	1,00	0,33	7,00	
$P_{a=1}^{u=9}$	3,00	9,00	7,00	2,00	5,00	2,00	2,00	3,00	1,00	0,33	
$P_{a=1}^{u=10}$	2,00	5,00	2,00	0,33	2,00	0,20	0,20	0,14	3,00	1,00	

Таблиця 2

Результати розрахунків для групи (a₁) «активізація уваги»

Показники Критерії	Сума значень j-го стовпця, M_a^j	Головний власний вектор, V_a^i	Нормований вектор пріоритетів, P_a^i	Власне число матриці, λ_{max}	Ранг, R
$P_{a=1}^{u=1}$	19,04	1,033	0,113	1,541	4
$P_{a=1}^{u=2}$	47,00	0,257	0,017	0,946	10
$P_{a=1}^{u=3}$	30,00	0,482	0,038	1,133	8
$P_{a=1}^{u=4}$	6,95	2,357	0,182	1,283	1
$P_{a=1}^{u=5}$	29,50	0,423	0,029	0,978	9
$P_{a=1}^{u=6}$	10,23	1,540	0,112	1,234	5
$P_{a=1}^{u=7}$	12,37	1,109	0,086	1,074	6
$P_{a=1}^{u=8}$	6,95	2,263	0,158	1,232	3
$P_{a=1}^{u=9}$	6,62	2,443	0,179	1,266	2
$P_{a=1}^{u=10}$	23,03	0,863	0,082	1,556	7

Для визначення вектору вагових коефіцієнтів критеріїв етикетки розраховувалася сума елементів кожного рядка, яка нормалізувалась діленням кожної суми на суму всіх елементів (тобто на загальну суму за всіма P_a^u). Далі особа, що приймає рішення, виконувала ранжування P_a^u за отриманими ваговими коефіцієнтами та відсікала менш важливі критерії, що дозволило зменшити їх кількість та підвищити ефективність додатку.

За результатами розрахунків (табл. 2), критеріями, які недоцільно реалізовувати у веб-додатку,

стали: $P_{a=1}^{u=2}$ – наявність фото, $P_{a=1}^{u=3}$ – наявність ілюстрацій від руки, $P_{a=1}^{u=5}$ – наявність орнаменту, $P_{a=1}^{u=10}$ – наявність елементів, які корелюють з формою пляшки.

На етапі 3 «Оцінювання рівня пріоритету кожної групи критеріїв для визначення їх послідовності та ступеня реалізації у веб-додатку» потрібно оцінити вагу кожної групи в цілому, використовуючи метод аналізу ієрархій для визначення числових значень ступеня важливості попарно порівнювальних груп (Ap). Процедура

порівняння була виконана по аналогії з попереднім етапом. Ключовим питанням було: «В якій мірі одна з груп критеріїв більш важлива за іншу для популяризації продукції на ринку?».

Для перевірки побудованих матриць для кожної групи було розраховано відношення погодженості за формулою (3):

$$ВП = ІП/ВІ, \text{ при } ІП = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}, \quad (3)$$

де ВП – відношення погодженості матриці;
ІП – індекс погодженості (за n – кількість значень матриці);

ВІ – випадковий індекс.

Результати розрахунків ВП наведені нижче (табл. 3).

У результаті розрахунків усі побудовані матриці мають відношення погодженості в допустимих межах від 0,1 до 0,3.

На етапі 4 «Визначення доцільного стилю для оформлення веб-додатку» дванадцяти експертам (E_n) було запропоновано провести оцінювання доцільності застосування певних стилів (ST_d): класичний (st₁), мінімалізм (st₂), корпоративний (st₃), арт-деко (st₄), ретро (st₅), хай-тек (st₆), ескізний (st₇), інформаційний (st₈), organic&natural (st₉), журнальний (st₁₀), типографічний (st₁₁), адаптивний (st₁₂), material (st₁₃), metro (st₁₄), apple-стиль (st₁₅), flat design (st₁₆), полігональний (st₁₇), гранж

(st₁₈), футуристичний (st₁₉), промо (st₂₀). Фрагмент експертного оцінювання стилів наведено в табл. 4.

Для експертного оцінювання була використана шкала від 1 (найбільш цікавий та популярний) до 20 (нецікавий та застарілий). Для перевірки узгодженості експертних оцінок розраховувався коефіцієнт конкордації (K), значення якого = 0,613. Результат свідчить про узгодженість думок експертів.

За результатами оцінювання найвищий ранг отримав стиль «мінімалізм» (st₂). Він рекомендується як найдоцільніший для візуалізації інтерфейсу веб-додатку для вибору дизайн-концепту етикетки.

Висновки. У статті наведено методику створення веб-додатку для вибору дизайн-концепту етикетки алкогольної продукції. Запропоновані етапи методики дозволяють прийняти обґрунтоване рішення щодо компонентів зовнішнього оформлення етикетки для успішної реалізації ефективного дизайну та виконання маркетингових завдань на ринку.

Використання методики надає можливість для створення програмного засобу для полегшення процесу проектування та підвищення ступеня обґрунтованості рішень у виборі дизайну етикеток алкогольної продукції. Надалі планується оцінити якість використання розробленої методики.

Таблиця 3

Відношення погодженості матриць парних порівнянь

Групи	ВІ	ІП	ВП
I група «Активізація уваги»	1,49	0,249	0,167
II група «Асоціація з брендом»	1,49	0,212	0,142
III група «Виділення переваг»	1,49	0,325	0,218
VI група «Функціональне призначення»	1,49	0,179	0,120

Таблиця 4

Фрагмент експертної оцінки стилів для візуального оформлення додатку

Експерти Стилі	Експерти										Ранг
	e1	e2	e3	e4	e5	e6	...	e11	e12		
st1	2	1	5	3	1	4	...	1	1	2	
st2	1	2	1	2	2	1	...	2	3	1	
...	
st20	5	4	4	4	5	3	...	5	4	5	

Список літератури:

1. Бирюкова М.Е. Традиции и современность в дизайне упаковки (на примере винной упаковки) : дис. ... канд. искусствovedения : 17.00.06. Москва, 2004. 163 с.
2. Ефремов Н.Ф., Лемешко Т.В., Чуркин А.В. Конструирование и дизайн тары и упаковки: учебник для вузов. Москва, 2004. 424 с.

3. Томас Хайн. Тотальная упаковка: неизвестная история и скрытые смыслы завлекательных коробок, банок, бутылок и других емкостей / пер. с англ. И. Форонова. Москва, 2017. 429 с.
4. Андрейчиков А.В. Андрейчикова О.Н. Анализ, синтез, планирование решений в экономике. Москва, 2002. 368 с.
5. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Москва, 1989. 316 с.

Khoroshevska I.O., Tsema E.I. STAGES OF THE METHOD OF CREATING A WEB-APPLICATION FOR IMPLEMENTATION OF THE PROCESS OF CHOOSING THE DESIGN CONCEPT OF ALCOHOL LABEL

The article proposes the methodology of creating a web application, which identifies the major criteria for choosing a design concept of labels artwork for alcoholic products. This application is proposed to be considered as a modern designer tool for the development of branded printing products. The application work is based on a comprehensive analysis of the input data for label design, which were specified by the manufacturer in accordance with the selected criteria. The technique described in the article allows to estimate the importance and priority of the set criteria for a development of alcohol products, which affect the formation of future design concept, especially the appearance and a main composition of the elements. There is a clear link between the preferences of the target audience and the main functions of the label. The implementation of the stages of the methodology is based on the use of the following mathematical methods: method of expert evaluation and method of analysis of hierarchies. This technique helps to identify the criteria for selecting a design based on the functions of the label, assess the level of priority of each of the defined criteria, select the most important and identify the sequence of their implementation during the design of the label to successfully complete the task from the manufacturer (namely: product promotion in the market, formation of brand loyalty, increase in sales, etc.). The presented stages of the methodology allow to develop a simple and effective web application for making informed decisions when choosing a label design concept, using mathematical tools. In the future, these stages of the methodology can be used as a theoretical and methodological tool in the development of similar web applications in different areas. To increase the clarity of implementation process of each stage of the methodology, they are presented on the example of calculations for the web application (as a job page of the website), designed to collect recommendations for the formation of the terms of reference for the development of the design concept of the label of alcoholic products.

Key words: method steps, label design concept, groups, criteria, experts, web application.

Чирін Д.А.

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

Гродов В.Ф.

Дніпровський державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ВІД СОНЯЧНИХ ПЛІВКОВИХ КОЛЕКТОРІВ З ТЕПЛОВИМ НАСОСОМ

Розглядається система із сонячного колектора плівкового типу та тепловий насос. Данна система може застосовуватись у системах гарячого водопостачання та опалення. Метою даної роботи є математичне моделювання, розроблення алгоритму програми і комп'ютерне моделювання системи із сонячного колектора плівкового типу та теплового насоса, за змінних умов його функціонування. Створена схема взаємодії сонячного колектора плівкового типу з тепловим насосом та баком-акумулятором. Схема характеризується контрольними пунктами циркуляції теплоносія – води. Для математичного моделювання роботи сонячного колектора плівкового типу застосовувались наші попередні експериментальні результати з побудовою емпіричних залежностей. При цьому використані три безрозмірні комплекси, які характеризують вплив температури повітря на різницю температур початкової і кінцевої води, фізичні розміри сонячного колектора, ефективність цього колектора. Для математичного моделювання роботи теплового насоса у взаємодії з колектором використовувались результати експериментальних досліджень із літературних джерел, де розглядалась взаємодія сонячного колектора (але не плівкового типу) з тепловим насосом.

Розроблена математична модель системи теплопостачання із сонячними колекторами плівкового типу і тепловим насосом. Математична модель представлена у вигляді гідравлічного ланцюга з регульованими параметрами. Ділянки гідравлічного ланцюга моделюють теплові процеси, що відбуваються в системі, а вузли відображають закони збереження маси та енергії теплоносіїв. Розроблено алгоритм вирішення задачі аналізу для побудованого гідравлічного ланцюга у вигляді простого ітераційного процесу. Для наочності алгоритму представлена блок-схема комп'ютерного моделювання системи за змінних параметрів. Важлива роль у моделюванні відведена отриманню таких важливих характеристик системи теплопостачання, як витрати корисної теплової енергії та витрати механічної (електричної) енергії для теплового насоса. Результати моделювання свідчать про досить високу ефективність роботи даної системи теплопостачання. Показано, що остаточне рішення про прийнятний режим роботи системи може бути зроблено на основі рішення задачі Парето.

Ключові слова: сонячний колектор плівкового типу, система теплопостачання, тепловий насос, математичне та комп'ютерне моделювання системи, безрозмірні комплекси.

Постановка проблеми. Збереження енергоресурсів планети за рахунок використання нетрадиційних видів енергії дає можливість технічного прогресу, конкурентоспроможності промисловості та комфортного життєзабезпечення. Для забезпечення опалення та гарячого водопостачання широко використовують сонячні колектори або теплові насоси, а поєднання в системі сонячних колекторів і теплового насоса надає незаперечні переваги.

Сонячні колектори плівкового типу приваблюють своєю простотою та низькими капітальними витратами. Бажано дослідити ефективність взаємодії сонячних колекторів плівкового типу

та теплового насоса методами математичного та комп'ютерного моделювання, що раніше не робилось.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Модель сонячного колектора плівкового типу використовує сонячну енергію і нагріває рідинний теплоносіє, наприклад, воду. Серед різних типів колекторів розроблені сонячні колектори, які застосовують теплообмін у плівці рідини [1, с. 195]. У деяких дослідженнях [2, с. 235–237], [3, с. 12–15] викладені результати математичного моделювання сонячного колектора плівкового типу. У роботах [4–10] викладені результати математичного моделювання систем теплопостачання із сонячними

колекторами та тепловими насосами. Але взаємодія сонячного колектора плівкового типу та теплового насоса раніше не розглядалась.

Постановка завдання. Мета роботи – розробити математичну модель системи теплопостачання із сонячними колекторами плівкового типу та тепловим насосом; на основі комп’ютерного моделювання отримати оцінку ефективності взаємодії сонячних колекторів плівкового типу з тепловим насосом та вказати напрями вибору режимів роботи такої системи.

Виклад основного матеріалу дослідження. На основі розробленого сонячного колектора плівкового типу [1, с. 195] побудована схема системи теплопостачання з тепловим насосом та баком-акумулятором (рис. 1).

Теплоносій (вода) з початковою температурою в пункті 1 поступає в сонячний колектор плівкового типу (СК), після нагрівання отримуємо теплоносій у пункті 2 з відповідними характеристиками, далі теплоносій входить до зовнішнього контуру теплового насосу (НП) в пункті 3, охолоджується до відповідної температури в пункті 4 і повертається до системи СК у пункт 1. Внутрішній контур НП починається в пункті 5 з початковою температурою теплоносія, за рахунок енергії теплоносія від зовнішнього контуру відбувається нагрів теплоносія, і маємо гарячу воду в пункті 6, яка передається до бака-акумулятора в пункт 7. У нижній точці бака-акумулятора пункт 8 відбувається відбір холодного теплоносія. Пункти 9 та 10 – це подача і відбір теплоносія (води) до споживача.

Для моделювання роботи сонячного колектора використовувались безрозмірні комплекси у відповідності з [3, с. 12]:

$$p_1 = \frac{\Delta T}{T_{нов}}, \quad (1)$$

де ΔT – різниця температур води між входом та виходом сонячного колектора, $T_{нов}$ – температура повітря. Температурний комплекс p_1 характеризує вплив температури повітря на різницю температур початкової і кінцевої води.

$$p_2 = \frac{h^2}{F}, \quad (2)$$

де h – відстані між прозорою та сорбуючою поверхнями, F – площа сорбуючої поверхні. Другий комплекс характеризує фізичні розміри сонячного колектора.

$$p_3 = \frac{C_{вод} * G * \Delta T}{q_{сон} * F}, \quad (3)$$

де $C_{вод}$ – теплоємність води, G – витрати води, $q_{сон}$ – інтенсивність сонячної радіації. Третій безрозмірний комплекс характеризує ефективність сонячного колектора.

Для комплексу p_3 маємо залежність

$$f(p_1; p_2) = 0,51 - 0,295 \cdot p_1 + 0,0027 \cdot (1 - p_2) + 3,5 \cdot p_1^2 - 0,23 \cdot (1 - p_2)^2, \quad (4)$$

Для моделювання роботи теплового насосу використано результати [10, с. 67]. Температура теплоносія на виході теплового насоса визначається як регресійна залежність

$$T_6 = C1 + D1 * (T_3 - T_4), \quad (5)$$

де коефіцієнти регресійної залежності отримані за результатами роботи [10, с. 71] у вигляді $C1 = 32,5$; $D1 = 1,07$.

Значення коефіцієнту перетворення енергії в теплову енергію на виході теплового насоса

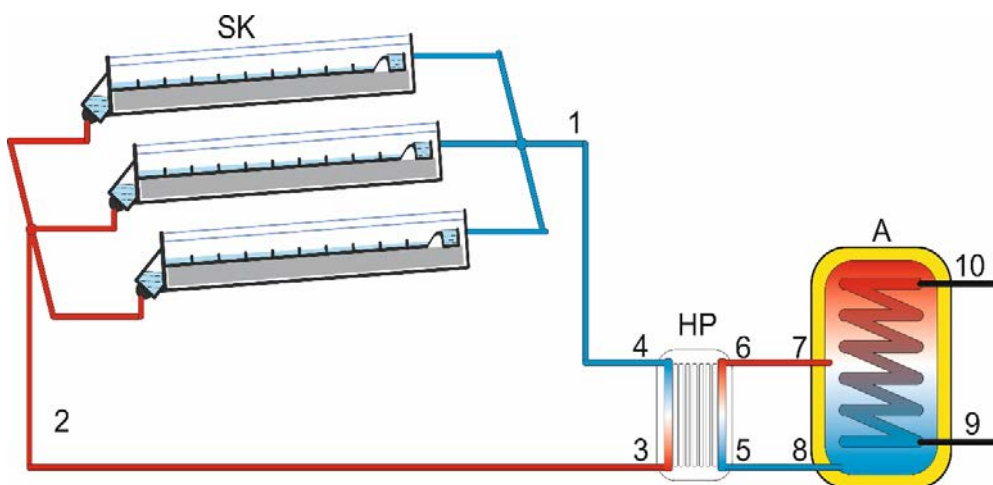


Рис. 1. Принципова схема взаємодії сонячного колектора плівкового типу з тепловим насосом та баком-акумулятором

визначається також за результатами роботи [10, с. 71] у вигляді

$$\text{COP} = 5.75 - 0.107 \cdot (T_3 - T_4), \quad (6)$$

де T_3 та T_4 – значення температур у відповідних точках принципової схеми (рис. 1) взаємодії сонячного колектора з тепловим насосом.

На рис. 2 зображено схему алгоритму обчислення характеристик системи:

Результати комп'ютерного моделювання режимів роботи системи теплопостачання з плівковими сонячними колекторами та тепловим насосом при $Q_{\text{sun}} = 200 \text{ Вт}$, $F = 1 \text{ м}^2$, $T_{\text{nach}} = 20^\circ\text{C}$ наведені нижче (у розрахунку на один колектор із системи сонячних колекторів).

$$V = 0.005 \text{ кг/с}$$

$$P_{11}, P_{12}, P_{13} = 0.1410858, 0.00043, 0.3109445$$

$$Q_{\text{NAGRinlet}}, D_{\text{Tinlet}}, T_1; T_2 = 62.1889, 2.961376, 20, 22.96138$$

$$T_6 = 34.59867$$

$$\text{COP} = 5.540133$$

$$Q_{\text{MEX}} = 13.6976$$

$$Q_{\text{NAGRoutlet}} = 75.8865$$

$$D_{\text{Toutlet}} = 3.613643$$

$$V = 0.007 \text{ кг/с}$$

$$P_{11}, P_{12}, P_{13} = 0.09498947, 0.00043, 0.2864552$$

$$Q_{\text{NAGRinlet}}, D_{\text{Tinlet}}, T_1; T_2 = 57.29104, 1.948675, 20, 21.94868$$

$$T_6 = 33.51508$$

$$\text{COP} = 5.648492$$

$$Q_{\text{MEX}} = 12.32465$$

$$Q_{\text{NAGRoutlet}} = 69.61569$$

$$D_{\text{Toutlet}} = 2.367881$$

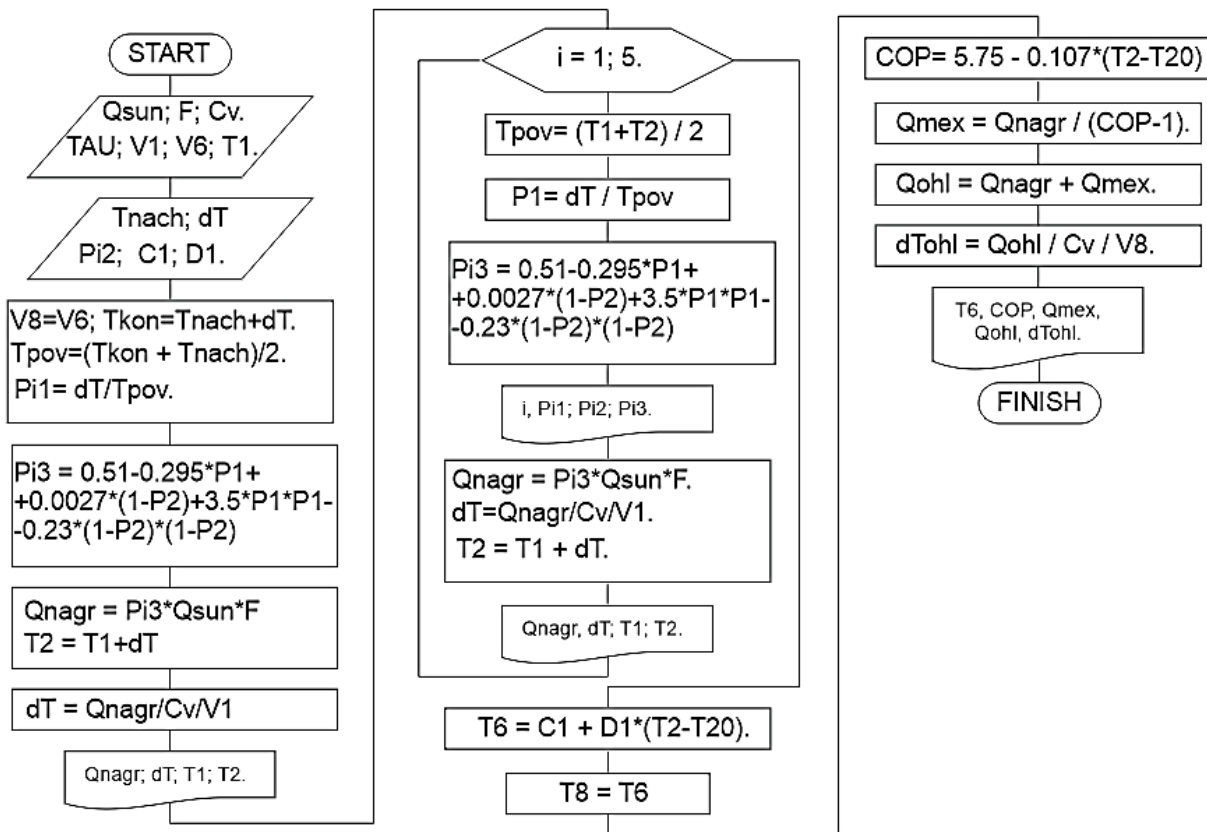


Рис. 2. Алгоритм обчислення характеристик системи

де: Q_{sun} – інтенсивність сонячного випромінювання;

F – площа поверхні колектору;

C_v – теплоємність води;

TAU – інтервал часу;

$V(i)$ – обсяг води в (i) пункті;

T_{nach} – початкова температура води в сонячному колекторі;

T_{kon} – кінцева температура води в сонячному колекторі;

dT – різниця температур;

P_1, P_2, P_3 – безрозмірні комплекси.

$V = 0.003$ кг/с
 $PI1, PI2, PI3 = 0.2826929, 0.00043, 0.4792056$
QNAGRinlet; DTinlet; T1; T2= 95.84113,
7.606439, 20, 27.60644
T6 = 39.56889
COP = 5.043111
QMEX = 23.7048
QNAGRoutlet = 119.5459
DToutlet = 9.487771

З результатів комп'ютерного моделювання можна побачити, що збільшення циркуляції теплоносія в контурі подачі сонячного колектора призводить до збільшення отримання корисної теплової енергії, а також одночасно до збільшення витрат механічної енергії, що використовуються тепловим насосом. Таким чином, ці важливі критерії роботи системи «сонячний колектор плівкового типу та тепловий насос» знаходяться в протиріччі: бажання отримати більше корисної теплової енергії в результаті роботи такої системи стикається з більшими витратами механічної (електричної) енергії для теплового насоса компресійного типу. Приймати керуюче рішення щодо режиму роботи

системи можливо в результаті рішення задачі багатокритеріальної оптимізації, використовуючи, наприклад, алгоритм багатокритеріальної оптимізації за наявності бінарних відношень вибору [11].

Висновки. Розроблена математична модель роботи системи тепlopостачання від сонячних колекторів плівкового типу та теплового насосу. Для сонячних колекторів плівкового типу застосовувались результати експериментального дослідження та моделювання роботи сонячного колектора плівкового типу. Для моделювання взаємодії теплового насоса із сонячними колекторами використовувались результати моделювання з літературних джерел. Виконане комп'ютерне моделювання, яке показало наявність двох вихідних критеріїв роботи такої системи тепlopостачання. Показано, що бажання отримати більше корисної теплової енергії в результаті роботи такої системи стикається з більшими витратами механічної (електричної) енергії для теплового насоса компресійного типу. Приймати остаточне керуюче рішення щодо режиму роботи системи можливо в результаті рішення задачі багатокритеріальної оптимізації (рішення Парето).

Список літератури:

1. Чирін Д.А., Іродов В.Ф., Чорнойван А.А. Експериментальні дослідження сонячного колектору плівкового типу. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського*. Київ, 2019. № 30 (69). С. 194–198.
2. Чирин Д.А., Іродов В.Ф. Математическое моделирование системы теплоснабжения потребителя с использованием солнечного коллектора пленочного типа. *Строительство, материаловедение, машиностроение* : сб. науч. тр. Приднепр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. Днепро, 2017. Вып. 101. С. 234–238.
3. Chirin D.A., Irodov V.F. Creation mathematical model of a film solar collector using evolutionary search. *East European Scientific Journal*. 2019. 51 (4): 11–17.
4. Li PX., Rong WG. Study of the characteristics of compressor in waster source heat pump set under variant operating conditions. *Refrigeration and Air Condition*. 2003. 3 (2): 1–4. (in Chinese).
5. Long J, Huang S. Study on energy efficiency evaluation method of cooling water system of surface water source heat pump. *LectureNotes in Electrical Engineering*. 2014. 262: 333–340.
6. Evaluation of the performance of a centralized ground-water heat pump system in cold climate region / S. Lu et al. *Frontiers in Energy*. 2014. 8: 394–402.
7. Jin H. Parameter estimation based on model of water source heatpumps. PhD Thesis, Oklahoma State University, USA, 2002.
8. Jie JH. Simplified calculation of horizontal shell and tube condenser. *Fluid Machinery*. 1994. 9 (22): 61–63. (in Chinese).
9. New optimized model for water temperature calculation of river-water source heat pump and its application in simulation of energy consumption / P. Si et al. 2015. *Renewable Energy*. 84: 65–73.
10. Simulation and analysis on thermodynamic performance of surface water source heat pump system / Lv. Nan et al. BUILD SIMUL. 2017. 10: 65–73.
11. Irodov V.F., Chornomorets G.Y., Barsuk R.V. Multiobjective Optimization at Evolutionary Search with Binary Choice Relation. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2020. № 56 (3). 449–454.

Chirin D.A., Irodov V.F. MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF HEAT SUPPLY SYSTEM FROM SOLAR FILM COLLECTORS WITH HEAT PUMP

A film-type solar collector system and a heat pump are considered. This system can be used in hot water supply and heating systems. The aim of this work is mathematical modeling, development of the program algorithm and computer modeling of the system from a film-type solar collector and a heat pump, under

changing conditions of its operation. A scheme of interaction of a film-type solar collector with a heat pump and a storage tank has been created. The scheme is characterized by control points of circulation of the heat carrier - water. Three dimensionless complexes that characterize the effect of air temperature on the temperature difference between the initial and final water, the physical size of the solar collector, the efficiency of the solar collector. For mathematical modeling of the heat pump in interaction with the collector, the results of experimental studies from literature sources were used, where the interaction of the solar collector (but not the film type) with the heat pump was considered. A mathematical model of the heat supply system with film-type solar collectors and a heat pump has been developed. The mathematical model is presented in the form of a hydraulic chain with adjustable parameters. The sections of the hydraulic circuit simulate the thermal processes occurring in the system, and the nodes reflect the laws of conservation of mass and energy of heat carriers. An algorithm for solving the analysis problem for the constructed hydraulic circuit in the form of a simple iterative process is developed. For clarity of the algorithm, a block diagram of computer modeling of the system with variable parameters is presented. An important role in the modeling is given to obtaining such important characteristics of the heat supply system as the consumption of useful thermal energy and the consumption of mechanical (electrical) energy for the heat pump. The simulation results indicate a fairly high efficiency of the considered heat supply system. It is shown that the final decision on the adopted mode of operation of the system can be made on the basis of the solution of the Pareto problem.

Key words: *film-type solar collector, heat supply system, heat pump, mathematical and computer modeling of the system, dimensionless complexes.*

Шілінг А.Ю.

Національний університет «Львівська політехніка»

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОПРАЦЮВАННЯ ОСВІТНЬОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ АБІТУРІЄНТІВ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ В ХОДІ ВСТУПНОЇ КАМПАНІЇ

Ефективне планування надання освітніх послуг закладами вищої освіти є запорукою їх функціонування та конкурентоспроможності на ринку освітніх послуг. У статті виявлено та проаналізовано механізм удосконалення технології опрацювання освітньої інформації для абітурієнтів закладу вищої освіти в ході вступної кампанії. Введено поняття суміжного зв'язку спеціальностей закладу вищої освіти, який ґрунтується на наявності відповідних сертифікатів зовнішнього незалежного оцінювання. Встановлено можливість додаткового інформування потенційних споживачів освітніх послуг про наявність спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком з вибраною спеціальністю. У статті сформовано диференціацію груп суміжного зв'язку для вибраної спеціальності відповідно до можливості інших спеціальностей замінити її в ході вступної кампанії на основі кола інтересів та мотиваційних намірів потенційних абітурієнтів. Стаття містить формальний опис груп суміжного зв'язку спеціальностей відповідно до наявних сертифікатів зовнішнього незалежного оцінювання. Виявлено, що розширення пропозиції освітньої послуги передбачає додаткове інформування абітурієнтів щодо наявності спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II, III груп із вибраною спеціальністю. У статті встановлено вплив додаткового інформування потенційних абітурієнтів у ході вступної кампанії на вибір ними майбутньої спеціальності на основі позитивної динаміки поданих заяв та зарахованих споживачів освітніх послуг на прикладі спеціальності «Комп'ютерні науки» та спеціальностей Національного університету «Львівська Політехніка», які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи за період вступних кампаній 2017–2019 рр. Результати дослідження застосовуються і можуть бути використані для ефективного планування освітніх послуг закладами вищої освіти та прогнозування контингенту студентів у ході вступної кампанії.

Ключові слова: абітурієнт, суміжний зв'язок, зовнішнє незалежне оцінювання, вступна кампанія, освітня інформація.

Постановка проблеми. Заклади вищої освіти (далі – ЗВО) є осередком професійного становлення молоді. Ефективне функціонування закладів вищої освіти в ринкових умовах залежить від продуманого підходу до засобів планування освітніх послуг. Вступна кампанія є першим етапом професійного вибору для молодого покоління, який ґрунтується на інтересах та мотиваційних намірах потенційних абітурієнтів. Показником кола інтересів потенційних абітурієнтів є наявні сертифікати зовнішнього незалежного оцінювання (далі – ЗНО).

У ході вступної кампанії потенційні абітурієнти вибирають або спеціальність, або заклад вищої освіти [1]. Основним індикатором вибору потенційних абітурієнтів є кількість та величина вказаних пріоритетів. Вибираючи заклад вищої освіти, потенційні споживачі освітніх послуг не завжди володіють повною інформацією про всі спеціальності для вступу з наявними сертифікатами ЗНО. Це зумовлено тим, що ЗВО щороку

оновлюють каталог освітніх послуг та відкривають нові перспективні спеціальності для вступу. Відповідно до результатів дослідження [2] частина спеціальностей ЗВО не користуються популярністю у споживачів освітніх послуг, причому кількість вступних заяв і зарахованих абітурієнтів не покриває ліцензійного обсягу спеціальності.

Враховуючи те, що для різних спеціальностей ЗВО передбачений певний набір сертифікатів, можна стверджувати, що існує потреба додаткового інформування потенційних споживачів освітніх послуг про наявність усіх спеціальностей, які враховують коло їхніх інтересів. Це у свою чергу дає можливість розширення пропозиції освітньої послуги ЗВО для потенційних абітурієнтів і змогу отримати відповідь на питання «куди можна поступити з наявними сертифікатами», а для ЗВО – «не втратити свого студента». Саме тому в статті запропоновано вдосконалення технології опрацювання освітньої інформації для абітурієнтів закладу вищої освіти в ході вступної кампанії на основі наявних

спеціальностей ЗВО та кола інтересів потенційних споживачів освітніх послуг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес вибору спеціальності та ЗВО відбувається задовго до офіційного проведення вступної кампанії.

Мотиваційні наміри потенційних абітурієнтів [3] та соціальні впливи [4–6] беруть безпосередню участь у процесі вибору спеціальності чи ЗВО майбутнім абітурієнтом.

З боку ЗВО врахування факторів, які впливають на формування попиту на освітні послуги і пропозиції щодо їх реалізації на основі лінгвістичного аналізу [7], глобальний вимір діяльності ЗВО [8], чинники впливу на процес вибору закладу вищої освіти потенційним абітурієнтом та визначення механізмів впливу на формування контингенту студентів [9], багатоступеневий процес створення інформаційного образу університету [10] та постійний моніторинг якості системи вступу [11–13], є необхідною умовою для ефективного та конкурентоспроможного функціонування ЗВО на ринку освітніх послуг.

Існуючі дослідження планування надання освітніх послуг ЗВО ґрунтуються на формуванні пропозиції освітніх послуг та виявленні залежності вибору спеціальностей відповідно до мотиваційних намірів потенційних абітурієнтів для можливості прогнозування контингенту споживачів освітніх послуг за результатами вступної кампанії. Але жодне з досліджень не розглядає вдосконалення технології опрацювання освітньої інформації для абітурієнтів ЗВО в ході вступної кампанії на основі додаткового інформування абітурієнтів про наявні спеціальності з урахуванням кола їхніх інтересів, що формує *актуальність* та *новизну* даного дослідження.

Отже, метою даного дослідження є вдосконалення технології опрацювання освітньої інформації ЗВО для потенційних абітурієнтів у ході вступної кампанії.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що результати дослідження можна використовувати для покращення користувацького інтерфейсу довідкових систем ЗВО для потенційних абітурієнтів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Механізм удосконалення технології опрацювання освітньої інформації для потенційних абітурієнтів у ході вступної кампанії. Вибираючи спеціальність і/або заклад вищої освіти, потенційні абітурієнти ознайомлюються з пропозицією освітніх послуг ЗВО. У загальному випадку пропозиція освітніх послуг для потенційних абітурієнтів має вигляд [14]:

$$EduPr\ oposition_i = \left\langle EntryYear, Spec_i, EduLevel, EduForm, Department, \right\rangle, \quad (1)$$

$$\left\langle EntryCourse_i, LicQuantity_i, EduPr\ ogram_i \right\rangle,$$

де *EntryYear* – рік вступу, *Spec_i*, – *i*-та спеціальність у переліку підготовки ЗВО, *EduLevel* – освітньо-кваліфікаційний рівень, *EduForm* – форма навчання, *Department* – підрозділ ЗВО, який здійснює підготовку, *EntryCourse_i* – перелік предметів для складання ЗНО для вступу на *i*-ту спеціальність [15], *LicQuantity_i* – ліцензійний обсяг *i*-ї спеціальності, *EduProgram_i* – інформація про освітню програму *i*-ї спеціальності.

Зокрема, перелік предметів для складання ЗНО для вступу на *i*-ту спеціальність – це множина:

$$EntryCourse_i = \{SelectCourse_{ij}\}_{j=1}^{N(SelectCourse_i)}, \quad (2)$$

де *SelectCourse_{ij}* ($j = \bar{1}, \bar{3}$) – множина предметів для складання ЗНО для вступу на *i*-ту спеціальність, $N(SelectCourse_i)$ – кількість предметів складання ЗНО для вступу на *i*-ту спеціальність.

Кожна спеціальність щодо іншої володіє суміжним зв'язком.

Суміжний зв'язок – це здатність однієї спеціальності замінити іншу в ході вступної кампанії, не впливаючи на коло інтересів потенційного абітурієнта. Спеціальність, яка володіє суміжним зв'язком відносно вибраної, – це кортеж:

$$Re\ lateCourse_i = \left\langle Re\ lateMainCourse_i, \{Re\ lateSelectCourse_{ij}\}_{j=1}^{N(Re\ lateSelectCourse_i)} \right\rangle, \quad (3)$$

де *Re lateMainCourse_i* – обов'язковий предмет для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв'язком з *i*-ю спеціальністю вступу, $\{Re\ lateSelectCourse_{ij}\}_{j=1}^{N(Re\ lateSelectCourse_i)}$ – множина вибіркового предметів для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв'язком з *i*-ю спеціальністю вступу, $N(Re\ lateSelectCourse_i)$ – кількість вибіркового предметів для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв'язком з *i*-ю спеціальністю вступу.

Відповідно до суміжного зв'язку спеціальності можна поділити на такі групи:

I група – спеціальності із сильним суміжним зв'язком. Такі спеціальності мають однакові обов'язкові предмети та предмети на вибір для складання ЗНО.

Отже, суміжний зв'язок I групи має вигляд:

$$EntryCourse_i \cap Re\ lateEntryCourse_i = \left\langle MainCourse_i, \{SelectCourse_{ij}\}_{j=1}^{N(SelectCourse_i)} \right\rangle, \quad (4)$$

де *MainCourse_i* – обов'язковий предмет *i*-ї спеціальності, причому *MainCourse_i* = *Re lateMainCourse_i*,

де $Re\ late\ Main\ Course_i$ – обов’язковий предмет для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв’язком з i -ю спеціальністю вступу; $\{Select\ Course_{ij}\}_{j=1}^{N(Select\ Course_i)}$ – множина предметів на вибір i -ї спеціальності, причому $\{Select\ Course_{ij}\}_{j=1}^{N(Select\ Course_i)} = \{Re\ late\ Select\ Course_{ij}\}_{j=1}^{N(Select\ Course_i)}$, де $\{Re\ late\ Select\ Course_{ij}\}_{j=1}^{N(Select\ Course_i)}$ – множина вибіркових предметів для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв’язком з i -ю спеціальністю вступу; $N(Select\ Course_i)$ – кількість предметів на вибір для складання ЗНО для i -ї спеціальності.

II група – спеціальності із середнім суміжним зв’язком. Ці спеціальності характеризуються однаковим переліком обов’язкових предметів ЗНО та одним із вибіркових предметів.

Суміжний зв’язок II групи має вигляд:

$$Entry\ Course_i \cap Re\ late\ Entry\ Course_i = \langle Main\ Course_i, Select\ Course_i \rangle, \quad (5)$$

де $Main\ Course_i$ – обов’язковий предмет i -ї спеціальності, причому $Main\ Course_i = Re\ late\ Main\ Course_i$, де $Re\ late\ Main\ Course_i$ – обов’язковий предмет для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв’язком з i -ю спеціальністю вступу; $Select\ Course_i$ – один із предметів на вибір i -ї спеціальності, причому $Select\ Course_i = Re\ late\ Select\ Course_i$, де $Re\ late\ Select\ Course_i$ – один із вибіркових предметів для складання ЗНО для спеціальності, яка володіє суміжним зв’язком з i -ю спеціальністю вступу.

III група – спеціальності зі слабким суміжним зв’язком. Це спеціальності, в яких один з основних предметів є в переліку вибіркових предметів іншої спеціальності, а вибірковий є основним.

Суміжний зв’язок III групи має вигляд:

$$Entry\ Course_i \cap Re\ late\ Entry\ Course_i = \langle Re\ late\ Select\ Course_i, Re\ late\ Main\ Course_i \rangle \quad (6)$$

де $Re\ late\ Select\ Course_i$ – один із предметів на вибір суміжної спеціальності, який є обов’язковим для i -ї спеціальності, тобто $Re\ late\ Select\ Course_i = Main\ Course_i$, де $Main\ Course_i$ – обов’язковий предмет i -ї спеціальності; $Re\ late\ Main\ Course_i$ – обов’язковий предмет суміжної спеціальності, який є одним із вибіркових для відповідної i -ї спеціальності, тобто $Re\ late\ Main\ Course_i = Select\ Course_i$, де $Select\ Course_i$ – один із предметів на вибір i -ї спеціальності.

IV група – спеціальності без суміжного зв’язку. Ці спеціальності не можуть замінити одна одну в ході вступної кампанії, оскільки множини необхідних сертифікатів повністю відрізняються.

Суміжний зв’язок IV групи має вигляд:

$$Entry\ Course_i \cap Re\ late\ Entry\ Course_i = 0, \quad (7)$$

де $Entry\ Course_i$ – предмети для складання ЗНО, які визначені для вступу на i -ту спеціальність, $Re\ late\ Entry\ Course_i$ – предмети для складання ЗНО, які визначені для вступу на суміжні спеціальності, які володіють суміжним зв’язком з i -тою спеціальністю.

Спеціальності, які володіють суміжним зв’язком I, II та III груп, дають можливість вступу на одну зі спеціальностей, які враховують коло інтересів потенційного абітурієнта з наявними сертифікатами ЗНО. Саме тому ЗВО має змогу розширити пропозицію освітніх послуг для потенційних абітурієнтів та в повній мірі задовольнити потреби споживачів освітніх послуг, урахувавши їхні інтереси.

Отже, розширена пропозиція освітніх послуг закладами вищої освіти в ході вступної кампанії має вигляд:

$$Entry\ Edu\ Pr\ oposition_i = \langle Entry\ Year, Spec_i, Edu\ Level, Edu\ Form, Department, Entry\ Course_i, \langle Re\ late\ Entry\ Course_i^{(I,II,III)}, Lic\ Quantity_i, Edu\ Pr\ ogram_i \rangle \rangle, \quad (8)$$

де $Entry\ Year$ – рік вступу, $Spec_i$ – i -та спеціальність у переліку підготовки ЗВО, $Edu\ Level$ – освітньо-кваліфікаційний рівень, $Edu\ Form$ – форма навчання, $Department$ – підрозділ ЗВО, який здійснює підготовку, $Entry\ Course_i$ – перелік предметів для складання ЗНО для вступу на i -ту спеціальність, $Re\ late\ Entry\ Course_i^{(I,II,III)}$ – спеціальності, які володіють суміжним зв’язком I, II, III групи відносно i -ї спеціальності вступу. $Lic\ Quantity_i$ – ліцензійний обсяг i -ї спеціальності, $Edu\ Program_i$ – інформація про освітню програму i -ї спеціальності.

Отже, розширення пропозиції освітніх послуг передбачає додаткове інформування абітурієнтів щодо наявності суміжних спеціальностей, які володіють суміжним зв’язком I, II, III груп. Це дозволяє вдосконалити технології опрацювання освітньої інформації для абітурієнтів ЗВО в ході вступної кампанії.

Такий підхід, з одного боку, дав змогу значно розширити можливості вступу для потенційних абітурієнтів у залежності від складених предметів ЗНО, а з другого – збільшити кількість потенційних абітурієнтів для спеціальностей, які не характеризуються значною популярністю, але є не менш важливими для здобуття вибраної спеціальності або задоволення потреби потенційного абітурієнта.

Аналіз отриманих результатів. Вдосконалення технології опрацювання освітньої інформації для потенційних абітурієнтів у ході вступної кампанії на основі додаткового інформування

потенційних абітурієнтів про наявність спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II, III груп із вибраною спеціальністю, використано в ході вступної кампанії 2019 р. Національного університету «Львівська політехніка».

Аналіз результатів вступних кампаній 2017–2019 рр. показує, що найпопулярнішою спеціальністю цих років є «Комп'ютерні науки». Суміжний зв'язок спеціальності «Комп'ютерні науки» з іншими спеціальностями вступу показано в таблиці 1. Варто зауважити, що один предмет, визначений правилами вступу, є обов'язковим для всіх спеціальностей, саме тому він не впливає на можливість розширення освітньої послуги (станом на 2019 р. це «Українська мова»).

Отже, одними із суміжних спеціальностей для вступу для спеціальності «Комп'ютерні науки» є «Системний аналіз» (суміжний зв'язок I групи), «Публічне управління та адміністрування» (суміжний зв'язок II групи) та «Міжнародні економічні відносини» (суміжний зв'язок III групи). Ці спеціальності можуть надати абітурієнту можливість вступу у вибраний ЗВО із сертифікатами, які необхідні для спеціальності «Комп'ютерні науки». Спеціальність «Право» стосовно спеціальності «Комп'ютерні науки» володіє суміжним зв'язком IV групи і не може задовольнити потреби абітурієнтів в отриманні бажаної кваліфікації з наявними сертифікатами ЗНО. Саме тому ця спеціальність не бере участь у додатковому інформуванні потенційних абітурієнтів, які вибрали вступ на спеціальність «Комп'ютерні науки».

Аналіз динаміки поданих заяв на спеціальність «Комп'ютерні науки» та спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи з цією спеціальністю, за вступні кампанії 2017–2019 рр. за даними освітнього порталу

<https://www.vstup.info/> (рис. 1) показує, що для спеціальності «Комп'ютерні науки» та спеціальності «Системний аналіз», яка володіє суміжним зв'язком I групи, спостерігається позитивна тенденція у виборі серед абітурієнтів 2017–2019 рр. А у спеціальностей «Публічне управління та адміністрування», «Міжнародні економічні відносини», які володіють суміжним зв'язком II та III групи стосовно спеціальності «Комп'ютерні науки», прослідковується зниження інтересу серед абітурієнтів у ході вступних кампаній 2017–2018 рр. та зростання інтересу до цих спеціальностей (у середньому на 6%) у ході вступної кампанії 2019 р.

Аналіз динаміки зарахованих абітурієнтів та наявного ліцензійного обсягу спеціальності «Комп'ютерні науки» та спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи з цією спеціальністю, за вступні кампанії 2017–2019 рр. за даними освітнього порталу <https://www.vstup.info/> (рис. 2) показує, що кількість зарахованих абітурієнтів на спеціальності, які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи зі спеціальністю «Комп'ютерні науки», не покриває ліцензійного обсягу підготовки фахівців, визначеного для цієї спеціальності.

Причому кількість зарахованих абітурієнтів на спеціальність «Системний аналіз» (суміжний зв'язок I групи) рівномірно зростає, а для спеціальностей «Публічне управління та адміністрування», «Міжнародні економічні відносини» спостерігається тенденція зменшення кількості зарахованих студентів у ході вступних кампаній 2017–2018 рр. та зростання інтересу до цих спеціальностей (у середньому на 3%) у ході вступної кампанії 2019 р.

Отже, вдосконалення технології опрацювання освітньої інформації для потенційних абітурієнтів

Таблиця 1

Суміжний зв'язок спеціальності «Комп'ютерні науки» з іншими спеціальностями вступу

Спеціальність	Математика	Фізика	Іноземна мова	Історія України	Географія	Біологія
Комп'ютерні науки	■	■	■			
I Системний аналіз	■	■	■			
II Публічне управління та адміністрування	■		■	■		
III Міжнародні економічні відносини	■		■		■	
IV Право				■	■	■

у ході вступної кампанії на основі додаткового інформування потенційних абітурієнтів про наявність спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II, III груп із вибраною спеціальністю, дає змогу ЗВО врегулювати кількість зарахованих студентів, а для абітурієнтів – можливість навчатися у вибраному ЗВО з наявними сертифікатами ЗНО з урахуванням кола їхніх інтересів.

Висновки. Отже, конкурентоспроможність та функціональна ефективність ЗВО на ринку освітніх послуг залежать від стратегічної поведінки

цього ЗВО в ході вступної кампанії. Саме тому в статті введено поняття суміжного зв'язку між спеціальностями ЗВО, які можуть задовольнити інтереси споживачів освітніх послуг з урахуванням кола їхніх інтересів. Це дало можливість удосконалити технології опрацювання освітньої інформації для потенційних абітурієнтів у ході вступної кампанії на основі додаткового інформування потенційних абітурієнтів про наявність спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II, III груп із вибраною спеціальністю. Аналіз отриманих результатів дослі-

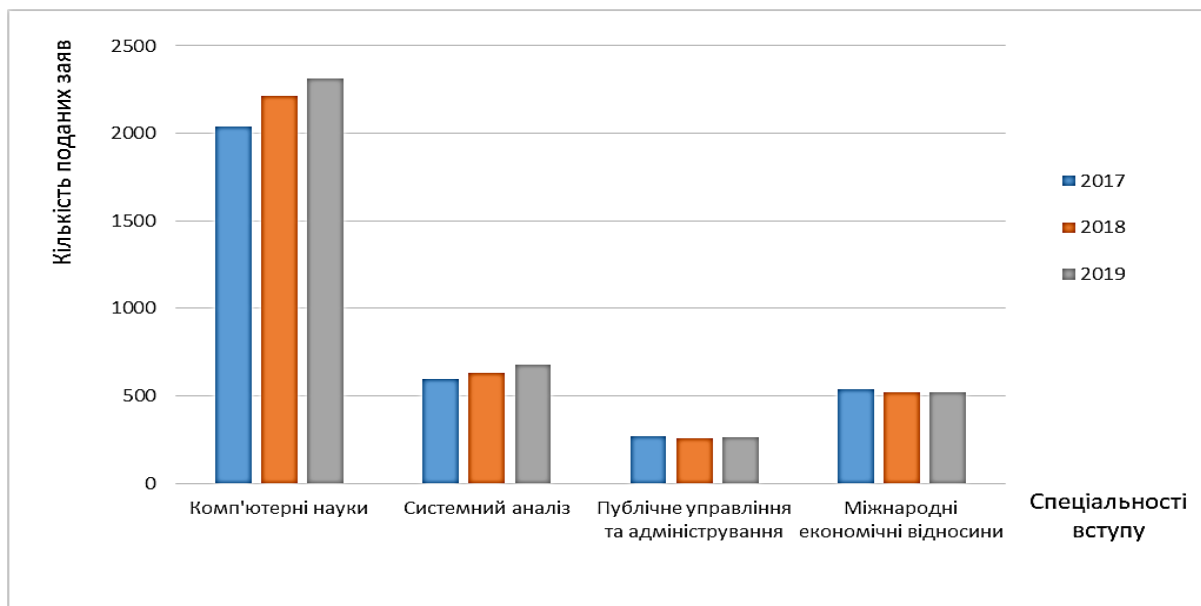


Рис. 1. Динаміка поданих заяв на спеціальність «Комп'ютерні науки» та спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи з цією спеціальністю, за вступні кампанії 2017–2019 рр. за даними освітнього порталу <https://www.vstup.info/>

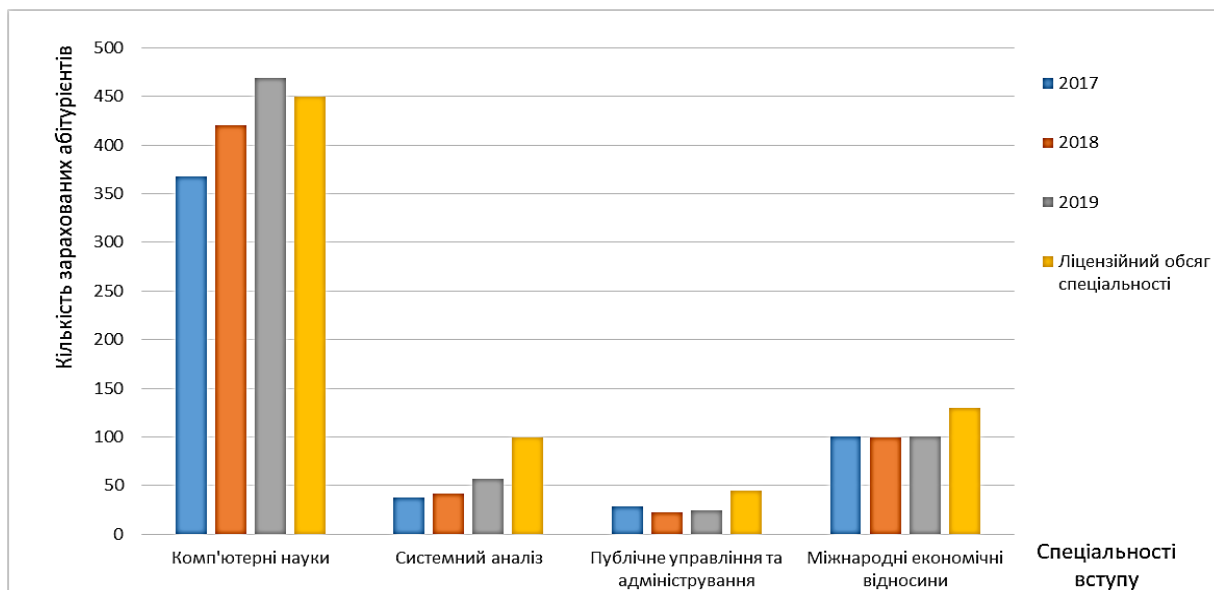


Рис. 2. Динаміка зарахованих абітурієнтів та наявного ліцензійного обсягу спеціальності «Комп'ютерні науки» та спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи з цією спеціальністю, за вступні кампанії 2017–2019 рр. за даними освітнього порталу <https://www.vstup.info/>

дження динаміки поданих заяв та зарахованих абітурієнтів на прикладі спеціальності «Комп'ютерна наука» та спеціальностей, які володіють суміжним зв'язком I, II та III групи з цією спеціальністю, показує позитивну динаміку цих показників після використання запропонованого підходу до вдосконалення технології опрацювання освітньої інформації

для потенційних абітурієнтів у ході вступної кампанії (у середньому на 5% для поданих заяв та 3% – для зарахованих абітурієнтів). Це дало змогу ЗВО врегулювати кількість студентів на спеціальності з урахуванням їхніх інтересів, а абітурієнтам – можливість навчатися у вибраному ЗВО з наявними сертифікатами ЗНО.

Список літератури:

1. Шілінг А., Жежнич П. Побудова системи прогнозування контингенту студентів ЗВО на основі вибору пріоритету : *X Науково-практична конференція «Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі»*. 21-23 листопада 2018 р. Львів, 2018. С. 178–182.
2. Shilinh A., Zhezhnych P. Linguistic approaches to the planning of educational services in higher education institution. *ECONTECHMOD*. 2018. Vol. 07. №. 4. P. 13–20.
3. Zhezhnych P., Shilinh A., Melnyk V. Linguistic analysis of user motivations of information content for university entrant's web-forum. *International Journal of Computing*. 2019. 18 (1). P. 67–74.
4. Nota L., Santilli S., Soresi S. A Life-Design-Based Online Career Intervention for Early Adolescents: Description and Initial Analysis. *The Career Development Quarterly*, 64. 2016. P. 4–19. URL: <https://doi.org/10.1002/cdq.12037>
5. Charles E., Wang Y. Social influence in career choice: Evidence from a randomized field experiment on entrepreneurial mentorship. *Research Policy*, 46. 2017. P. 636–650. URL: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.01.010>
6. Information technologies of personalized choice of professionals in smart cities / N. Kunanets et al. *Information Technologies and Learning Tools*. 2018. 65 (3). P. 277–290. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v65i3.2172>
7. Interdependency management in universities: a case study / D. Braun et al. *Studies in Higher Education*. 2014. 40 (10). P. 1829–1843. URL: <https://doi.org/10.1080/03075079.2014.914913>
8. Marginson S. Higher Education in the Global Knowledge. *Economy Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2010. 2. P. 6962–6980. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.05.049>
9. Жежнич П.І., Шілінг А.Ю. Оптимізація планування надання освітніх послуг у закладах вищої освіти на основі лінгвістичного аналізу. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2018. Том 28. № 10. С. 129–134. URL: <https://doi.org/10.15421/40281025>
10. University's Information Image as a Result of University Web Communities' Activities / R. Korzh et al. *Advances in Intelligent Systems and Computing : Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2016, September 6-10 Lviv, Ukraine, Shakhovska N. (Ed.)*. 2017. Springer International Publishing. 512. P. 115–127. URL: https://doi: 10.1007/978-3-319-45991-2_8
11. Моніторинг якості системи вступу до ВНЗ як необхідна умова її вдосконалення. *Вісник ТІМО (тестування і моніторинг в освіті)*. Харків : Факт, 2010. № 4–5. С. 2–4.
12. Сидоренко О.Л. Удосконалення процесу вступу до вищих навчальних закладів як пріоритетний напрям освітньої політики в Україні. *Методологія, теорія та практика соціологічного аналізу сучасного суспільства : збірник наукових праць*. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. Випуск 16. С. 649–653.
13. Ukrainian Center for Educational Quality Assessment. Statistics of the main EEO session. URL: <https://zno.testportal.com.ua/opendata>
14. Шілінг А.Ю., Жежнич П.І. Модель поведінки закладу вищої освіти у процесі планування надання освітніх послуг на основі лінгвістичного аналізу комунікативної активності в освітніх веб-спільнотах. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки*. 2019. № 2 (259). С. 145–149. DOI: 10.31891/2307-5732-2019-271-2-145-149
15. Наказ Міністерства освіти і науки України «Про затвердження умов прийому до навчання до закладів вищої освіти України у 2020 році» № 1285 від 11.10.19 р. URL: <https://mon.gov.ua/storage/app/media/vishcha-osvita/vstup-2020/2019/10/priyomunakaz1110191285.pdf>

Shilinh A.Yu. IMPROVEMENT OF EDUCATIONAL INFORMATION PROCESSING TECHNOLOGY FOR ENTRANTS OF HIGHER EDUCATION INSTITUTION DURING THE ENTRY CAMPAIGN

Effective planning of the provision of educational services by higher education institutions is the key to their functioning and competitiveness in the market of educational services. The aim of article is identifies and analyzes the mechanism of improving the technology of processing educational information for entrants of

higher education institutions during the entry campaign. The article introduces the concept of related relations between the higher education institution's specialties, which is based on the availability of relevant certificates of external independent evaluation. The possibility of additional informing potential consumers of educational services about the availability of specialties that have a related relationship with the chosen specialty. The article forms a differentiation of related groups for the chosen specialty in accordance with the possibility of other specialties to replace it during the entry campaign based on the range of interests and motivational intentions of potential entrants. The article contains a formal description of the group of related communications of specialties in accordance with the available certificates of external independent evaluation. The article reveals that the expansion of the offer of educational services provides additional information to applicants about the availability of specialties that have a related relationship of I, II, III groups with the chosen specialty. The article establishes the influence of additional informing potential entrants during the entry campaign on their choice of future specialty based on the positive dynamics of applications and enrolled consumers of educational services on the example of "Computer Science" and specialties of the Lviv Polytechnic National University. I, II and III groups for the period of entry campaigns 2017–2019. The results of the study are used and can be used for effective planning of educational services by higher education institutions and forecasting the contingent of students during the entry campaign.

Key words: *entrant, related relationship, independent external evaluation, entry campaign, educational information.*

Шкарупило В.В.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Чемерис О.А.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

Душеба В.В.

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

ОЦІНЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ СКЛАДНОСТІ ЗАДАЧІ ФОРМАЛЬНОЇ ВЕРИФІКАЦІЇ, ВИРІШУВАНІЙ МЕТОДОМ ПЕРЕВІРКИ НА МОДЕЛІ¹

Актуальний стан розвитку процесу розроблення комп'ютерних систем можна охарактеризувати як такий, за якого має місце активне залучення різноманітних формальних методів та засобів. Названі методи та засоби, як правило, знаходять застосування з метою підвищення впевненості колективу розробників у коректності одержуваних артефактів процесу розроблення, зокрема проектних рішень. Коректність при цьому розглядається з позиції відповідності формалізованим вимогам до характеристик розроблюваної системи. Особливої уваги в даному аспекті заслуговують системи критичного призначення – системи, незаплановані сценарії функціонування яких потенційно можуть призвести до значних критичних наслідків. З цієї позиції усунення підстав для виникнення таких сценаріїв є важливим фактором підвищення рівня довіри до результатів процесу розроблення. Досягти цього можливо за рахунок залучення формальних методів уже на етапі проектування названих систем. Беручи до уваги складність програмної складової частини таких систем, першорядної важливості набуває питання автоматизації застосування формальних методів. Цьому критерію задовольняють методи перевірки на моделі, які, проте, висувають значні вимоги до апаратної складової частини обчислювальної платформи, на якій зазначені методи реалізуються.

Дану роботу присвячено експериментальному дослідженню реалізацій поширеного методу перевірки на моделі TLC (TLA Checker) з позиції просторової складності вирішуваної при цьому задачі формальної верифікації. Як рису, що зумовлює відмінність реалізацій методу, розглянуто характер обходу простору станів системи переходів, заданої формальною специфікацією характеристик системи: на основі методів обходу в ширину (BFS, Breadth-first Search) і глибину (DFS, Depth-first Search) теорії графів. Результати проведених досліджень показали, що застосування реалізації методу TLC на основі обходу в глибину висуває більші вимоги до обсягу наявної оперативної пам'яті обчислювальної системи, на якій виконується реалізація методу.

Ключові слова: BFS, DFS, TLC, перевірка на моделі, формальна специфікація, верифікація, система критичного призначення.

Постановка проблеми. Актуальний рівень розвитку формальних методів можна охарактеризувати таким чином: значного поширення набуло прикладне застосування методів перевірки на моделі (Model Checkers) через можливість забезпечення автоматизації такого застосування. Названі методи є дієвими засобами реалізації процедури формальної верифікації (далі – ФВ) вимог до розроблюваної системи. Вагомим рушієм у цьому напрямі стали праці таких наукових діячів, як

Едмунд Кларк (Edmund M. Clarke), Алан Емерсон (E. Allen Emerson), Джозеф Сіфакіс (Joseph Sifakis), що здобули премію Тьюринга у 2007 р. за розвинення техніки перевірки на моделі до рівня ефективної технології верифікації, що знайшла широке прикладне застосування у сфері розроблення як апаратних, так і програмних систем [1]. Особливої актуальності застосування зазначених методів набуває під час розроблення систем критичного призначення (далі – СКП) – систем, незаплановані (непередбачені) сценарії роботи яких потенційно можуть призвести до критичних наслідків значного масштабу.

Показовими прикладами названих методів є, зокрема, В-метод і його модифікація – Event-B,

¹ Дослідження виконано в межах науково-дослідної роботи № 0120U102683 «Розроблення спеціалізованих комп'ютерних технологій моделювання та опрацювання оперативної інформації в задачах енергетики», що проводиться відділом математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

прикладне застосування яких сягає більше 25 років [2]. Демонстративною предметною областю такого застосування є залізничний сектор, представлений системами керування відповідними процесами.

Альтернативним поширеним засобом є метод TLC (TLA Checker), орієнтований на автоматизовану перевірку специфікацій вимог до розроблюваної системи, формалізованих виразними засобами TLA+ темпоральної логіки дій TLA (Temporal Logic of Actions) [3]. Відмінною рисою зазначеного формалізму є можливість подавати задану характеристику досліджуваної системи однією темпоральною формулою. Ця специфіка надає зручний механізм композиційного оперування вже створеними артефактами процесу розроблення системи, з метою побудови більш комплексних рішень на основі існуючих напрацювань. Під «артефактом» при цьому розуміється сутність, що характеризується структурою і змістом [4], а саме результат виконання певної складової частини етапу проектування процесу розроблення СКП. У даній роботі як артефакт розглядається формальна специфікація (ФС) функціональних вимог до СКП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати попередніх досліджень показали, що методи перевірки на моделі є дієвими засобами підвищення рівня довіри розробників до артефактів, одержуваних на етапі проектування СКП [5].

З урахуванням того, що прикладне застосування методів перевірки на моделі супроводжується експоненційним зростанням простору станів системи переходів (далі – СП) у залежності від числа змінних станів, що фігурують у ФС, актуальності набувають як аспекти мультипоточної реалізації методів, так і аспекти покращення ефективності застосування названих методів з позицій обчислювальної і просторової складності алгоритмічного складника.

Було показано, що метод TLC характеризується придатністю до мультипоточної реалізації – для обчислювальної системи із 384 процесорами було одержано коефіцієнт прискорення, близький до 328 [6].

Попередні дослідження методу TLC було проведено з позиції обчислювальної складності вирішення задачі ФВ [7]. Здобуті результати показали, що ефективність застосування тієї чи іншої реалізації методу TLC залежить як від числа змінних станів СП, заданої ФС, так і від структури ФС. Більше того, було встановлено, що обмежуючим чинником такого застосування є обсяг доступної оперативної пам'яті (далі – ОП) обчислювальної

системи, ресурси якої залучаються для автоматизованого застосування методу [8]. У зв'язку із цим дану роботу присвячено оцінюванню просторової складності задачі ФВ, вирішуваної методом TLC.

Постановка завдання. У роботі ставиться завдання оцінювання просторової складності задачі ФВ, вирішуваної методом перевірки на моделі TLC, а саме кожною із двох альтернативних реалізацій методу – на основі обходу простору станів СП, заданої ФС, методами обходу в ширину (BFS, Breadth-first Search) і в глибину (DFS, Depth-first Search) теорії графів.

На основі результатів проведених досліджень потрібно сформулювати рекомендації до прикладного застосування реалізацій методу TLC.

Для виконання сформульованого завдання формалізуємо задачу ФВ, вирішувану методом TLC. Для цього залучимо математичний апарат структури Кріпке, заданої поверх множини атомарних висловлювань AP [1]:

$$M = \langle S, S_0, R, L \rangle, \quad (1)$$

де S – кінцева множина станів; $S_0 \subseteq S$ ($S_0 \neq \emptyset$) – множина початкових станів СП; $R \subseteq S^2$ – тотальна множина переходів: $\forall s \in S \exists s' \in S : (s, s') \in R$; $L : S \rightarrow 2^{AP}$ – функція розмітки станів СП елементами множини AP , що приймають істинні значення у відповідних станах. При цьому $AP = V \times D$, де $V = \{v_j | j = 1, 2, \dots, n \in N\}$ – множина змінних станів СП, $D = \{0, 1, 2\}$ – множина значень змінних станів; $s : V \rightarrow D$, де $s \in S$.

Задача ФВ, вирішувана методом TLC, формалізується так:

$$M, \sigma \models \phi, \quad (2)$$

де M – структура (1), $\sigma = s_0, s_1, \dots$ – обчислення як послідовність станів СП, що задається засобами структури (1) [9, с. 70]: $s_0 \in S_0$, $s_1 = R(s_0)$; ϕ – темпоральна формула, що має приймати істинні значення $\forall s \in S : s \in \text{елементу } \sigma$. При цьому як темпоральні застосовуються такі оператори: X (neXt) і G (Globally).

Відомо, що в залежності від способу подання графу $G = \langle S, R \rangle$ у складі структури (1) – матрицею чи списком суміжності – витрати ОП на обхід елементів множини S оцінюються, відповідно, як $O(|S|^2)$ чи $O(|S| + |R|)$ [10, с. 591]. При цьому в залежності як від структури ФС, так і від специфіки реалізації методу обходу вершин графу G показники просторової складності вирішення задачі ФВ можуть варіюватися. У зв'язку із цим для формулювання рекомендацій стосовно прикладного застосування реалізацій методу TLC проводяться відповідні експериментальні дослідження.

Експериментальна складова частина даної роботи будуватиметься на вирішенні задачі (2) кожною із двох зазначених реалізацій методу TLC для $n = 2^k$, де $k = 1, 2, \dots, 8$. При цьому ФС для вказаних n змінних станів синтезовано згідно з послідовним шаблоном [7]. Застосований підхід до синтезу ФС передбачає використання формалізму TLA+ темпоральної логіки TLA [11].

Виклад основного матеріалу дослідження. Показники для оцінювання просторової складності задачі ФВ, вирішуваної методом TLC, будуватимемо на основі таких складників:

- число станів СП, виявлених у процесі ФВ ФС методом TLC, в яких формула ϕ приймає істинне значення;

- загальне число станів СП, згенерованих у процесі ФВ.

Значення названих складників фіксуватимемо для кожної з реалізацій методу – на основі BFS- та DFS-обходів (табл. 1).

Експериментальні дослідження проведено на програмно-апаратній платформі такої конфігурації: середовище виконання – Java Runtime Environment (64 bit, build 1.8.0_251-b08); версія реалізації методу TLC – 2.14 (від 10 липня 2019 р.); центральний процесор – 4 ядра, 8 потоків, тактова частота – 3,8 ГГц; обсяг ОП – 16 ГБ.

У табл. 1 $|S|$ – загальне число станів СП, виявлених у процесі ФВ методом TLC; $|S_{BFS}^*|$ – загальне число станів, згенерованих при ФВ на основі BFS-обходу, $|S_{DFS}^*|$ – DFS-обходу; $|S|/|S_{BFS}^*|$, $|S|/|S_{DFS}^*|$ – відносна частка виявлених станів від згенерованих – для BFS- і DFS-реалізацій методу, відповідно. Відношення $|S|/|S_{BFS}^*|$ і $|S|/|S_{DFS}^*|$ розглядатимемо як показники ефективності вирішення задачі ФВ, відповідно, на основі BFS- і DFS-обходів; z – розмір файлу ФС.

Із табл. 1 видно, що значення показника $|S|/|S_{DFS}^*|$ наближається до 0 приблизно у 2^k ($k = 1, 2, \dots, 8$) разів швидше за значення показника $|S|/|S_{BFS}^*|$. Це свідчить про таке: згідно з відношенням $|S_{DFS}^*|/|S_{BFS}^*|$ просторову складність задачі ФВ, вирішуваної DFS-реалізацією методу TLC, можна оцінити як у 2^k разів гірше за альтернативну BFS-реалізацію. Іншими словами, значення $|S_{DFS}^*|/|S_{BFS}^*|$ пропорційне значенню n . Також має місце таке співвідношення: $|S_{DFS}^*|/|S_{BFS}^*| \approx 2^k = n$. Отже, характер залежності $|S_{DFS}^*|/|S_{BFS}^*|$ від k є експоненційним (рис. 1). Це означає, що залучення DFS-реалізації методу TLC висуває у n разів вищі вимоги до обсягу наявної ОП обчислювальної системи, на базі якої вирішується задача ФВ. Для побудови графіку застосовано кусочно-лінійну інтерполяцію.

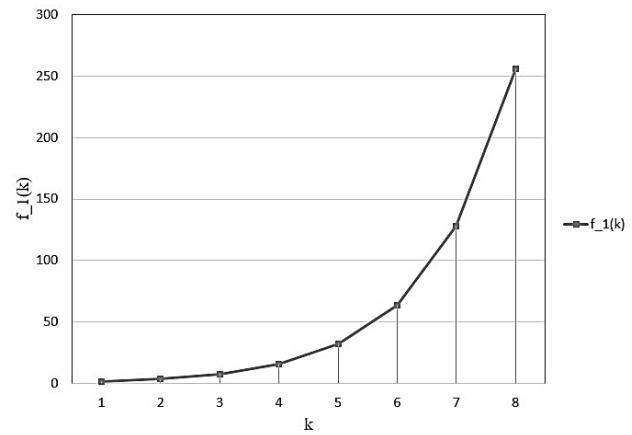


Рис. 1. Графік залежності показника $|S_{DFS}^*|/|S_{BFS}^*|$ від k

На рис. 1 графік функції $f_1(k)$ демонструє характер залежності значення показника $|S_{DFS}^*|/|S_{BFS}^*|$ від значення k (табл. 1). При цьому

Таблиця 1

Показники просторової складності вирішуваної задачі ФВ

№ з/п	n	$ S $	$ S_{BFS}^* $	$ S_{DFS}^* $	$\frac{ S }{ S_{BFS}^* }$	$\frac{ S }{ S_{DFS}^* }$	$\frac{ S_{DFS}^* }{ S_{BFS}^* }$	z , байтів
1	2^1	5	21	41	0,238	0,122	1,952	681
2	2^2	9	73	289	0,123	0,031	3,959	1331
3	2^3	17	273	2177	0,062	0,008	7,974	3293
4	2^4	33	1057	16897	0,031	0,002	15,986	10230
5	2^5	65	4161	133121	0,016	0	31,993	35702
6	2^6	129	16513	1056769	0,008	0	63,996	132896
7	2^7	257	65793	8421377	0,004	0	127,998	527085
8	2^8	513	262657	67239937	0,002	0	255,999	2169856

було зафіксовано, що для $k = 8$ ($n = 256$), для здійснення ФВ DFS-реалізацією методу TLC залучається більше 5 ГБ ОП.

Для демонстрації характеру спадання відносної частки кількостей виявлених станів, у яких виконується формула ϕ , від значення k залучено показники $|S|/|S_{BFS}^*|$ і $|S|/|S_{DFS}^*|$ табл. 1 (рис. 2).

На рис. 2 функція $f_2(k)$ демонструє залежність $|S|/|S_{BFS}^*|$ від k , функція $f_3(k)$ – залежність $|S|/|S_{DFS}^*|$ від k . З рис. 2 видно, що функція $f_3(k)$ убиває приблизно у 2^k швидше за функцію $f_2(k)$. Це свідчить про гіршу просторову складність вирішення задачі ФВ на основі DFS-реалізації методу TLC.

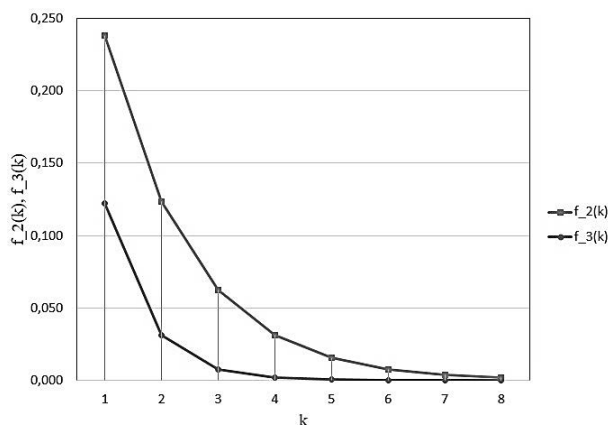


Рис. 2. Графік залежності показників $|S|/|S_{BFS}^*|$ і $|S|/|S_{DFS}^*|$ від k

Отже, за результатами проведених досліджень можна рекомендувати застосовувати BFS-

реалізацію методу TLC у випадку обмеженості доступної ОП обчислювальної системи.

Висновки. Таким чином, у роботі було проведено дослідження просторової складності задачі формальної верифікації, вирішуваної методом перевірки на моделі TLC на прикладі двох альтернативних реалізацій методу – BFS і DFS. Було одержано такі результати:

1. Для випадку ФС, синтезованих згідно з послідовним шаблоном, показано, що для досліджуваного набору тестових даних ($n = 2^1, 2^2, \dots, 2^8$) просторова складність задачі ФВ, вирішуваної на основі DFS-реалізації методу TLC, є у 2^k ($k = 1, 2, \dots, 8$) разів гіршою за альтернативну BFS-реалізацію методу. Іншими словами, застосування DFS-реалізації методу TLC є у n разів менш ефективним з позиції просторової складності вирішуваної задачі ФВ, у порівнянні з альтернативною BFS-реалізацією.

2. За результатами проведених досліджень можна рекомендувати застосовувати BFS-реалізацію методу TLC у випадку обмеженості доступної ОП обчислювальної системи. При цьому було зафіксовано, що для $k = 8$ ($n = 256$) для здійснення ФВ DFS-реалізацією методу TLC знадобилося більше 5 ГБ ОП.

Для розвитку і узагальнення здобутих результатів подальші зусилля спрямовано на дослідження просторової складності задачі ФВ, вирішуваної методом TLC, з позиції просторової складності, по відношенню до ФС, що містять подання паралелізму.

Список літератури:

1. Model checking: 2nd ed. / E.M. Clarke et al. Massachusetts : The MIT Press, 2018.
2. The first twenty-five years of industrial use of the B-method / M. Butler et al. *Formal Methods for Industrial Critical Systems, FMICS 2020* : 25th Int. Conf. / eds. M. ter Beek, D. Ničković. Vienna, Austria, September 2–3, 2020. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 12327. Springer, Cham. P. 189–209. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-58298-2_8
3. Lamport L. Specifying systems: The TLA+ language and tools for hardware and software engineers. Boston : Addison-Wesley, 2002. 382 p.
4. Broy M.A logical approach to systems engineering artifacts and traceability: from requirements to functional and architectural views. *Engineering dependable software systems* : NATO Science for Peace and Security Series - D: Information and Communication Security / eds. M. Broy, D. Peled, G. Kalus. Amsterdam : IOS Press, 2013. Vol. 34. P. 1–48. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-207-3-1>
5. Шкарупило В.В., Євдокимов В.Ф., Душеба В.В. Застосування формальних методів для перевірки систем критичного призначення. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. 2019. Том 30 (69). Ч. 1. № 6. С. 188–193.
6. Lamport L. Checking a multithreaded algorithm with + CAL. *Distributed Computing, DISC'06* : Proceedings of the 20th international conference (Stockholm, Sweden, September 18-20, 2006). 2006. P. 151–163. DOI: https://doi.org/10.1007/11864219_11
7. Shkarupylo V.V., Tomičić I., Kasian K.M. The investigation of TLC model checker properties. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2016. Vol. 40. №. 1. P. 145–152.
8. An Approach to increase the Effectiveness of TLC Verification with Respect to the Concurrent Structure of TLA+ Specification / V.V. Shkarupylo et al. *International Journal of Software Engineering and Computer Systems*. 2018. Vol. 4. №. 1. P. 48–60.

9. Карпов Ю.Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2010. 560 с.
10. Introduction to algorithms: 3rd ed. / T.H. Cormen et al. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 2009. 1320 p.
11. Метод синтезу формальних специфікацій на основі трійок Хоара / В.В. Шкарупило та ін. *Наукові праці ДонНТУ, Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2020. № 1 (30). С. 49–57.

Shkarupylo V.V., Chemerys O.A., Dusheba V.V. FORMAL VERIFICATION PROBLEM SOLVED WITH THE MODEL CHECKING METHOD SPATIAL COMPLEXITY ESTIMATION

Current state of computer systems engineering process can be described as the one with an active involvement of various formal methods and tools. Named methods and tools are commonly applied to increase the confidence of the developers in the correctness of the resulting artifacts of engineering process, design solutions in particular. Correctness is approached from the standpoint of compliance with formalized requirements to the characteristics of the system under development. Safety-critical systems are of particular attention here. The unplanned scenarios of these systems functioning can potentially lead to the significant critical consequences. From this viewpoint, eliminating the preconditions for such scenarios is an important factor increasing the confidence in the results of engineering process. This can be achieved through formal methods involvement at the design stage of named process. Taking into consideration the complexity of the software constituent of named systems, the issue of formal methods application automation becomes of paramount importance. This criterion is satisfied with the model checking methods (model checkers). However, these methods provoke significant demands to the hardware of computing platform, where the model checkers are supposed to be implemented.

Paper is devoted to an experimental study of the widespread proved model checker – TLC (TLA Checker), with respect to the spatial complexity of model checking task resolved. As a distinctive feature prompting the diversification between method implementations, the algorithm of state space search is considered: BFS (Breadth-first Search) and DFS (Depth-first Search) algorithms of graph theory. The state space is predefined with formal specification. Grounding on the results obtained, it has been shown that application of DFS-based implementation of TLC method is paired with higher requirements to the capacity of random access memory available.

Key words: *BFS, DFS, TLC, model checking, formal specification, verification, safety-critical system.*

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.314

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/25>

Усенко А.Ю.

Національна металургійна академія України

Федоров С.С.

Національна металургійна академія України

Форись С.М.

Національна металургійна академія України

Перерва В.Я.

Національна металургійна академія України

Губинський М.В.

Національна металургійна академія України

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕЦЕВОЇ СИРОВИНИ БІОЛОГІЧНОГО ПОХОДЖЕННЯ У ЗВАЖЕНОМУ ШАРІ

У статті представлено математичну модель процесу піролізу вуглецевої сировини біологічного походження у зваженому шарі потоку гарячого повітря, що дозволяє враховувати: співвідношення витрат гарячого повітря і біомаси, вихідну температуру гарячого повітря, вологість біомаси, вид використаної біомаси, тривалість обробки. У результаті розрахунків визначено границі можливих параметрів реалізації процесу піролізу і конструктивних розмірів установки для його реалізації.

Розроблено й адаптовано до реальних умов математичну модель процесу термічної обробки біомаси в потоці гарячого повітря, що забезпечує визначення температур газозвеси з похибкою до 15%. Модель використано для дослідження першої стадії процесу піролізу дрібнодисперсних відходів біомаси у зваженому шарі і враховує теплообмін між частинками біомаси і повітрям, розкладання біомаси та її сушку.

На підставі чисельних досліджень нагріву відходів біомаси у зваженому шарі з низхідним і висхідним рухами газозвеси визначено вплив температури повітря, його швидкості, питомої витрати біомаси, довжини робочої камери на процес піролізу різних видів біомаси.

Зокрема, встановлено: нагрів біомаси проводиться за режимами, відмінними від рівноважного стану, при цьому основний вплив на кінцевий результат надає тривалість обробки, що визначається швидкістю потоку, довжиною піролізера і співвідношенням витратних теплосмностей повітря і біомаси; збільшення відношення витратних теплосмностей біомаси і повітря в досліджених діапазонах параметрів призводить до збільшення тривалості перебування відходів в установці до 10% і відповідного підвищення температури нагріву; ступінь розкладання відходів біомаси у зваженому шарі становить $5 \div 6\%$, завершення процесу піролізу відбувається в бункері коксового залишку в цільному шарі.

Отримано регресійні моделі, що дозволяють визначати температуру нагрівання біомаси в залежності від довжини піролізера, швидкості потоку, питомої витрати біомаси, температури повітря для двох схем реалізації процесу – з висхідним і низхідним потоками для трьох видів відходів біомаси. Коефіцієнт детермінації залежностей становить $R^2 > 0,9$.

Ключові слова: вуглецева сировина, біомаса, піроліз, зважений шар, процес термічної обробки, кінетичні залежності, рівняння теплового балансу, рівняння збереження енергії, схеми висхідного і низхідного потоків.

Постановка проблеми. Натепер у паливно-енергетичному комплексі України спостерігається криза, що зумовлена обмеженістю запасів основних видів палива і значним зростанням цін на енергоносії, зокрема природного газу.

Водночас загрозованих розмірів досягло забруднення навколишнього середовища. Це, крім погіршення екологічної обстановки в цілому, тягне за собою посилення дії парникового ефекту, викликаного підвищеною концентрацією парникових газів в атмосфері, що виділяються під час спалювання традиційного викопного палива.

Реальні шляхи вирішення вищевказаних проблем – енергозбереження та заміна викопного палива на нетрадиційні джерела енергії, такі як, наприклад, біомаса (вуглецева сировина біологічного походження), що займає перше місце серед усіх видів поновлюваних джерел енергії, які використовуються тепер [1].

За кордоном питання використання відходів біомаси вирішуються шляхом виділення субсидій на будівництво енергетичних об'єктів, що використовують біомасу, а також введення «зелених» податків. В Україні реальна підтримка держави, незважаючи на багаторазове збільшення цін на енергоносії, натепер відсутня.

Основною причиною, яка стримує донедавна використання біомаси в енергетичних цілях в Україні, є те, що отримана в результаті переробки енергія має високу вартість. Тобто актуальним є пошук процесів і технологій, що відрізняються низькими капітальними та експлуатаційними витратами, а також низькою собівартістю одержуваної енергетичної продукції за рахунок виробництва супутніх продуктів.

До однієї з таких технологій відноситься процес окислювального піролізу, що дозволяє отримувати не тільки паливний газ з відносно високою теплою згорання, але й коксовий залишок, реалізація якого дозволяє істотно підвищити економічну ефективність пропонованого процесу. Цей процес і буде детально розглянуто в даній статті.

Таким чином, розроблення технології та проведення досліджень процесів переробки біомаси методом окислювального піролізу, з метою забезпечення енергетичних агрегатів дешевим і екологічно чистим паливом, натепер є дуже актуальним.

Постановка завдання. Мета статті – представити математичну модель процесу піролізу вуглецевої сировини біологічного походження у зваженому шарі потоку гарячого повітря.

На базі кафедри Енергетичних систем та енергоменеджменту Національної металургійної ака-

демії України (м. Дніпро) розроблена і досліджена технологія переробки дрібнодисперсних відходів біомаси в потоці гарячого повітря методом окислювального піролізу [2; 3].

Дослідна установка включає в себе ділянку газоповітряного тракту заданих діаметра і довжини, пристрій подачі біомаси і бункер коксового залишку. Повітря, попередньо підігрите до заданої температури в існуючому теплообміннику, надходить до піролізеру. Одночасно в установку шнеком подається біомаса.

Конструктивні розміри газоповітряного тракту, довжина і прохідний перетин повинні дозволити організувати нагрів біомаси в потоці гарячого повітря до температури початку піролізу в заданому діапазоні режимів роботи всієї установки.

Для розробки конструктивних і режимних параметрів установки по піролізу біомаси в потоці гарячого повітря необхідно мати уявлення про вплив на її роботу таких факторів, як: співвідношення витрат гарячого повітря і біомаси, початкова температура гарячого повітря, вид використовуваної біомаси, тривалість обробки. Поставлена задача вирішена шляхом математичного моделювання першої стадії процесу термічної обробки біомаси у зваженому шарі, в потоці гарячого повітря.

Здійснення цієї стадії передбачається безпосередньо в повітряному тракті піролізеру. Остаточне розкладання біомаси буде протікати в бункері коксового залишку, до якого біомаса, що частково розклаталася, буде надходити за температури, достатньої для реалізації автотермічного процесу розкладання.

Виклад основного матеріалу дослідження. Авторами розроблено математичну модель процесу піролізу біомаси в потоці гарячого повітря. Дана модель може бути застосована для будь-яких дрібнодисперсних відходів та будь-якої вуглецевої сировини біологічного походження. У цій статті піддавалися моделюванню такі види відходів, як лузга соняшника, рисове та гречане лушпиння.

Оскільки відходи біомаси є полідисперсним матеріалом, у моделі враховано відмінності в геометричних розмірах, швидкості витання і відповідних показниках теплообміну для кожної фракції. При цьому нагрів, тривалість обробки і піроліз для кожної фракції розглядалися як незалежні процеси.

Процес термічної обробки відходів біомаси у зваженому шарі супроводжується зв'язаними процесами нагріву, сушки і піролізу. Тому математична модель включає опис усіх трьох процесів.

Математична модель, що описує процеси, які супроводжують піроліз біомаси в потоці гарячого повітря, включає в себе ряд рівнянь збереження маси й енергії, а також кінетики розкладання біомаси та її сушіння, а саме:

– рівняння теплового балансу для газу:

$$m_{\Gamma} \cdot c_{\Gamma} \cdot \left(\frac{dt_{\Gamma}}{dx} \right) = \sum_{i=1}^{i=n} q_{\Gamma-M,i} \cdot F_{\text{пир}} \cdot \beta_{\text{бм},i}, \quad (1)$$

де t_{Γ} – температури газової суміші повітря, вологи і летючих продуктів піролізу та біомаси відповідно, °С; m_{Γ} – масова витрата газу в піролізеру, кг/с; c_{Γ} – теплоємність газової суміші, кДж/(кг·К); $F_{\text{пир}}$ – площа поперечного перетину піролізера, м²; $q_{\Gamma-M,i} = \alpha_i \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{бм},i}) \cdot f_{\text{бм},i}$ – тепловий потік від газу до частинок біомаси для і-ої фракції; $t_{\text{бм}}$ – температура і-ої фракції біомаси, °С; α_i – коефіцієнт тепловіддачі від газу до поверхні частинок і-ої фракції біомаси, Вт/м²·К; β_i – концентрація біомаси в одиниці об'єму, кг/м³; $f_{\text{бм},i}$ – питома площа поверхні частинок і-ої фракції біомаси, м²/кг; i – номер фракції біомаси;

– рівняння теплового балансу для кожної фракції біомаси:

$$m_{\text{бм},i} \cdot (c_{\text{бм}} + W_i c_{\text{вл}}) \cdot \left(\frac{dt_{\text{бм},i}}{dx} \right) = (q_{\Gamma-M,i} + q_{\text{екз},i} - q_{\text{исп},i}) \cdot F_{\text{пир}} \cdot \beta_{\text{бм},i}, \quad (2)$$

де $c_{\text{бм}}$, $c_{\text{вл}}$ – теплоємності біомаси і вологи відповідно, кДж/кг·К; W_i – вологовміст і-ої фракції біомаси, кг/кг;

$m_{\text{бм},i}$ – витрата і-ої фракції біомаси на суху масу, кг/с;

$q_{\text{исп},i} = dW_i \cdot [r + c_{\text{пар}} \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{бм},i})]$ – витрати теплоти на випаровування вологи; r – теплота пароутворення, Дж/кг; $c_{\text{пар}}$ – питома теплоємність пара, Дж/(кг·К); $q_{\text{екз},i} = 0,05 \cdot Q_{\text{н,бм}}^p \cdot \frac{dm_{\text{лет},i}}{m_{\text{бм},i}^{\text{лет}}}$ – теплота екзотермічної реакції піролізу, Дж/кг; $m_{\text{бм},i}^{\text{лет}}$ – вихідний вміст летючих в і-ої фракції біомаси, кг; $dm_{\text{лет},i}$ – маса летючих, що виділилися в результаті піролізу, кг; $Q_{\text{н,бм}}^p$ – теплота згорання біомаси, Дж/кг;

– рівняння збереження маси в кожній фракції біомаси:

$$dm_{\text{бм},i} = m_{\text{бм},i} \cdot dW_i + dm_{\text{лет},i}, \quad (3)$$

та всієї системи в цілому:

$$dm_{\Gamma} = \sum_{i=1}^{i=n} dm_{\text{бм},i}. \quad (4)$$

Тепловий ефект реакції піролізу $q_{\text{екз},i}$ визначався виходячи з припущення про пропорційність теплового ефекту і маси виділених летючих продуктів піролізу. При цьому сумарна кількість виділеної теплоти під час піролізу прийнято рівним 5% від теплоти згорання біомаси. В основу розрахунку

виділення летючих продуктів у результаті піролізу покладена відома кінетична залежність [4], що заснована на однокомпонентній схемі розрахунку:

$$m_{\text{лет},i} = m_{\text{бм}}^{\text{лет}} \cdot (1 - e^{-\int k_i dt})^n, \quad (5)$$

де $k_i = k_0 \cdot e^{-\frac{E_0}{R \cdot T_{\text{бм},i}}}$;

K_0 – передекспонентний множник, с⁻¹;

E_0 – енергія активації, кДж/моль;

R – універсальна газова постійна, кДж/(моль·град)

Змінення вологомисткості кожної фракції біомаси визначали виходячи зі швидкості сушіння відповідно до рекомендацій [5] по залежності:

$$\left(\frac{dW}{dt} \right) = V \cdot \left(\frac{W}{W_{\text{кр}}} \right)^n, \quad (6)$$

де $V = \frac{\alpha_i \cdot (t_{\Gamma} - t_{\text{бм},i}) \cdot f_{\text{бм},i}}{r}$ – швидкість зміни вологомисткості в період постійної швидкості сушіння, кгвл/(кгБМ·с);

$W_{\text{кр}}$ – значення критичної вологості кгвл/кгбм.

Для вирішення системи рівнянь (1 ÷ 6) використана явна різницева схема по часу з ітераціями. Газовий тракт установки по всій довжині L умовно був поділений на елементарні ділянки рівної довжини Δx , кількість яких визначалася їх величиною. Довжина розрахункових ділянок вибиралася шляхом численних експериментів з умови підвищення точності моделі при дробленні кроку. Оптимальне значення Δx становило 5 мм.

Результати математичного моделювання представлені нижче.

Чисельні дослідження проводилися з метою визначення впливу на процес таких параметрів: витрата біомаси, витрата повітря, температура повітря на вході в камеру піролізу, тривалість обробки, яка визначалася довгою піролізера. Дослідження проводилися стосовно лузги соняшнику, рисового і гречаного лушпиння, для висхідного і низхідного варіантів реалізації процесу.

Під час розрахунку висхідної схеми дійсна швидкість повітряного потоку не змінювалася, а приймалася рівною швидкості переходу шару біомаси у зважений шар. Для лузги соняшника швидкість повітря становила 4,9 м/с, для рисового лушпиння – 3,0 м/с, для гречаного лушпиння – 3,5 м/с. Під час дослідження низхідного варіанту руху повітря і біомаси швидкість потоку повітря змінювалася в діапазоні 4,9 ÷ 1 м/с у залежності від виду відходів.

Результати досліджень показали, що температура нагріву біомаси з ростом швидкості пові-

тряного потоку знижується. Це пов'язано з тим, що тривалість процесу не дозволяє досягти рівноважного стану за теплообміну. Тому результат процесу нагріву багато в чому визначається динамічними характеристиками потоку й умовами теплообміну. Так, зі збільшенням швидкості потоку одночасно активізувалися конкуруючі фактори. З одного боку, спостерігалось зростання коефіцієнтів тепловіддачі пропорційно квадратному кореню швидкості, з іншого – знижувався час нагріву зворотно пропорційно швидкості в першому ступені. Таким чином, сумарний ефект приводив до зниження температури нагріву зі збільшенням швидкості потоку, що спрavedливо було для всіх трьох видів відходів (рис. 1).

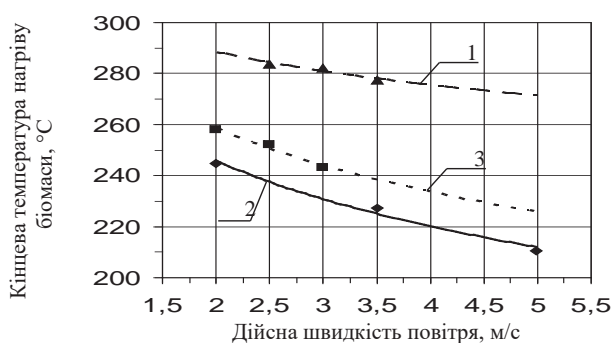


Рис. 1. Залежність температури нагріву біомаси від дійсної швидкості повітряного потоку: 1 – гречане лушпиння; 2 – лузга соняшника; 3 – рисове лушпиння

Тривалість обробки біомаси так само визначається довжиною камери піролізу й умовами теплообміну, що залежать від співвідношення видаткових теплоємностей біомаси і повітря, тобто від питомої витрати біомаси. Цей вплив пов'язано зі зміною швидкості потоку в залежності від зниження його температури. Кількісна величина цього впливу досить істотно позначається на кінцевому результаті нагрівання і становить до 11% (рис. 2).

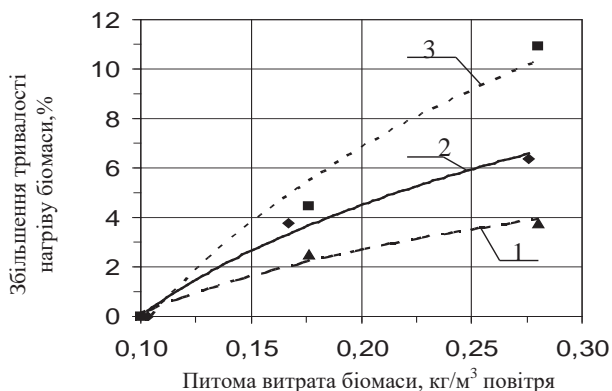


Рис. 2. Зростання тривалості нагріву, що викликано зміною питомої витрати біомаси: 1 – гречане лушпиння; 2 – лузга соняшника; 3 – рисове лушпиння

Вибрана модель передбачала незалежний нагрів різних фракцій біомаси. При цьому швидкість витання для кожної фракції враховувалася окремо. У зв'язку з цим час перебування кожної фракції в піролізері і коефіцієнти тепловіддачі від повітря до частинок для кожної фракції мали своє значення.

Різниця в температурах фракцій залежала від наближення режимів нагріву до рівноважного стану. Чим значніше була відмінність, тим інтенсивніше спостерігалась різниця в температурах фракцій. Кількісні значення різниці температур становили від 0,1% до 24%. При цьому тривалість обробки коливалася від 6% до 18%.

З метою дослідження впливу технологічних факторів на температуру нагріву біомаси були проведені чисельні дослідження з використанням повного факторного експерименту для двох можливих схем реалізації процесу (висхідний і низхідний потоки). Результати розрахунків використані для побудови регресійних залежностей. Це середня температура біомаси t_{BM} як функція температури повітря на вході в піролізер $t_{ВОЗ}$, питомої витрати біомаси M_{BM} , дійсної швидкості повітря $W_{ВОЗ}$, довжини піролізеру $L_{ПІР}$.

У результаті такого дослідження ряд параметрів було виведено з моделей і остаточно регресійні залежності прийняли такий вигляд:

– для схеми висхідного потоку:

$$t_{BM} = a_0 + a_1 \cdot t_{ВОЗ} + a_2 \cdot M_{BM} + a_3 \cdot L_{ПІР} \quad (7)$$

– для схеми низхідного потоку:

$$t_{BM} = a_0 + a_1 \cdot t_{ВОЗ} + a_2 \cdot M_{BM} + a_3 \cdot L_{ПІР} + a_4 \cdot W_{ВОЗ} + a_5 \cdot M_{BM}^2 + a_6 \cdot L_{ПІР}^2 \quad (8)$$

Чисельні значення коефіцієнтів регресії наведено в таблиці 1. Коефіцієнт детермінації для обох схем перевищує значення 0,9, тобто можна говорити про те, що з імовірністю більше 90% зміна незалежних параметрів призводить до відповідної зміни температури біомаси. Величина стандартної помилки, що віднесена до оцінки математичного очікування вибірки, коливається від 2,5% до 4,5%.

Отримані залежності використані для розробки конструкції і режимів роботи дослідної установки для термічної обробки біомаси.

Отримані дані дозволили визначити один з основних параметрів піролізеру – його довжину – у залежності від питомої витрати біомаси і дійсної швидкості повітряного потоку. При цьому розрахунки проводилися для температур повітря 350 °C та 400 °C. Як вихідний

параметр визначалася довжина піролізера, що забезпечує нагрів біомаси до 270 °С. У результаті численних досліджень отримані такі регресійні залежності:

$$L_{\text{ПІР}} = b_0 + b_1 \cdot M_{\text{БМ}} + b_2 \cdot W_{\text{БМ}} + b_3 \cdot M_{\text{БМ}}^2 + b_4 \cdot W_{\text{ПІР}}^2 \quad (9)$$

Чисельні значення коефіцієнтів регресії наведено в таблиці 2.

Висновки. Таким чином, на основі результатів численних досліджень можна зробити певні висновки.

Для практичної реалізації процесу може бути рекомендована низхідна схема руху повітря і біомаси. У цьому випадку частинки біомаси з потоком нагрітого повітря рухаються вниз по камері витання, що забезпечує прямоточний рух газозвеси незалежно від швидкості повітря. При цьому повністю виключається можливість загоряння відходів, що мало місце в результаті ек-

периментальних досліджень під час реалізації висхідного потоку [6].

Також за умови руху відходів вниз камери піролізу швидкість повітря може бути значно нижче (1 ÷ 3 м/с), що дозволить збільшити час теплової обробки в камері піролізу й тим самим знизити початкову температуру повітря.

У результаті визначені області можливих параметрів реалізації процесу піролізу біомаси в потоці гарячого повітря і конструктивних розмірів установки для його реалізації. Можливі режими представлені в таблиці 3.

Реалізація такого процесу забезпечить нагрів біомаси до температури 270 °С зі ступенем розкладання біомаси в потоці до 5 ÷ 6%. Основний процес піролізу здійснюється в другій стадії, під час обробки в щільному шарі після поділу повітряного потоку і біомаси, де реалізується автотермічний процес розкладання відходів [2; 3].

Таблиця 1

Чисельні значення коефіцієнтів регресійних залежностей температури нагріву біомаси (7) і (8)

Вид відходів	Тип схеми	Значення коефіцієнтів регресійних залежностей						
		a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
Лузга соняшника	Висхідний потік	0,602	- 123	-14,4	10,51	-	-	-
	Низхідний потік	- 68,5	0,673	- 92,8	-15,3	-92	23,9	- 0,94
Рисове лушпиння	Висхідний потік	-	0,191	- 260	3,267	-	-	-
	Низхідний потік	- 96,3	0,73	- 198	27,68	-	-	- 1,27
Гречане лушпиння	Висхідний потік	- 63,1	0,98	- 184	7,27			
	Низхідний потік	-	0,67	-	5,75	-18,9	-	0,42

Таблиця 2

Чисельні значення коефіцієнтів регресійних залежностей довжини піролізної труби (9)

Вид відходів	Початкова температура повітря, °С	Значення коефіцієнтів регресійних залежностей				
		b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄
Лузга соняшника	350	3,34	7,21	0,57	0,045	-
	400	-	- 8,93	3,10	85,53	- 0,24
Рисове лушпиння	350	- 1,59	- 10,77	4,99	87,95	- 0,61
	400	-	- 8,71	3,59	78,28	- 0,32
Гречане лушпиння	350	-	10,87	2,25	7,66	-
	400	4,17	3,35	- 0,85	-	0,45

Таблиця 3

Області можливих параметрів процесу окислювального піролізу

Параметр	Вид відходів біомаси		
	Лузга соняшника	Рисове лушпиння	Гречане лушпиння
Довжина піролізера, м	4,50–13,00	3,50–9,50	4,00–10,00
Питома витрата біомаси, кг/кг	0,02–0,30	0,10–0,53	0,09–0,53
Дійсна швидкість повітря, м/с	1,22–4,47	1,00–3,00	1,00–3,00
Схема руху потоку	Низхідна	Низхідна	Низхідна
Початкова температура повітря, °С	350–400 °С	350–400 °С	350–400 °С

Список літератури:

1. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А., Марценюк З.А. Концепция развития биоэнергетики в Украине. *Промышленная теплотехника*. 1999. Т. 21. № 6. С. 94–102.
2. Спосіб переробки відходів біомаси: деклараційний патент на винахід № 47212А від 17.06.2002 р.; МПК 7 F23G7/00 / М.В. Губинський. Український інститут промислової власності.
3. Спосіб термічної переробки відходів біомаси: деклараційного патент на корисну модель № 14328 від 15.05.2006 р.; МПК (2006) F23G7/00. Національна металургійна академія України. Український інститут промислової власності.
4. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / В.В. Померанцев и др. ; под ред. В.В. Померанцева. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. 312 с.
5. Шрайбер А.А., Глянченко В.Д. Термическая обработка полидисперсных материалов в двухфазном потоке. Киев : Наукова думка, 1976.
6. Усенко А.Ю., Грек А.С., Шишко Ю.В. Экспериментальные исследования пиролиза биомассы в потоке горячего воздуха. *Металлургическая теплотехника* : сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины : в двух книгах. Днепропетровск : Пороги, 2005. Книга первая. 468 с. С. 423–431.

Usenko A.Yu., Fedorov S.S., Foris S.M., Pererva V. Ya., Hubytskyi M.V. INVESTIGATION OF HEAT TREATMENT OF BIOMASS DERIVED CARBON MATERIALS IN SUSPENDED FLOW

The article presents a mathematical model, simulating the process of pyrolysis in a suspended flow of hot air; a thermal treatment technology which can be applied for various fine carbon materials of biological origin. The model takes into account: the gas media and material ratio, gas temperature, initial moisture content in material, kind of material and processing time. The set of mathematical equations also includes heat transfer between material particles and air; material drying and decomposition.

The developed model of the process is adapted in accordance to real conditions of biomass wastes heating and thermal decomposition in an experimental unit with accuracy of the gas temperature determination of up to 15%.

As a result of the performed calculations, the limits of possible parameters providing pyrolysis realization and dimensions of different units are determined. Based on the numerical study of biomass wastes heating in a suspended flow of the hot air with downstream and upstream flow of gas media, the influence of biomass type, air temperature, its velocity, specific heat capacity, unit length on the pyrolysis process is determined.

In particular, it is established: heating of biomass is carried out at modes which significantly differ from equilibrium. The crucial impact on process performance is provided by its duration depending on the flow rates, unit length, and agent's heat capacity ratio. At studied modes, increase in the last one results in respective increase in the duration of waste transformation up to 10% and a corresponding increase in operating temperature.

According to the results, the degree of biomass decomposition in a suspended flow constitutes 5 ÷ 6%. Further development of the pyrolysis occurs in a hopper of coke residue.

On the basis of simulation, the regression models of the dependence of were the operating temperature on the unit's length, flow rates, specific heat capacity and gas temperature are determined.

Key words: carbon material, biomass, pyrolysis, suspended flow, heat treatment.

РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.063.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/26>

Малашкевич Д.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Петльований М.В.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Сай К.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Козій Є.С.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

КІЛЬКІСНО-ЯКІСНА ОЦІНКА ЗАПАСІВ ВУГІЛЛЯ ЯК ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЇХ СЕЛЕКТИВНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ

Стаття присвячена необхідності проведення попередньої кількісно-якісної оцінки запасів вугільних пластів для обґрунтування доцільності застосування їх для селективного відпрацювання з розміщенням порід присікання у виробленому просторі. Висвітлено та поставлено проблему відпрацювання тонких та вельми тонких вугільних пластів (0,70 – 1,0 м) з необхідністю присікання вміщуючих порід, що призводить до погіршення якості видобутого вугілля та додаткових обсягів утворення відходів. Акцентовано увагу на відсутності на даний момент ефективних технологій відпрацювання тонких та надтонких вугільних пластів. Обґрунтовано вибір вугільної шахти «Самарська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» як об'єкт дослідження раціоналізації застосування селективного виймання у зв'язку з високим рівнем зольності вугілля (47%). Надано кількісну характеристику розподілу запасів вугілля за геологічною потужністю пластів, що розробляються, та показниками материнської зольності. Виявлено, що вугілля більшості робочих пластів є малозольним (середні значення материнської зольності – від 6,2 до 9,0%), а експлуатаційна зольність у лавах, що відпрацьовуються, – у 3–5 разів більше материнської. Встановлено, що більше половини балансових запасів шахти (54,3%) знаходиться в пластах потужністю від 0,55 до 0,80 м, які неможливо відпрацьовувати традиційною технологією і технікою без присікання бічних порід, а також вимагаються додаткові витрати на транспорт і збагачення високозольного вугілля. Визначено, що в цих умовах потенційною областю застосування технології селективного виймання вугілля можуть стати вже розкриті й підготовлені пласти, в яких залягає понад 9 млн т вугілля. Отримано аналітичні залежності величини прогнозованої експлуатаційної зольності вугілля залежно від корисної потужності пластів та технології їх відпрацювання – традиційної валової та селективної. Рекомендовано для резерву підвищення ефективності й ресурсного потенціалу шахти «Самарська» запровадити реалізацію маловідходної технології селективного видобутку вугілля з пласта С₁, що дасть можливість вилучити з надр понад 6,0 млн т вугілля з показником зольності не більше 25%.

Ключові слова: вугільний пласт, балансові запаси, материнська зольність, експлуатаційна зольність, присікання порід, селективне виймання, залишення порід, очисний вибій.

Постановка проблеми. Останнім часом спостерігається світова тенденція до підвищення якості товарного вугілля, особливо у зв'язку з введенням у багатьох країнах жорстких екологічних норм для теплових електрогенерацій. Водночас, незважаючи на переваги виробництва

електроенергії з поновлюваних джерел, частка вугілля в глобальному енергетичному балансі залишається, як і раніше, значною – 26% [1–3] і, за словами експертів [4–6], буде займати цю ключову позицію протягом довгого періоду часу. На користь викопного вугілля впливає використання

в передових країнах нових теплових електростанцій з технологіями, що забезпечують практично нульові викиди вуглекислого газу, що вимагають для їх роботи вугілля високої якості [7–9]. Тому для споживачів енергетичного вугілля, в умовах мінімізації шкоди навколишньому середовищу, якісні показники вугілля, що видобувається, мають першорядне значення.

Серед багатьох різних показників якості вугілля, що істотно впливають на витрати виробництва та конкурентоспроможність вугільної продукції, є вміст золи у видобутій гірничій масі. Так, наприклад, за існуючої системи надбавок до ціни вугілля, за зниження зольності на 1% відпускна ціна видобутого вугілля в середньому збільшується на 2,5% [10]. З оцінкою цих даних у масштабах вугільної промисловості України зниження зольності вугілля на 1% призведе до збільшення вартості реалізованої продукції більш ніж на 65 млн доларів США на рік. При цьому отриманий додатковий дохід від збуту продукції може бути направлений на модернізацію вуглевидобувних та енергогенеруючих підприємств нашої країни.

Однак під час розроблення вугільних родовищ України якість вугілля, що видобувається, істотно знижується, зважаючи на постійне збільшення його експлуатаційної зольності. Ця негативна тенденція передусім викликана повсюдним залученням у розробку пластів, що відносяться за потужністю до категорії не лише тонких, але й вельми тонких (менше 0,71 м). Застосовувана при цьому очисна технологія і техніка не дозволяють розробляти такі пласти без попутного вилучення шару породи, що присікається, на величину, яка забезпечує необхідну для виймання потужність задля безпечної та безаварійної роботи механізованого комплексу в очисному вибої.

При цьому, як показує практика експлуатації механізованих комплексів у гірничо-геологічних умовах Західного Донбасу, мінімальна потужність у лавах, що виймається, повинна становити не менше 1,05 м. Ця величина забезпечує необхідний перетин у лаві для її провітрювання, дозволяє створити прийнятні умови праці робітників у очисному вибої та допускає необхідну піддатливість кріплення, що виключає його посадку на «жорстку базу». Водночас середня геологічна потужність пластів на шахтах даного регіону становить 0,81 м. Таким чином, середня величина присікання в очисних вибоях становить 0,24 м або 22,8% від потужності пласта, що виймається.

У результаті такої виробничої діяльності значно збільшується експлуатаційна зольність вугілля,

що сягає 42–45%, а на деяких шахтах – навіть 52% [11; 12]. Внаслідок валового виймання вугілля й порід, що присікаються, збільшуються експлуатаційні затрати на видобуток, транспортування та перероблення високозольного вугілля, забруднюється природне середовище поблизу шахт і збагачувальних фабрик відходами гірничого виробництва [13–15]. Зазначені фактори суттєво зменшують техніко-економічні показники функціонування гірничих підприємств.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У контексті цієї проблеми багатьма науковими школами по всьому світу ведуться роботи з розроблення «зелених» технологій видобутку вугілля, спрямованих на зменшення обсягів утворення відходів і виділення в атмосферу забруднюючих речовин та підвищення енергетичної якості вугільної продукції. Зокрема, низку публікацій останніх років присвячено поліпшенню якості вугілля, що видобувається, і зниженню його втрат [16; 17]. Роботи авторів [18–21] спрямовані на пошук більш досконалої технології очисних робіт. У роботах [22; 23] пропонується застосування процесів збагачення гірничої маси під землею. Особливо слід виділити низку робіт, спрямованих на створення прогресивних технологій селективного видобутку вугілля, що виключають засмічення вугілля породами присікання в процесі видобутку [24–26].

Для відпрацювання тонких вугільних пластів запропоновано нову прогресивну технологію селективного виймання вугілля з розміщенням порід присікання у виробленому просторі лави [27], яка є найбільш відповідною для умов розробки малопотужних пластів. Однак доцільність застосування селективної технології разом з обґрунтуванням її параметрів багато в чому залежить від якісних і кількісних характеристик запасів вугілля, що у свою чергу вимагає проведення додаткового вивчення та аналізу конкретних гірничо-геологічних умов вугільних шахт.

Постановка завдання. Селективна технологія виймання вугілля з розміщенням порід присікання у виробленому просторі лави дозволяє вирішити два найважливіших завдання гірничого виробництва: підвищення якості вугільної продукції та збільшення терміну служби шахт шляхом залучення запасів вугілля потужністю 0,55–0,80 м до відпрацювання, які раніше перебували в категорії позабалансових.

У даному дослідженні вирішується перше завдання – встановлення доцільної придатності вугільних пластів до селективного виймання з метою

підвищення якості вугілля, що видобувається. Як критерій оцінки прийняті основні кількісні та якісні характеристики родовища, що визначають можливість застосування технології на балансових шахтопластах, до яких відносяться такі: геологічна потужність пласта, його витриманість за площею поширення шахтного поля; зольність вугілля з урахуванням засмічення внутрішньопластовими породами та технологічними присіканнями; кількість запасів по пласту; фізико-механічні властивості порід покрівлі й підшви пласта; гірничотехнічні умови експлуатації родовища; інші особливості геологічної будови (аномалії), які зумовлюють потенційну небезпеку для ведення підземних гірничих робіт.

Як приклад для досліджень вибрано гірничо-геологічні умови шахти «Самарська» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Вибір шахти як об'єкта досліджень зумовлений високими показниками експлуатаційної зольності видобутого вугілля серед

10-ти шахт ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Рейтинговий ряд шахт Західного Донбасу за показником загальношахтної зольності видобутого вугілля станом на 2018 рік наведено на рисунку 1.

Далі оцінюються якісні та кількісні показники запасів вугілля й параметри видобутку по шахті, а саме: структура вугільних пластів, що мають промислове значення, їх запаси, материнська зольність, показники роботи діючих очисних вибоїв.

Мета статті – детальне вивчення досягнутих гірничотехнічних параметрів видобутку, якісних і кількісних показників запасів вугілля в шахтному полі шахти «Самарська» для оцінки їх придатності до технології селективного виймання вугілля із залишенням порід у виробленому просторі очисних вибоїв.

Виклад основного матеріалу дослідження. Прогресивна технологія селективного виймання вугілля з розміщенням порід присікання у виробленому просторі лави базується на використанні нових технологічних ланок у складі високопродуктивного механізованого комплексу. Технологія передбачає виймання вугільної пачки потужністю 0,55–0,80 м, подальше виймання порід підшви, що присікаються, величиною 0,40–0,65 м, доставку і розміщення останньої у виробленому просторі [27; 30]. На рисунку 2 зображена комп'ютерна модель візуалізації очисного вибою, обладнаного механізованим комплексом для селективної технології видобування вугілля.

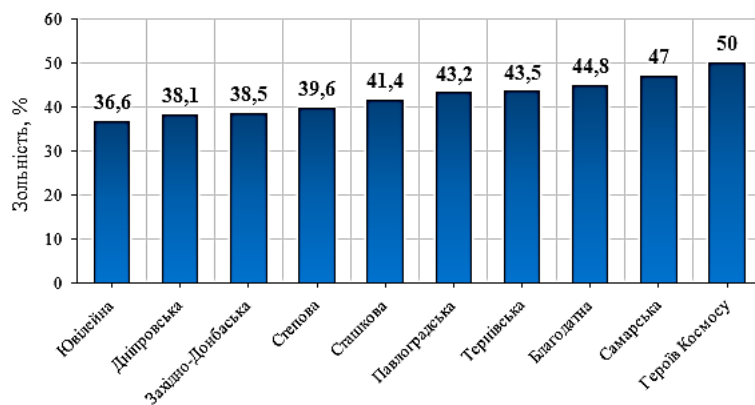


Рис. 1. Загальношахтна зольність вугілля, що видобувається на шахтах Західного Донбасу

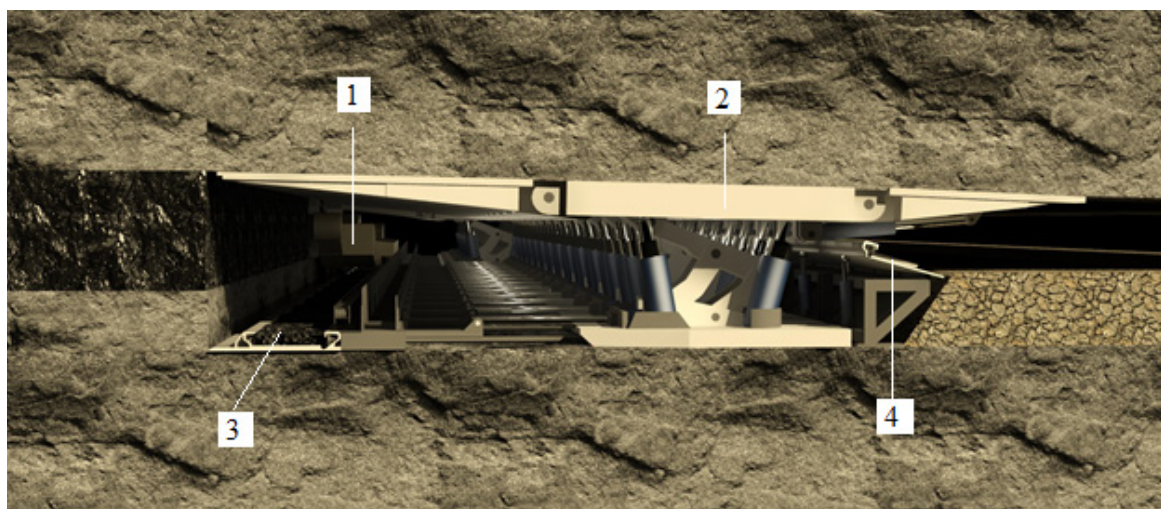


Рис. 2. Комп'ютерна модель візуалізації очисного вибою, обладнаного механізованим комплексом, для селективної технології видобутку вугілля: 1 – очисний комбайн; 2 – механізоване закладне кріплення; 3, 4 – горизонтально-замкнутий скребокний конвеєр, що включає вибійну та закладну гілки відповідно

Проведемо аналіз якісного та кількісного складу вугільних пластів, а також гірничотехнічних умов роботи шахти «Самарська». Балансові запаси поля шахти «Самарська» становлять 57%, а позабалансові – 43% від загальних запасів (115,2 млн т). Робоча потужність вугільних пластів варіюється в межах від 0,60 до 1,30 м. Промислові запаси вугілля в пластах потужністю менше 0,80 м становлять 18,2 млн т, із них у пластах: 0,50–0,59 м – 31,8%; 0,60–0,80 м – 39,3% (рис. 3.1, а). Промислове значення мають пласти C_6 , C_5 , C_4^2 , C_4^1 , C_4 і C_1 . Натепер шахтою розробляються пласти C_5 , C_4^2 і C_1 , в яких знаходиться до 32% усіх загальних промислових запасів.

Розподіл запасів вугілля по розроблювальним пластам виглядає таким чином:

- по пласту C_5 є близько 1,5 млн т вугілля, з яких більша частина (80%) зосереджена в межах площі з геологічною потужністю понад 0,8 м, інша частина запасів залягає в інтервалі потужностей 0,71–0,8 м (рис. 3.1, б);

- по пласту C_4^2 в межах площі шахтного поля знаходиться до 6 млн т вугілля, з яких 66,3% запасів – з потужністю більше 0,80 м (верхнє значення – 1,14 м). В інтервалах геологічних потужностей запаси розподіляються в таких відношеннях: 0,71–0,80 м – 4,8%; 0,60–0,70 м – 13,7%; 0,50–0,59 м – 15,2%. Відповідно, на площі поширення пласта з потужністю менше 0,80 м знаходиться близько 2 млн т вугілля (рис. 3.1, в);

- по пласту C_1 в межах шахтного поля розміщено 11,8 млн т, з них 37,9% – з переважною геологічною потужністю більше 0,80 м (верхнє значення – 1,05 м). Решта (62,1%) розподілені в таких відношеннях: 0,71–0,80 м – 2,9 млн т; 0,60–0,70 м – 2,5 млн т; 0,55–0,59 – 1,3 млн т; 0,50–0,55 – 0,4 млн т (рис. 3.1, г).

Вугілля пластів C_5 , C_4^2 , C_4^1 , C_4 відносяться до марки ДГ, пластів C_6 і C_1 – до марок ДГ + Г(Г1). Вугілля пластів C_5 , C_4^2 , C_4^1 , C_4 – малозольне (середнє значення A^d від 6,2 до 9,0%), C_1 – середньозольне (середнє значення 10,7%). Масова частка загальної сірки варіюється від 0,5 до 4,7%.

Пласт C_6 відносно витриманий, як за будовою, так і за потужністю, яка змінюється в межах 0,55–1,16 м (середнє значення – 0,77 м). Будова пласта в основному проста.

Пласт C_5 є одним з основних пластів промислового значення і залягає на 30 м нижче вугільного пласта C_6 . Глибина пласта варіюється в межах від 64 до 220 м. Пласт відносно витриманий, як за будовою, так і за потужністю, яка змінюється в межах 0,72–1,30 м (середнє значення – 0,94 м).

У деяких випадках пласт має складну будову, розділяється на дві пачки прошарком аргіліту потужністю 0,06–0,15 м. У покрівлі пласта залягають аргіліти, рідше – алевроліти, в підшві – алевроліти та аргіліти.

Пласт C_4^2 залягає на 10 м нижче пласта C_5 . На великій частині площі пласт повністю розмитий. Кондиційну потужність 0,64–1,10 м пласт зберігає у східній частині площі шахтного поля. На цій ділянці вугільний пласт відносно витриманий, як за будовою, так і за потужністю. В окремих випадках пласт має складну двошаркову будову і розділений прошарками аргілітів потужністю до 0,4 м. У покрівлі вугільного пласта залягає обводнений пісковик.

Пласт C_4^1 залягає на 14 м нижче пласта C_4^2 на глибині від 60 до 235 м. На всій площі шахтного поля переважає потужність 0,45–0,80 м (середнє значення – 0,52 м). Будова пласта проста, тільки в деяких випадках простежується пропласток вуглисто аргіліту потужністю до 0,25 м, який розділяє вугільну пачку на дві частини. У покрівлі пласта залягають в основному алевроліти, рідше – аргіліти і пісковики, в підшві – аргіліти, рідше – алевроліти.

Пласт C_4 залягає на 18 м нижче пласта C_4^1 на глибині від 62 до 280 м. Пласт відпрацьований практично на всій площі шахтного поля. Невідпрацьованими залишилися ділянки на сході, півдні й частково на півночі шахтного поля. Пласт має просту будову і повсюдне поширення з потужністю, яка змінюється в широких межах від 0,55 до 1,27 м. У покрівлі та підшві залягають в основному аргіліти, рідше – алевроліти.

Пласт C_1 залягає на 46 м нижче вугільного пласта C_4 і є одним з основних пластів промислового значення. Глибина залягання пласта змінюється в межах від 65 до 310 м. Потужність його коливається в межах 0,8–1,5 м (середня – 0,87 м) і витримується практично на всьому шахтному полі. Характерним для пласта є наявність у покрівлі потужного (до 28 м) водонасиченого пісковика, який ускладнює гідро- та гірничо-геологічні умови експлуатації родовища в разі залягання пісковика безпосередньо над пластом вугілля.

Вуглевмісні породи представлені чергуванням аргілітів, алевролітів, рідше – пісковиків. Середні значення меж міцності за одноосового стискання змінюються для аргілітів від 21,6 до 34,3 МПа, для алевролітів – від 25,2 до 41,4 МПа, для пісковиків – від 49,1 до 51,8 МПа.

Материнська зольність вугільних пластів, що мають промислове значення, змінюється в значних межах від 1,3 до 35,0%, становлячи

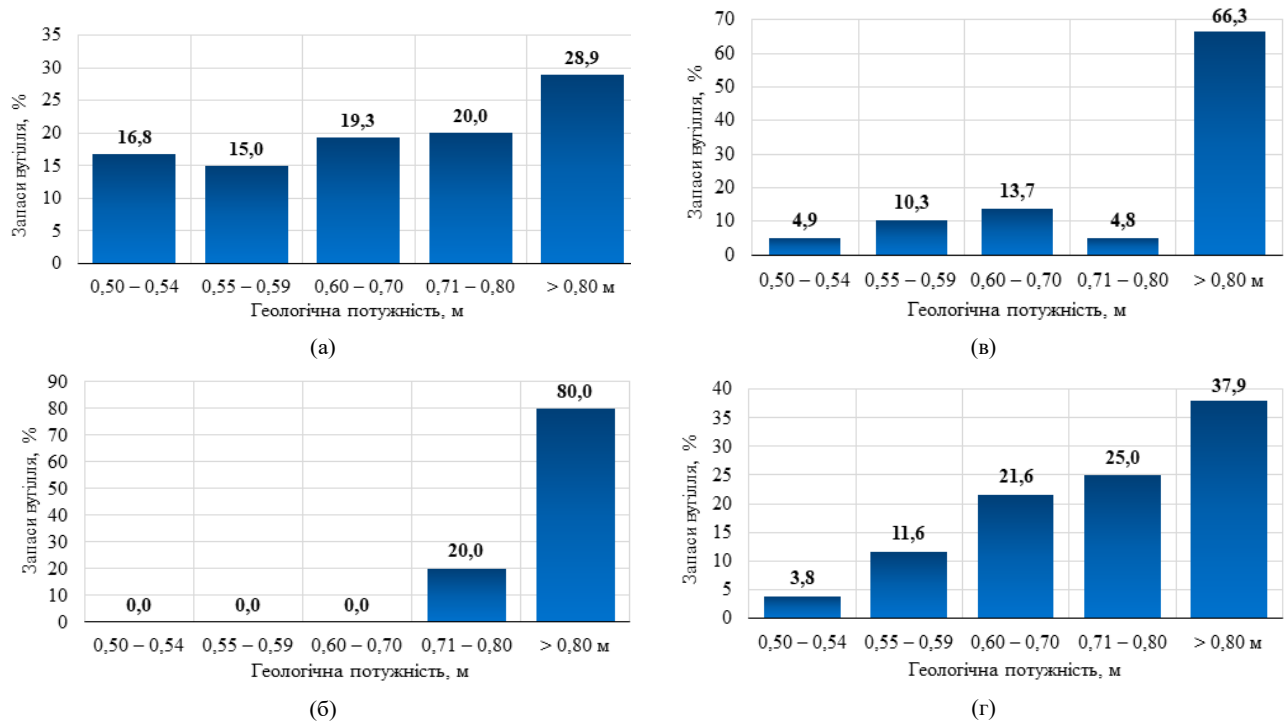


Рис. 3. Гістограма розподілу запасів вугілля шахти «Самарська» за потужністю: а – загальна кількість запасів; б – по пласту C_5 ; в – по пласту C_4^2 ; г – по пласту C_1

в середньому 6,2–10,7%. Експлуатаційна ж зольність пластів, що розробляються, коливається від 32,5 до 45,2%. Настільки висока експлуатаційна зольність пояснюється значною величиною присікання бічних порід, яка, наприклад, у разі відпрацювання пласта C_4^2 може сягати 0,35 м.

Нині видобувні дільниці шахти «Самарська» обладнані механізованими комплексами ІМКД-80, до складу яких входять очисні комбайни КА-200. Нижня межа потужності, що виймається, в лавах становить 1,05 м за середньої геологічної потужності пластів, що відпрацьовуються, – 0,81 м.

Наприклад, корисна потужність, що виймається, в межах виїмкової дільниці 178 лави пласта C_5 становить 0,89 м; 551 лави пласта C_4^2 – 0,86 м; 4204 лави пласта C_4^2 – 0,78 м. Середня зольність гірничої маси, що видавалась із лав, у 2018 році становила 39,1%, а загальношахтна – 47,0%. Фактичні виробничі показники роботи очисних вибоїв шахти «Самарська» представлені в таблиці 1.

Ускладнюючим фактором під час ведення очисних робіт (як результат – зниження продуктивності видобувних дільниць) є наявність у покрівлі водовмісних пластів. Так, у зонах з підвищеною тріщинуватістю в разі обвалення основної покрівлі не рідкісні випадки посадки на «жорстку базу» механізованих кріплень і збільшення водотоків в очисну виробку.

Виходячи з проведеного аналізу гірничо-геологічної та гірничо-технічної характеристик шахти, можна стверджувати, що умови експлуатації родовища є складними: наявність у надвугільній товщі слабких обводнених порід, розмокання та здимання порід підшви, підвищена тріщинуватість вуглевмісного масиву.

Вугілля пластів C_6 , C_5 , C_4^2 , C_4^1 малозольне (середні значення пластової зольності коливаються від 6,2 до 9,0%), вугільний пласт C_1 є середньозольним (середнє значення – 10,7%), при цьому експлуатаційна зольність у лавах пластів C_5 , C_4^2 , C_1 , що відпрацьовуються, в 3–5 разів більше материнської і може сягати 45,2% (4204 лави пласта C_1).

Обробка статистичної інформації показує, що більше половини промислових запасів шахти (54,3%) знаходиться в пластах потужністю від 0,55 до 0,80 м, які неможливо відпрацьовувати традиційною технологією і технікою без присікання бічних порід, а також вимагаються додаткові фінансові затрати на транспорт і збагачення високозольного вугілля. Відмова від розробки таких запасів істотно скоротить термін служби підприємства (за поточного рівня видобутку – на 11 років).

Таким чином, потенційною областю застосування технології селективного виймання вугілля можуть стати вже розкриті й підготовлені пласти C_5 , C_4^2 , C_1 , в яких залягає понад 9 млн т вугілля

на площі поширення з геологічною потужністю 0,55–0,80 м (рис. 4).

Розрахунки показують, що відпрацювання традиційною, валовою технологією пласта C_5 (за материнської зольності 6,2%) істотно погіршить показники якості вугілля, що видобувається. Так, прогнозна експлуатаційна зольність по пласту становить: 39,0% – за потужності пласта 0,80 м; 43,4% – за 0,75 м; 47,7% – за 0,70 м; 51,7% – за 0,65 м; 59,1% – за 0,60 м; 62,3% – за 0,55 м (рис. 5).

У разі валового відпрацювання пласта C_4^2 (за материнської зольності 7,3%) показники експлуатаційної зольності очікуються такими: 39,7% – за потужності пласта 0,80 м; 44,1% – за 0,75 м; 48,2% – за 0,70 м; 52,2% – за 0,65 м; 59,5% – за 0,60 м; 62,7% – за 0,55 м.

За валового відпрацювання пласта C_1 зольність видобутої гірничої маси змінюється в межах від 41,7 до 63,8% залежно від корисної потужності та величини порід, що присікаються.

Істотно знизити зольність можливо за селективного (роздільного) виймання вугілля порід, що присікаються. Технологія дозволяє у 2 рази знизити засмічення вугілля.

Так, за відпрацювання пласта C_5 очікувана експлуатаційна зольність вугілля становить 17,1% за потужності пласта 0,80 м; 18,5% – за 0,75 м; 19,3% – за 0,70 м; 19,3% – за 0,65 м; 20,2% – за 0,60 м; 21,2% – за 0,55 м. Під час відпрацювання пласта C_4^2 зольність вугілля, що видобувається, змінюється від 18,1 до 24,9% за потужностей від 0,80 до 0,55 м відповідно. За відпрацювання пласта C_1 експлуатаційна зольність вугілля не перевищить 24,9%.

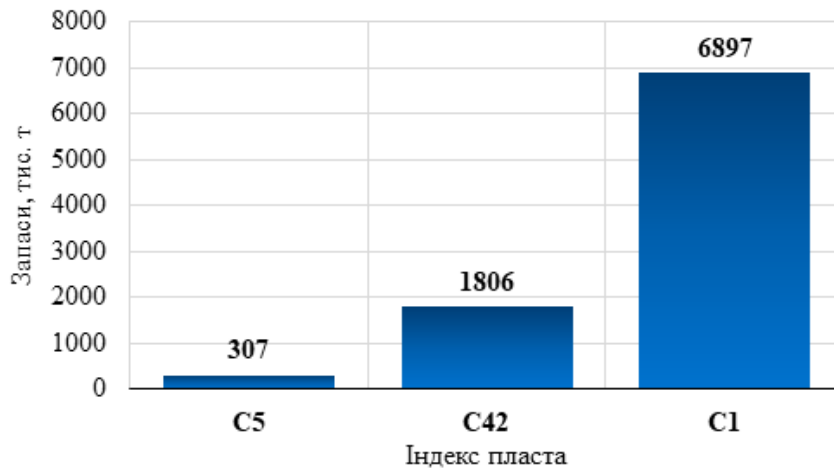


Рис. 4. Розподіл промислових запасів, потенційно придатних до відпрацювання селективною технологією

Таблиця 1

Виробничі показники роботи очисних вибоїв шахти «Самарська»

Лава	Пласт	Механізація (кріплення, комбайн, конвеєр)	Потужність пласта, м		Навантаження на лаву, т/добу	Зольність, %	Запаси виймкового стовпа, тис. т
			Геологічна	Що виймається			
176 лава	C_1	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,89	1,05	2333	37,7	649,2
178 лава	C_1	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,89	1,05	2476	33,5	612,1
547 лава	C_5	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,88	1,05	2420	35,3	462,3
551 лава	C_5	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,86	1,05	2168	36,7	353,5
555 лава	C_5	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,85	1,05	2034	38,6	226,5
4201 лава	C_4^2	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,78	1,05	2416	45,8	353,2
4204 лава	C_4^2	КД-80, 1КА-200, СП-251	0,75	1,05	2150	46,2	337,7

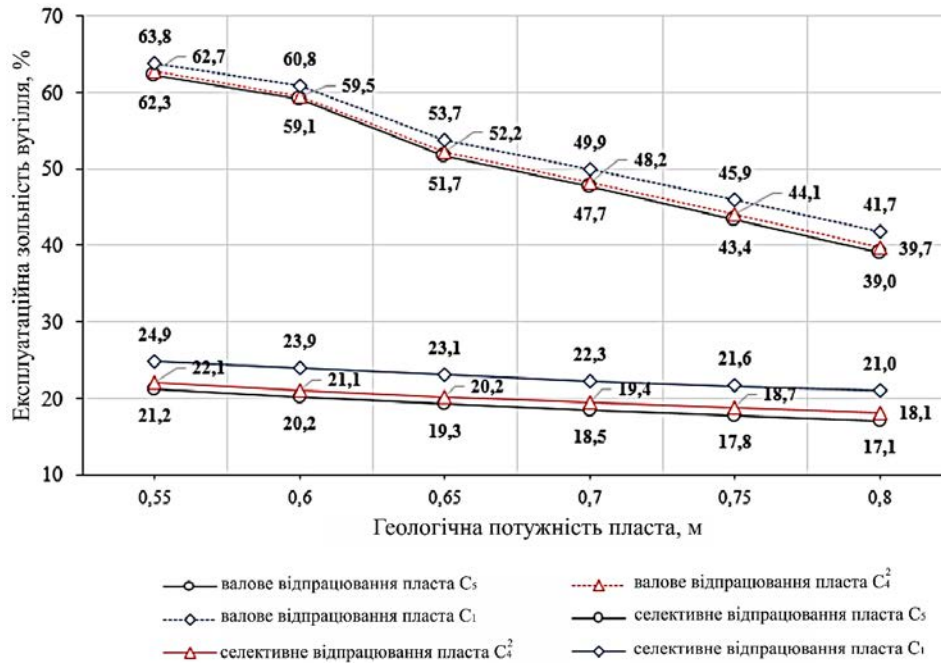


Рис. 5. Прогнозна зольність по пластах залежно від їх корисної потужності та технології відпрацювання

Висновки. Внаслідок проведеного дослідження встановлено, що істотним резервом підвищення ефективності та ресурсного потенціалу шахти «Самарська» є можливість реалізації маловідходної технології селективного видобутку вугілля із пласта C₁. Технологія надасть можливість вилу-

чити з надр понад 6 млн т вугілля із зольністю не більше 25%. Залишення попутно видобутої породи у виробленому просторі лави дозволить скоротити негативний прояв гірського тиску і знизить імовірність посадки механізованих комплексів на «жорстку базу» в умовах слабких обводнених порід.

Список літератури:

1. Coal Information. Paris : IEA, 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/coal-information-2019>
2. Spencer D. BP Statistical Review of World Energy Statistical Review of World. *World Energy*. 2019. Vol. 68. P. 1–69.
3. Cornot-Gandolphe S. Status of global coal markets and major demand trends in key regions. Paris : French Institute of International Relation, 2019.
4. Wang Q., Song X., Liu Y. China's coal consumption in a globalizing world: Insights from multi-regional input-output and structural decomposition analysis. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 711. P. 134790. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134790>
5. Kamiński P.K., Kamiński J. Coal demand and environmental regulations: a case study of the polish power sector. *Energies*. 2020. Vol. 13. Is. 6. P. 1521. URL: <https://doi.org/10.3390/en13061521>
6. The globalization of the world coal market—contradictions and trends / Y. Sribna et al. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 123. P. 01044. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301044>
7. Wen Ling. Shenhua's evolution from coal producer to clean energy supplier. *Cornerstone Mag*. 2015. March 16.
8. Wiatros-Motyka M. An overview of HELE technology deployment in the coal power plant fleets of China, EU, Japan and USA. London : IEA Clean Coal Centre, 2016.
9. Wang S. Near-zero air pollutant emission technologies and applications for clean coal-fired power. *Engineering*. 2020. In Press, Corrected Proof. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.10.018>
10. Писаренко М.В. Горно-геометрическое обеспечение оценки подготовленности месторождения к освоению по показателю зольности угля. *Горная промышленность*. 2016. Том 1. Вып. 125. С. 62–64.
11. Snihur V., Malashkevych D., Vvedenska T. Tendencies of coal industry development in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*. 2016. Vol. 10. Is. 2. P. 1–8. URL: <https://doi.org/10.15407/mining10.02.001>
12. Modern experience of low-coal seams underground mining in Ukraine / M.V Petlovanyi et al. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28. Is. 6. P. 917–923. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.05.014>

13. Петльований М.В., Гайдай О.А. Аналіз накопичення і систематизація породних відвалів вугільних шахт, перспективи їх розробки. *Геотехнічна механіка*. 2017. Вип. 136. С. 147–158.
14. Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine / M.V Petlovanyi et al. *Mining of Mineral Deposits*. 2019. Vol 13. Is. 1. P. 24–38. URL: <https://doi:10.33271/mining13.01.024>
15. Bini C., Maleci L., Wahsha M. Mine waste: assessment of environmental contamination and restoration. *Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils*. 2017. P. 89–134. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809588-1.00004-9>
16. Ali Bahri Najafi, Golam Reza Saeedi, Mohammad Ali Ebrahimi Farsangi. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. Vol. 70. P. 115–122. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2014.04.015>
17. Ermekov T.E., Issabek T.K., Issabekov E.T. Mining robotic complex with adaptive control software (MRCACS). *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2016. Is. 4. P. 23–30.
18. Косарев И.В. Инновационные направления в создании горно-шахтного оборудования, обеспечивающего повышение эффективности добычи угля. *Вестник Донецкого национального технического университета*. 2016. Вып. 6. С. 12–18.
19. Limits to economic viability of extraction of thin coal seams in Ukraine. Technical, technological and economical aspects of thin-seams coal mining / I. Pavlenko et al. *International Mining Forum*. 2007. P. 129–132. URL: <https://doi:10.1201/noe0415436700.ch16>
20. Kuzmenko O., Petlovanyi M. Substantiation the expediency of fine gridding of cementing material during backfill works. *Mining of Mineral Deposits*. 2015. Vol. 9. Is. 2. P. 183–190. URL: <https://doi:10.15407/mining09.02.183>
21. Surface subsidence prediction method of backfill-strip mining in coal mining X. Zhu et al. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2019. Vol. 78. Is. 8. P. 6235–6248. URL: <https://doi:10.1007/s10064-019-01485-3>
22. Соколов А.С., Потапов В.В. Техничко-економическая эффективность технологии подземного углеобогащения. *Горный журнал*. 2014. Вып. 1. С. 42–46.
23. Технологические схемы управления качеством угля при подземной добыче по фрикционным характеристикам / В.В. Потапов. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2006. Вып. 5. С. 193–195.
24. Технологическая схема и оборудование для селективной добычи угля длинными очистными забоями / В.И. Бондаренко и др. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. № 2. Вип. 41. С. 19–24.
25. Resource-saving technology of selective mining with gob backfilling / V. Byzylo et al. *New Developments in Mining Engineering*. 2015. P. 485–491. URL: <https://doi:10.1201/b19901-84>
26. Koshka O., Yavors'kyu A., Malashkevych D. Evaluation of surface subsidence during mining thin and very thin coal seams. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*. 2014. P. 229–233. URL: <https://doi:10.1201/b17547-41>
27. Бондаренко В.І., Малашкевич Д.С. Спосіб селективної виїмки корисних копалин із закладкою виробленого простору. Патент України №133713. Опубліковано 25.04.2019. Бюлетень № 8. 4 с.
28. Varabash M., Cherednichenko Y.Y. Transformation SHC “Pavlogradvugillia” in the world class coal-mining company – PJSC “DTEK Pavlogradvugillia.” *Mining of Mineral Deposits*. 2015. Vol. 9. Is. 1. P. 15–23. URL: <https://doi:10.15407/mining09.01.015>
29. Отработка тонких и весьма тонких пластов с оставлением пустых пород в шахте / А.Г. Кошка и др. *Геотехнічна механіка*. 2013. Вип. 110. С. 79–88.
30. On the question of rock leaving in worked-out area of coal mines / V. Bondarenko et al. *Mining of Mineral Deposits*. 2014. Vol. 8. Is. 1. P. 19–24. URL: <https://doi:10.15407/mining08.01.019>

Malashkevych D.S., Petlovanyi M.V., Sai K.S., Kozii Ye.S. QUANTITATIVE AND QUALITATIVE ASSESSMENT OF COAL RESERVES AS AN IMPORTANT STAGE THEIR SELECTIVE MINING JUSTIFICATION

The need for a preliminary quantitative and qualitative assessment of coal seams to justify the feasibility of their use for selective mining with the placement cut rocks in the mined-out space is devoted in the article. The problem of mining thin and very thin coal seams (0.70–1.0 m) with cutting wall rocks, which leads to a deterioration the coal production quality and additional waste volumes generation is covered and posed. Emphasis is placed on the lack of effective mining technologies for thin and very thin coal seams. The choice of the Samarska coal mine PJSC “DTEK Pavlohradvuhillia” as an object of research on the rationalization the selective extraction application due to the high level of coal ash content (47%) is substantiated. The quantitative characteristic of coal reserves distribution by geological thickness of developed seams and

maternal ash content is given. The coal of most working seams is low-ash (average values of maternal ash content – 6.2 to 9.0%), and the operational ash content in the longwalls is 3 – 5 times higher than the maternal were found. More than half of the mine's balance reserves (54.3%) are in formations with a thickness of 0.55 to 0.80 m, which cannot be worked out by traditional technology and equipment without cutting side rocks, and require additional costs for transport and enrichment of high ash coal are established. The potential application area of selective coal mining technology is capable of being accessed and developed reserves that contain more than nine mln t of coal is determined for these conditions. Analytical dependences of the value of the predicted operational ash content of coal depending on the useful seam thickness and the technology of their development (traditional gross and selective) are obtained. The ash content indicators for the working seams depending on their useful ash content and mining technology (gross and selective) are predicted. It is recommended to introduce the implementation of low-waste technology of selective coal mining from C₁ seam for the reserve to increase the efficiency and resource potential of the Samarska mine, which will eliminate more than 6.0 mln t of coal with an ash content of not more than 25%.

Key words: *rock formation, balance reserves, mother ash, exploitation ash content, rock cutting, selective mining, working face.*

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.35

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/27>**Майзеліс А.О.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Артеменко В.М.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІЛІГАНДНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ СПЛАВУ ЦИНК-ОЛОВО

Останнім часом сплав олово-цинк привертає увагу завдяки високим антикорозійним властивостям, здатності до пайки, гарній провідності. Незважаючи на існування лужно-ціанідного електроліту для нанесення покриттів таким сплавом, ведеться активний пошук електроліту, який би відповідав всім сучасним вимогам до електролітів, у т. ч. був нетоксичним. Мета роботи – на основі екологічно безпечних лігандів запропонувати полілігандний електроліт, який дозволить забезпечити осадження як покриттів, збагачених цинком, так і покриттів, збагачених оловом. Електрохімічні дослідження проводили у триелектродній комірці за допомогою потенціостату MTech PGP-550M. Значення рН електролітів контролювали рН-метром СТ-6020А. Морфологію поверхні досліджували за допомогою мікроскопа мікротвердомету ПМТ-3. Рентгенофлуоресцентний аналіз елементного складу зразків здійснювали за допомогою спектрометру СПРУТ. На основі запропонованої полілігандної системи розроблено електроліт для осадження покриттів сплавом олово-цинк, який містить лише екологічно безпечні сполуки. Шляхом вивчення поляризаційних залежностей показано, що електроліт забезпечує сумісне відновлення на катоді олова і цинку. Окремо показано вплив поверхнево-активної речовини (гідролізованого столярного клею) на поляризаційні залежності та компактність покриттів. Показано, що концентрація клею на рівні 135 мг/дм³ забезпечує осадження компактних покриттів. За результатами візуального огляду покриттів, дослідження морфології їхньої поверхні й елементного складу отриманих сплавів зроблено висновок про можливість отримання якісних покриттів у широкому діапазоні їх складу: за низьких густин струму (до 15 мА/см²) осаджуються покриття, що містять 12–25% цинку, а в області високих густин струму (20–35 мА/см²) – сплави, збагачені за цинком (75–80%).

Ключові слова: сплав, цинк, олово, полілігандна система, екологічно безпечний електроліт, поляризаційна залежність, склад сплаву, безсвинцевий припій.

Постановка проблеми. Нині в техніці широко застосовуються функціональні гальванічні покриття, що володіють заданими фізико-хімічними та механічними властивостями. До їх числа відносять покриття оловом і сплавами на його основі, які характеризуються високими антикорозійними властивостями, здатністю до пайки, гарною провідністю. Електрохімічний спосіб модифікації поверхні деталей відрізняється високою енергоефективністю (порівняно з гарячим цинкуванням та олов'януванням) і низькою ресурсоемністю (оскільки формується тонка захисна плівка на поверхні деталі замість модифікації суцільного матеріалу деталі). Тому покриття сплавами олово-цинк використовують у суднобудівній, автомобільній промисловості, мікроелектроніці,

аеронавтиці, харчовій промисловості [1]. Останнім часом такі покриття особливо привертають увагу своєю нетоксичністю. Сплав олово-цинк використовують як заміну заборонених через токсичність олов'яно-свинцевих припоїв, канцерогенного кадмію, більш дорогих сплавів олово-срібло (сплав Sn-Zn із вмістом цинку 8–9%) [2; 3]. Крім того, покриття сплавом Sn-Zn на сталі поєднують у собі високий опір хімічному руйнуванню, властивий олову, й анодний захист сталевій основі, характерний для цинку [4], що забезпечує ресурсозбереження за рахунок тривалої експлуатації деталей зі сталі.

Отримати покриття сплавом Sn-Zn із простих електролітів не видається можливим через велику різницю стандартних потенціалів, тому

осадження сплаву ведуть із комплексних електролітів [5; 6]. Лужно-ціанідний електроліт дозволяє зблизити рівноважні потенціали олова і цинку й отримати досить широку область потенціалів співосадження металів, але ціанідний електроліт є токсичним, його експлуатація викликає певні технологічні труднощі, а знешкодження стоків потребує особливої уваги та спеціальної технології. Замість лужно-ціанідного електроліту пропонувалися комплексні електроліти з різноманітними лігандами [1–3; 7–11], але адекватної заміни поки що не досягнуто.

Підвищення функціональних властивостей поверхні можливе завдяки осадженню мультишарових покриттів [12], які складаються із шарів сплавів різного складу. Поєднання таких шарів у мультишаровому покритті дозволяє не тільки розширити функціональні властивості матеріалів, а й забезпечити ресурсозбереження завдяки можливості осадження покриття меншої товщини.

Постановка завдання. Мета роботи – на основі екологічно безпечних лігандів запропонувати полілігандний електроліт, який забезпечить осадження покриттів, збагачених як цинком, так і оловом.

Виклад основного матеріалу дослідження.
Методика. Полярizaційні залежності та хронопотенціограми отримували у триелектродній комірці за допомогою потенціостату MTech PGP-550M. Вольтамперограми одержували зі швидкістю розгортання потенціалу 10 мВ/с. Робочі електроди – цинкові, олов'яні та мідні зразки площею поверхні 1 см². Поверхню зразків перед кожним вимірюванням оновлювали за допомогою карбідсіліконового паперу почергово 500, 1 500, 2 000 grit. Відповідними допоміжними електродами служили аноди з олова або цинку. Електрод порівняння – насичений хлоридсрібний, значення потенціалів наведено за цим електродом. Всі розчини готували з реактивів марки «х.ч.» і «ч.д.а.» з використанням дистильованої води. В електроліт вводили гідролізований столярний клей із концентрацією 20 г/дм³. Значення рН електролітів контролювали рН-метром СТ-6020А. Морфологію поверхні досліджували на приладі ПМТ-3 за допомогою його мікроскопа. Рентгенофлуоресцентний аналіз елементного складу зразків здійснювали на спектрометрі СПРУТ.

Результати досліджень. Вплив вмісту концентрації іонів металів на катодну полярizaцію в полілігандному електроліті.

У роботі досліджувалася полілігандна система, що складається із двох лігандів (пірофосфату та цитрату), здатних утворювати з цинком і оловом комплексні сполуки необхідної міцності. Комплексоутворювачі вводилися у виді сульфатів.

Полярizaційні залежності отримували в електролітах, склади яких наведено у табл. 1. Електроліти 1 і 2 (див. табл. 1) містять обидва ліганди та тільки один з іонів металів. Інші електроліти відрізняються співвідношенням іонів металів за сталого вмісту лігандів. У всіх розчинах рН підтримували на рівні 7,5, що забезпечує необхідну стабільність електролітів.

На рис. 1 приведені полярizaційні залежності, отримані у всіх електролітах на олов'яному (кр. 1–4) та цинковому (кр. 5) електродах. Обидва метали зв'язані у достатньо міцні комплекси, про що свідчить значний зсув їх рівноважних потенціалів у негативний бік порівняно з розчинами простих іонів металів [13].

На залежностях виділення як Sn (рис. 1, кр. 1), так і Zn (кр. 5) із досліджуваних електролітів спостерігається кілька хвиль, які відповідають відновленню комплексних сполук цих металів із різними координаційними числами.

За сумісної присутності у розчинах обох металів у співвідношеннях Zn : Sn = 1 : 2 (кр. 2) і Zn : Sn = 1 : 1 (кр. 3) полярizaційні залежності мають ідентичних хід, але за зменшення концентрації іонів олова за рахунок збільшення концентрації іонів цинку густина струму на першій хвилі дещо нижча. За подальшого збільшення співвідношення у бік концентрації іонів цинку, Zn : Sn = 2 : 1 (кр. 4), пікові значення густин струму практично відсутні.

Сумісне відновлення іонів олова та цинку у цьому електроліті відбувається у широкому діапазоні потенціалів зі значною перенапрягою та високою поляризованістю, що є умовою отримання якісних покриттів. При сплавоутворенні виділення олова відбувається з надполярizaцією – на першій ділянці полярizaційної залежності та зі значною деполарizaцією (200–250 мВ) – на другій ділянці. Виділення цинку відбувається з надполярizaцією (100–150 мВ). Таким чином, цей полілігандний електроліт забезпечує широкий діапазон потенціалів співосадження олова та цинку.

Без введення поверхнево-активних речовин (ПАР) у полілігандному електроліті з ростом товщини покриття стають рихлими, що характерно і для інших електролітів для осадження

Таблиця 1

Склади досліджуваних електролітів

Компонент	Електроліт, моль/дм ³				
	1	2	3	4	5
ZnSO ₄	0,35	–	0,175	0,117	0,233
SnSO ₄	–	0,35	0,175	0,233	0,117
C ₆ H ₅ K ₃ O ₇	0,875				
K ₄ P ₂ O ₇	0,175				

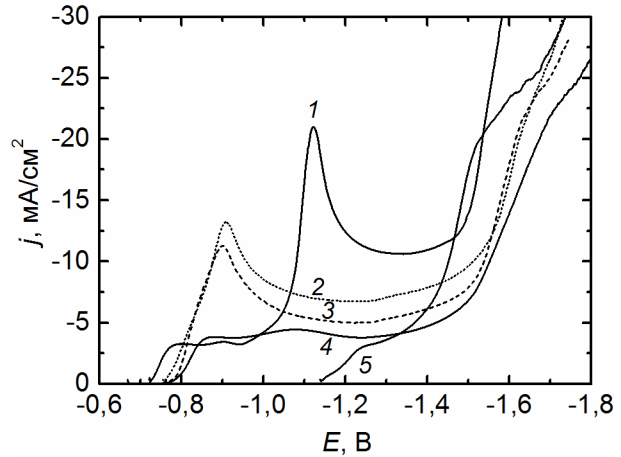
покриттів, які містять цинк та олово. Частка компактного шару, котру визначали за різницею між масою отриманого осаду і масою осаду після зняття рихлого шару, збільшується при збільшенні густини струму осадження, що пов'язано зі збільшенням вмісту цинку у сплаві.

Вплив ПАР на катодний процес.

На рис. 2, а представлені поляризаційні залежності, отримані при введенні в електроліт 4 столярного клею – поверхнево-активної речовини, яка часто застосовується в електролітах.

При введенні достатньої кількості столярного клею спостерігається наявність двох хвиль: перша – осадження олова та початку його співосадження з цинком, друга – осадження цинк-олов'яного сплаву з переважним вмістом цинку. Збереження чітко відокремлених областей виділення сплаву, збагаченого оловом, і сплаву, збагаченого цинком, при введенні ПАР у електроліт стало можливим завдяки обраній полілігандній системі електроліту, що забезпечила суттєву деполіаризацію відновлення олова та надполіаризацію виділення цинку.

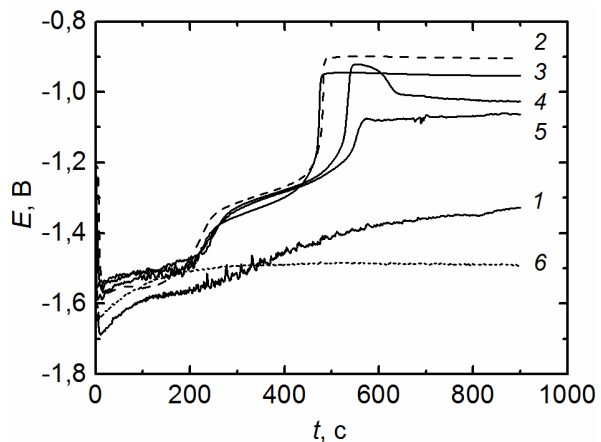
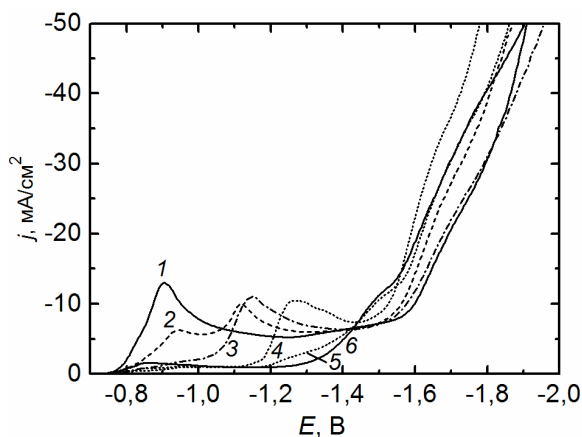
Хронопотенціограми осадження сплаву цинк-олово за густини струму 15 мА/см² представлені на рис. 2, б. Незважаючи на більш компактний вигляд покриття при введенні столярного клею, через 400 с потенціал зсувається в область осадження олов'яних і збагачених оловом покриттів, що пов'язано з розвиненням їх поверхні. При збільшенні вмісту столярного клею час переходу до стабільного потенціалу осадження збільшується, тобто розвинення поверхні відбувається більш повільно.



Електроліт: 1 – № 2; 2 – № 4;
3 – № 3; 4 – № 5; 5 – № 1.

Рис. 1. Поляризаційні залежності на олові (1-4) та цинку (5)

3 електроліту 4 осаджуються відносно компактні покриття навіть за відсутності ПАР (частка компактного шару складає 90 %). При додаванні столярного клею частка рихлого шару залежно від концентрації добавки зменшується практично до 0%.



Вміст клею, мг/дм³: 1 – 0; 2 – 35; 3 – 70; 4 – 100; 5 – 135; 6 – 170.

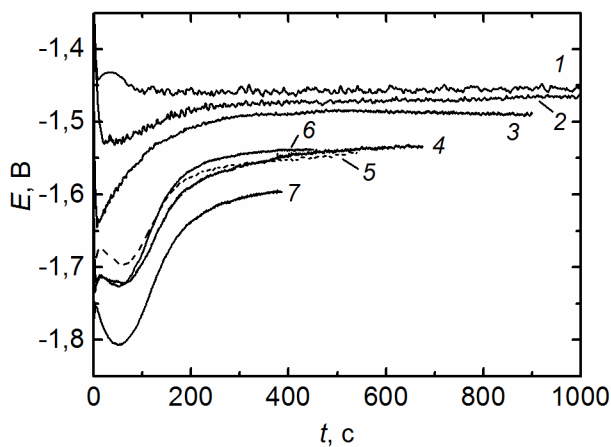
Рис. 2. Поляризаційні залежності (а) та хронопотенціограми (б) осадження покриттів сплавом цинк-олово в електроліті 4 за густини струму 15 мА/см² з різною концентрацією клею

Тільки при введенні 135 мг/дм^3 розчину клею (позначимо такий електроліт як $4'$) потенціал залишається в області осадження сплаву, збагаченого за цинком.

Вплив густини струму на структуру й елементний склад покриттів.

Для визначення можливості осадження покриттів сплавами цинк-олово із широким діапазоном співвідношення олова та цинку у сплаві отримали серію покриттів за різних густин струму з електроліту $4'$, що містить ПАР – столярний клей.

На рис. 3 наведено хронопотенціограми осадження покриттів, отриманих з електроліту $4'$ за густин струму від 5 мА/см^2 до 35 мА/см^2 .

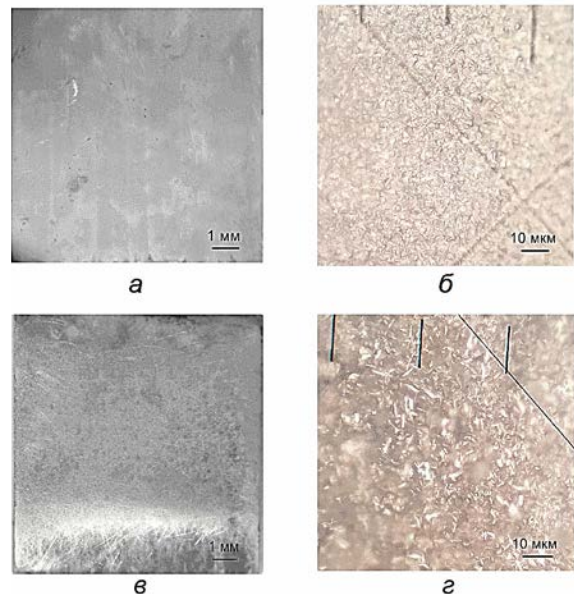


Густина струму осадження, мА/см^2 :
 1 – 5; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 –; 6 – 30; 7 – 35.
 Рис. 3. Хронопотенціограми осадження покриттів сплавом цинк-олово в електроліті $4'$

За густин струму 5 мА/см^2 , 10 мА/см^2 і 15 мА/см^2 потенціал стабілізується в одній області ($-1,45 \dots -1,50 \text{ В}$), а за вищих густин струму – в іншій. Це дає підставу прогнозувати осадження сплавів суттєво різного складу в діапазонах густин струму $5-15 \text{ мА/см}^2$ і $20-35 \text{ мА/см}^2$, які відповідають області потенціалів до другої хвилі на поляризаційних залежностях виділення сплаву та після неї.

Покриття компактні, за низьких густин струму – дрібнокристалічні, матові, за високих – дрібнокристалічні, напівблискучі (рис. 4).

Залежність складу покриття від густини струму його осадження, побудована за результатами рентгенофлуоресцентного аналізу, представлена на рис. 5. У діапазоні низьких густин струму осаджується покриття із вмістом цинку $12-25\%$, що за літературними даними відповідає найбільш корозійностійким покриттям сплавом олово-цинк. У діапазоні високих густин струму – сплав, збагачений за цинком, також із досить стабільним складом.



Густина струму осадження:
 а, б – 5 мА/см^2 ; в, г – 20 мА/см^2 .
 Рис. 4. Фотографії (а, в) та морфологія (б, г) поверхні зразків, отриманих у електроліті $4'$

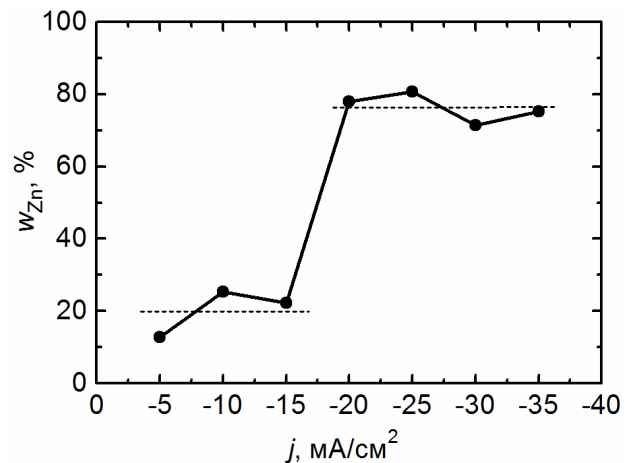


Рис. 5. Залежність вмісту Zn у покриттях сплавом Zn-Sn з електроліту $4'$

Така залежність складу покриття від густини струму його осадження дозволяє прогнозувати можливість використання запропонованої полілігандної системи для осадження мультишарових покриттів, які складаються із шарів різного складу і які за показниками функціональних властивостей значно перевершують моношарові покриття сплавами [14].

Подальші дослідження будуть направлені на розробку технологічної схеми осадження покриттів сплавами цинк-олово, що включатиме використання модифікованої ванни уловлювання. У такій ванні іони металів, винесені з основної

робочої ванни, можливо електролітично вилучати у вигляді підшару та/або поверхневого захисного шару [15]. Реалізація такої схеми не тільки значно зменшить навантаження на систему очистки сумарних гальванічних стоків від іонів металів, а й дозволить економити матеріал анодів.

Висновки. На основі запропонованої полілігандної системи розроблено електроліт для осадження

покриттів сплавом олово-цинк, який не містить екологічно небезпечних сполук, забезпечує сумісне відновлення на катоді олова і цинку та дозволяє отримувати якісні покриття у широкому діапазоні складу покриття: за низьких густин струму (до 15 мА/см²) осаджуються покриття, що містять 12–25% цинку, а в області високих густин струму (20–35 мА/см²) – сплави, збагачені за цинком (75–80%).

Список літератури:

1. Salhi Y., Cherrouf S., Cherkaoui M., Abdelouahdi K. Electrodeposition of nanostructured Sn–Zn coatings. *Applied Surface Science* 2016. Vol. 367. P. 64–69.
2. Kazimierzak, H., Ozga, P., Jałowiec, A., Kowalik, R. Tin-zinc alloy electrodeposition from aqueous citrate baths. *Surface and coatings technology*. 2014. Vol. 240. P. 311–319.
3. Zhang, J., Gu, C., Tu, J. Potentiodynamical deposition and corrosion behavior of thin Zn-Sn coatings with layered structure and varied composition from deep eutectic solvent. *Surface And Coatings Technology*. 2017. Vol. 320. P. 640–647.
4. Oladijo, O.P., Mathabatha, M.H., Popoola, A.P.I., Ntsoane, T.P. Characterization and corrosion behaviour of plasma sprayed Zn-Sn alloy coating on mild steel. *Surface and Coatings Technology*. 2018. Vol. 352. P. 654–661.
5. Esfahani, M., Zhang, J., Wong, Y.C., Durandet, Y., Wang, J. Electrodeposition of nanocrystalline zinc-tin alloy from aqueous electrolyte containing gluconate in the presence of polyethylene glycol and hexadecyltrimethylammonium bromide. 2018. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2018. Vol. 813. P. 143–151.
6. Guaus, E., Torrent-Burgués, J. Tin-zinc electrodeposition from sulphate-gluconate baths. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2003. Vol. 549. P. 25–36.
7. Liang, Y.U.A.N., Ding, Z.Y., Liu, S.J., Shu, W.F., He, Y.N. Effects of additives on zinc electrodeposition from alkaline zincate solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2017. Vol. 27 (7). P. 1656–1664.
8. Ashiru, O.A., Shirokoff, J. Electrodeposition and characterization of tin-zinc alloy coatings. *Applied surface science*. 2003. Vol. 103 (2). P. 159–169.
9. Guaus, E., Torrent-Burgués, J. Tin-zinc electrodeposition from sulphate-tartrate baths. *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 2005. Vol. 575 (2). P. 301–309.
10. Slupska, M., Ozga, P. Electrodeposition of Sn-Zn-Cu alloys from citrate solutions. *Electrochimica Acta*. 2014. Vol. 141. P. 149–160.
11. Zhang, J., Gu, C., Tu, J. Potentiodynamical deposition and corrosion behavior of thin Zn-Sn coatings with layered structure and varied composition from deep eutectic solvent. *Surface And Coatings Technology*. 2017. Vol. 320. P. 640–647.
12. Maizelis, A., Bairachniy, B. Electrochemical formation of multilayer metal and metal oxide coatings in complex electrolytes. In *Springer Proceedings in Physics*. 2016. P. 557–572. Springer, Cham.
13. Справочник по электрохимии / под ред. А.М. Сухотина. Ленинград : Химия, 1981. 488 с.
14. Майзеліс А.А., Байрачний Б.І., Трубникова Л.В. Влияние архитектуры мультислойных покрытий Cu/(Ni-Cu) на их пористость. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. Vol. 2 (5). P. 4–6.
15. Майзеліс А.О., Байрачний Б.І. Електроосадження покриттів металами, сплавами і оксидами в багатofункціональних гальванічних ваннах : монографія. Харків : Видавництво Іванченка І.С. 2018. 229 с.

Maizelis A.O., Artemenko V.M. APPLICATION OF POLYLIGAND SYSTEM FOR ELECTRODEPOSITION OF ZINC-TIN ALLOY

Tin-zinc alloy has attracted attention recently due to its high anti-corrosion properties, soldering ability, good conductivity. Despite the existence of alkaline-cyanide electrolyte for deposition of such alloy coating, there is an active search for an electrolyte that would satisfy all current requirements for electrolytes, including non-toxicity. The aim of the study is to propose a polyligand electrolyte based on environmentally friendly ligands, which will allow the deposition of both zinc-enriched and tin-enriched coatings. Electrochemical studies were performed in three-electrode cell using MTech PGP-550M potentiostat. The pH of the electrolytes was monitored by pH meter CT-6020A. The surface morphology was examined using microscope of PMT-3

microhardness testing instrument. X-ray fluorescence analysis of the elemental composition of the samples was carried out using SPRUT spectrometer. Based on the proposed polyligand system, an electrolyte for tin-zinc alloy coatings deposition containing only environmentally safe compounds was developed. By studying the polarization dependences, it is shown that the electrolyte provides zinc and tin codeposition at the cathode. The effect of the surfactant (hydrolyzed glue) on the polarization dependences and the compactness of the coatings is shown. It is shown that the glue concentration at 135 mg/dm³ provides the deposition of compact coatings. According to the results of visual inspection of coatings, study of their surface morphology and elemental composition of the obtained alloys, it is concluded that it is possible to obtain quality coatings in a wide range of their composition: coatings containing 12–25% of zinc are deposited at low current densities (up to 15 mA/cm²), and zinc-enriched alloys (75–80%) in the region of high current densities (20–35 mA/cm²).

Key words: alloy, zinc, tin, polyligand system, environmentally safe electrolyte, polarization dependence, alloy composition, lead-free solder.

УДК 621.35

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/28>**Смирнова О.Л.**

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

Пилипенко А.И.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

АНОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ СПЛАВА Ti_6Al_4V В РАСТВОРАХ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ

Представлені результати дослідження процесів електрохімічного окислення титанового сплаву Ti_6Al_4V у водних розчинах тартратної, оксалатної та цитратної кислот. Формувальні залежності типу $U-f(\tau)$, отримані при проведенні окислення у гальваностатичному режимі, мають лінійну форму, що вказує на формування малопористих оксидних плівок діелектричного типу. Утворенню пасивуючих оксидних плівок бар'єрного типу сприяє незначна травляча дія розчинів карбонівих кислот, які належать до слабких електролітів. Встановлено, що зміна напруги на комірці, яка відображає динаміку утворення оксидної плівки у вигляді формувальної залежності, визначається анодною густиною струму. Швидкість наростання напруги на комірці збільшується зі зростанням густини струму, що впливає зі збільшення швидкості електрохімічного окислення металу. Максимальна для цих умов товщина оксидної плівки визначається величиною кінцевої прикладеної напруги і не залежить від густини струму, природи та концентрації електроліту. Отримані дані пояснюються тим, що формування оксиду у гальваностатичному режимі проходить за наявності постійного градієнта потенціалу в оксидній плівці. Збільшення величини прикладеної до комірки напруги зумовлює пропорційне зростання максимальної товщини оксиду, оскільки призводить до збільшення кількості електрики та відповідного їй збільшення маси окисленого металу внаслідок анодної електрохімічної реакції. Отримані дані дозволяють стверджувати, що вибір електроліту й електричного режиму процесів електрохімічного окислення сплаву Ti_6Al_4V повинен ґрунтуватися на результатах дослідження функціональних і захисних властивостей оксидних покриттів

Ключові слова: анодна поляризація, електрохімічне окислення, оксидна плівка, формувальна залежність, градієнт потенціалу, гальваностатичний режим.

Постановка проблеми. Титан являється одним из наиболее востребованных металлов современной техники, что вызвано его высокой коррозионной стойкостью и технологичностью. Чистый титан обладает недостаточными прочностными свойствами, поэтому большее применение имеют титановые сплавы. Широкое применение получил сплав Ti_6Al_4V , который хорошо обрабатывается резанием, имеет высокую удельную прочность. Этот сплав используют для изготовления ответственных деталей, которые должны обладать высокой коррозионной стойкостью. Однако это свойство титановых сплавов, как правило, уменьшается при увеличении числа легирующих элементов [1; 2]. Одним из методов повышения коррозионной стойкости является окислирование, позволяющее сформировать на поверхности сплава пассивные оксидные пленки [3]. Распространенным способом окислирования является электрохимическое окисление, которое при простом приборном оформлении позволяет получать пленки заданной толщины [4; 5].

Исследованию процессов электрохимического окислирования титана и его сплавов посвящено большое количество работ. Внимание к методу обусловлено тем, что применение электрохимических приемов дает возможность получать пленки различной структуры и широким спектром свойств. Для электрохимического окислирования используют растворы органических [6; 7], неорганических кислот [8], электролиты, содержащие оба типа кислот или смеси кислот и солей [10–16], щелочи [17].

Перспективным является использование в качестве электролитов веществ, которые, образуя растворы с высокой проводимостью, при растворении в воде одновременно оказывают слабое травящее действие на оксидную пленку, образующуюся при окислении титана. К таким веществам относятся карбоновые кислоты, поэтому данное исследование направлено на изучение процессов формирования оксидных пленок в растворах винной, щавелевой и лимонной кислот.

В качестве рабочих электродов использовали пластины размером $70 \times 20 \times 5$ мм. Пластины шлифовали наждачной бумагой, обезжиривали водной суспензией Na_2CO_3 и травили в смеси HNO_3 и HF (3:1). Оксидирование проводили в гальваностатическом режиме, задавая при помощи источника Б5-50 конечное напряжение на ячейке (10–100 В с шагом 10 В). Напряжение при электролизе измеряли мультиметром Keithley-2000. В качестве электролизера для проведения процесса использовали стакан объемом 250 мл. Для исключения нагрева стакана его размещали в кристаллизаторе объемом 5 л, заполненным водой. Вспомогательным электродом служил свинец. Для проведения исследования использовали реактивы квалификации «ч.».

Изложение основного материала исследования. Исследование динамики оксидирования проводили путем получения формовочных зависимостей $U=f(t)$ на образцах сплава (рис. 1). Определяющее влияние на ход зависимостей имеет анодная плотность тока j_a . При значениях

$j_a < 0,5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ зависимости нелинейны (рис. 1, кривая 1). Заданное значение U не достигается, что обусловлено протеканием двух противоположных процессов, первый из которых заключается в электрохимическом образовании пленки,

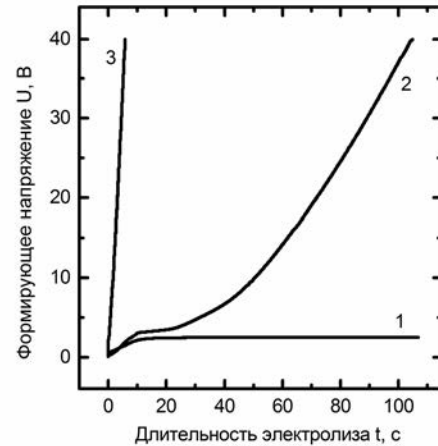


Рис. 1. Формовочные зависимости, полученные при оксидировании сплава в растворах карбоновых кислот. $j_a, \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$: 0,2(1); 0,5(2); 5(3). $U = 40 \text{ В}$; $c_A = 50 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$

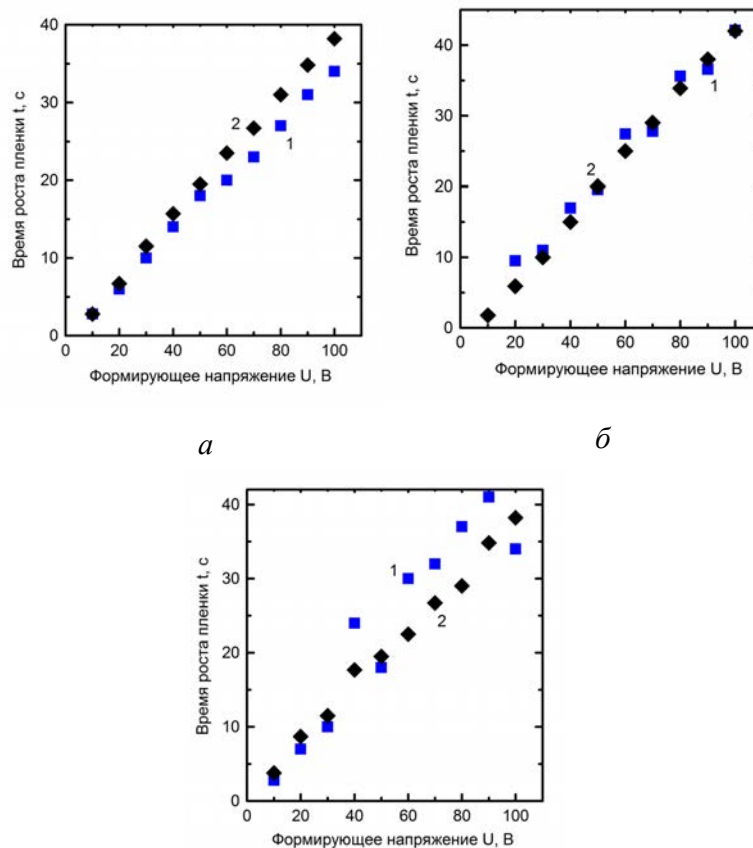


Рис. 2. Зависимость времени роста пленки максимальной толщины от напряжения, полученная в растворах винной (а), лимонной (б) и щавелевой (в) кислот. $j_a = 2 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$; $c_A, \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$: 5(1), 10(2), 25(3), 50(4), 100(5)

а второй – в ее химическом растворении. Оксидирование при $j_a = 0,5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ приводит к появлению площадки, после которой наблюдается постепенное нарастание напряжения до заданного значения, то есть процесс характеризуется торможением, которое отвечает постепенному заполнению поверхности металла оксидной пленкой.

При оксидировании при $j_a = 1\text{--}5 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ образуются малопористые пленки. На это указывает линейность зависимости $U = f(t)$. Окраска пленки и ее толщина не зависят от природы электролита и определяются заданной величиной напряжения. Характерная зависимость времени достижения максимальной для данных условий толщины пленки $t_{\text{пр}}$ от напряжения сохраняется для всего ряда образцов, оксидированных в одинаковых условиях (рис. 2, а–в).

Время, необходимое для достижения предельной толщины пленки при оксидировании в гальваностатическом режиме, зависит от формирующего напряжения и линейно возрастает при ее увеличении. При $j_a = 2 \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$ линейная зависимость наблюдается для всех исследованных растворов кислот. Величина времени t не зависит от типа используемой кислоты. При повышении значения U наблюдается увеличение длительности электролиза во всех исследованных электролитах (рис. 2). Для ряда одинаковых j_a также наблюдается линейный характер времени выхода $t_{\text{пр}}$ на заданное напряжение (рис. 3). Значение времени t для каждой определенной плотности тока

линейно возрастает с увеличением формирующего напряжения и не зависит от концентрации электролита.

Изменение концентрации карбоновой кислоты в пределах $5\text{--}100 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$ не влияет на длительность роста пленки, то есть предельная толщина пленки зависит прежде всего от значения формирующего напряжения (рис. 2, а–в).

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что определяющее влияние на толщину оксидной пленки имеет величина заданного напряжения. Природа карбоновой кислоты, ее концентрация, плотность тока влияния на толщину пленки не оказывают. Плотность тока влияет на скорость достижения максимальной толщины пленки, так как для электрохимической реакции j_a является ее скоростью.

Движущей силой процесса анодирования является наличие значительной напряженности электрического поля в пленке при анодном окислении. Увеличение толщины пленки прекращается при достижении градиента потенциала, который не может обеспечить перемещение ионов через оксид. При окислении металла в гальваностатическом режиме для поддержания заданного тока необходима постоянная напряженность поля по толщине сформированной пленки [18–21]. Если оксид образуется при $j_a = \text{const}$, напряжение на пленке должно линейно увеличиваться, то есть должно наблюдаться линейное уравнение типа $x = ay$, где x – толщина пленки, y – напряжение формовки, a – коэффициент пропорциональности

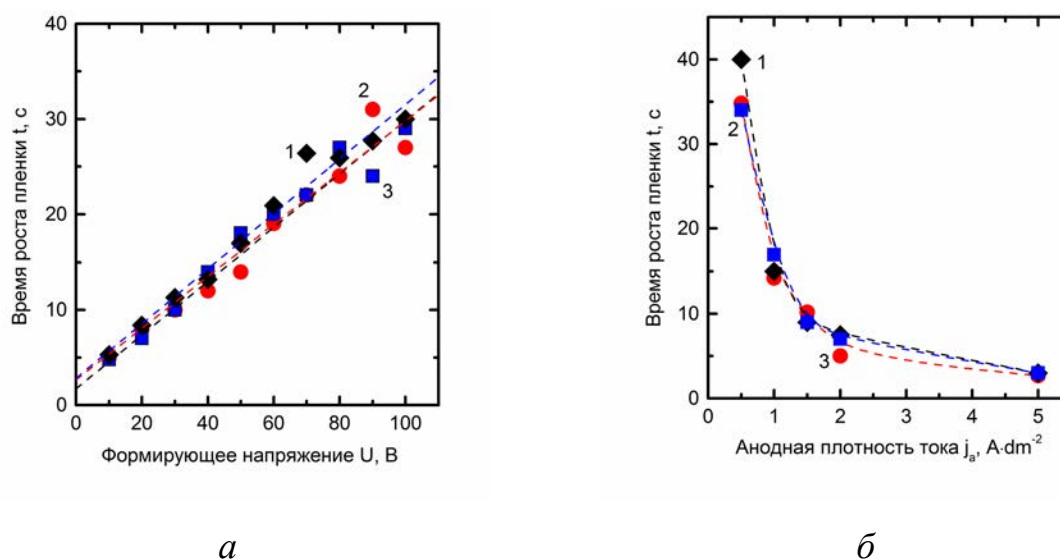


Рис. 3. Зависимость $t_{\text{пр}}$ от формирующего напряжения (а) и плотности тока оксидирования (б), полученная в щавелевой кислоте. а – $c_A = 50 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$; $j_a, \text{ А} \cdot \text{дм}^{-2}$: 1(1), 2(2), 3(3). б – $U = 20 \text{ В}$; $c_A = 50 \text{ г} \cdot \text{дм}^{-3}$

(постоянная роста пленки), которая для титана изменяется в пределах $1,9\text{--}6,0 \text{ нм}\cdot\text{В}^{-1}$ [22].

Вышеизложенное объясняет экспериментальные результаты. Формовочные зависимости сплава (рис. 1), показывают, что рост j_a способствует повышению скорости формирования оксидной пленки. Линейность зависимостей $U = f(t)$ при $j_a > 0,5 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ указывает на образование оксида барьерного типа. Такой же вывод можно сделать и на основании данных, приведенных на рис. 2 и 3. Толщина оксидной пленки, сформированной при $j_a = \text{const}$, зависит только от приложенного напряжения. При $j_a = \text{const}$ увеличение напряжения будет увеличивать максимальную толщину оксида или пропорциональную ей длительность электролиза.

Максимальная толщина пленок, полученных в растворах карбоновых кислот при $C_A = 5\text{--}100 \text{ г}\cdot\text{дм}^{-3}$ и $j_a > 0,5 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ в диапазоне $U = 10\text{--}100 \text{ В}$, определяется только величиной напряжения. Экспериментальные данные указывают на то, что анодная поляризация сплава сопровождается образованием пленок барьерного типа, которые обладают хорошими защитными свойствами из-за большого омического сопротивления TiO_2 .

Выводы. 1. Исследована динамика образования оксидных пленок на титановом сплаве $\text{Ti}_4\text{Al}_6\text{V}$ в растворах карбоновых кислот. Установлено, что

определяющее влияние на характер зависимостей $U = f(t)$ имеет значение используемой плотности тока. При $j_a < 0,5 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ сплошная оксидная пленка не формируется и выхода на заданное напряжение не происходит. При $j_a > 0,5 \text{ А}\cdot\text{дм}^{-2}$ зависимости $U = f(t)$ линейны, что указывает на образование малопористых пленок. Для исследованных растворов карбоновых кислот наблюдается совпадение формовочных зависимостей сплава, что позволяет предположить одинаковый механизм образования оксидной пленки.

2. Анодная поляризация сплава в растворах карбоновых кислот приводит к формированию на поверхности образцов тонких интерференционно-окрашенных пленок. Показано, что предельная толщина пленки определяется величиной напряжения и не зависит от природы электролита, его концентрации и плотности тока. При электролизе в гальваностатическом режиме наблюдаются линейные зависимости $U = f(t)$ и $t = f(U)$, что указывает на формирование пленок TiO_2 барьерного типа. Увеличение плотности тока приводит к более быстрому формированию оксида, хотя линейной зависимости $t = f(j_a)$ не наблюдается. Полученные результаты объясняются тем, что рост пленки происходит при наличии определенного градиента потенциала, снижение которой приводит к прекращению формирования оксида.

Список литературы:

1. Adya N., Alam M., Ravindranath T., Mubeen A., Saluja B. Corrosion in titanium dental implants: literature review. *J. Indian Prosthodont. Soc.* 2005. Vol. 5. P. 126–131.
2. Mohammed M.T., Mohammed, Khan Z.A., Siddiquee A.N. Surface modifications of titanium materials for developing corrosion in human body environment: a review. *Proc. Mat. Sci.* 2014. Vol. 6. P. 1610–1618.
3. Garg H., Bedi G., Garg A. Implant surface modifications: a review. *J. Clin. Diagn. Res.* 2012. Vol. 6. № 2. P. 319–324.
4. Liu X., Chu P., Ding C. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications. *Mat. Sci. Eng.: R. Reports.* 2004. Vol. 47. Iss. 3–4. P. 49–121.
5. Pilipenko A., Pancheva H., Deineka V., Vorozhbiyan R., Chyrkina M. Formation of oxide films on VT6 alloy in the conditions of anodic polarization in solutions H_2SO_4 . *EEJET.* 2018. Vol. 3. № 6. P. 33–38.
6. Yan Z.M., Guo T.W., Pan H.B., Yu J.J. Influence of electrolyzing voltage on color of anodized titanium dentures. *Mater. Trans.* 2002. Vol. 43. № 12. P. 3142–3145.
7. Diamanti M.V., Curto B.D., Masconale V., Passaro C., Pedferri M.P. Anodic coloring of titanium and its alloy for jewels production. *Color Res. Appl.* 2012. Vol. 37. Iss. 5. P. 384–390.
8. Gaul E. Coloring titanium and related metals by electrochemical oxidation. *J. Chem. Edu.* 1993. Vol. 70. Iss. 3. P. 176–179.
9. Shibata T., Zhu Y.C. The effect of film formation conditions on the structure and composition of anodic oxide films on titanium. *Corrosion Sci.* 1995. Vol. 37. Iss. 2. P. 253–270.
10. Diamanti M.V., Curto B.D., Pedferri M.P. Interference colors of thin oxide layers on titanium. *Color Res. Appl.* 2007. Vol. 33. Iss. 3. P. 221–228.
11. Lu J., Wei G., Yu Y., Zhao X., Dai Y. Enhanced corrosion resistance of TA2 titanium via anodic oxidation in mixed acid system. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2017. Vol. 12. P. 2763–2776.
12. Napoli G., Paura M., Vela T., Schino A.D. Coloring titanium alloys by anodic oxidation. *Metallurgija.* 2018. Vol. 57. Iss. 1–2. P. 111–113.
13. Hamouda I.M., El-wassefy N.A., Marzook H.A., El-deen A.N., Habib A., El-awady G.Y. Micro-photographic analysis of titanium anodization to assess bio-activation. *Eur. J. Biotech. Biosci.* 2014. Vol. 1. Iss. 3. P. 17–26.

14. Choudhary R.K., Sarkar P., Biswas A., Mishra P., Abraham G.J., Sastry P.U., Kain V. Structure, morphology and optical properties of TiO₂ films formed by anodizing in a mixed solution of citric acid and sulfamic acid. *J. Mater. Eng. Perf.* 2017. Vol. 26. Iss. 8. P. 4001–4010.
15. Schmidt A.M., Azambuja D.S. Electrochemical behavior of Ti and Ti6Al4V in aqueous solutions of citric acid containing halides. *Mat. Res.* 2006. Vol. 9. № 4. P. 387–392.
16. Liang H., Liu J., Wu L., Li X., Zhu M. Effect of tartaric acid on anodic behaviour of titanium alloy. *Surf. Eng.* 2015. Vol. 31. Iss. 12. P. 912–918.
17. Sul Y.-T., Johansson C.B., Jeong Y., Albrektsson T. The electrochemical oxide growth behaviour on titanium in acid and alkaline electrolytes. *Med. Eng. & Phys.* 2001. Vol. 23. Iss. 5. P. 329–346.
18. Ivashchenko M., Smirnova O., Kyselova S., Avina S., Sincheskul A., Pilipenko A. Establishing the patterns in the formation of films on the alloy Ti6Al4V in carbonic acid solutions. *EEJET.* 2018. Vol. 5. № 6. P. 21–26.
19. Pilipenko A., Maizelis A., Pancheva H., Zhelavska Y. Electrochemical oxidation of VT6 titanium alloy in oxalic acid solutions. *Chem. Chem. Techn.* 2020. Vol. 14. Iss. 2. P. 221–226.
20. Pilipenko A., Smirnova O., Gura S., Skorynina-Pohrebna O., Khoroshev O., Shkolnikova T. Studying the insulating properties of oxide films obtained on the Ti6Al4V alloy in tartaric acid solutions using the method of electrochemical decoration by copper. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences.* 2020. Vol. 15. № 15. P. 1657–1666.
21. Shevchenko G., Pilipenko A., Shkolnikova T., Gura S., Smirnova O. Production of nanosize interference-colored oxide films on the Ti6Al4V alloy surface using the method of electrochemical oxydation in succinate eletrolytes. *2020 IEEE 40th International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO-2020. Proceedings.* P. 216–219.
22. Aladjem A. Anodic oxidation of titanium and its alloy. *J. Mater. Sci.* 1973. Vol. 29. Iss. 5. P. 688–704.

Smirnova O.L., Pylypenko O.I. ELECTROCHEMICAL OXIDATION OF THE Ti₆Al₄V ALLOY IN THE SOLUTIONS OF CARBOXYLIC ACIDS

The research data of the processes of the electrochemical oxidation of the Ti₆Al₄V alloy in the solutions of tartaric, oxalic and citric acids have been given. The molding dependences of the type $U-f(\tau)$ that were obtained through the oxidation in the galvanostatic mode have a linear form and it is indicative of the formation of the low porosity oxide films of a dielectric type. The formation of the films of a barrier type is facilitated by a slight etching action of the solutions of carboxylic acids that are weak electrolytes. It was established that a change in the cell voltage that reflects the oxide film formation dynamics in the form of molding dependence is defined by the anode current density. The cell voltage rising rate is increased with an increase in the current density that follows from an increase in the rate of the electrochemical metal oxidation. A maximum thickness of oxide film for the given conditions is defined by the value of applied terminal voltage and it is not dependent on the current density, the electrolyte nature and its concentration. The obtained data are explained by that the formation of oxide in the galvanostatic mode occurs in the conditions of the availability of a constant potential gradient in the oxide film. An increase in the value of voltage applied to the cell conditions a proportional growth of a maximum oxide thickness, because it results in an increased quantity of electricity and appropriate increase in the mass of oxidized metal. The obtained data allow us to state that the choice of electrolyte and the electric mode of the processes of the electrochemical oxidation of the Ti₆Al₄V alloy should be based on the research data of the functional and protective properties of oxide coatings.

Key words: anodic polarization, electrochemical oxidation, oxide film, formation dependence, potential gradient, galvanostatic mode.

ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 677.11.021

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/29>

Воєвода Н.В.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Шинкарук М.В.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

Панасенко М.М.

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ СОРТІВ ВИНОГРАДУ У ВИРОБНИЦТВІ ВИН В УМОВАХ ФЕРМЕРСЬКОГО (СЕЛЯНСЬКОГО) ГОСПОДАРСТВА «КУРІНЬ»

У статті розглядається можливість виробництва марочного білого лікерного вина Мускат білий червоного каменю. Для цього проведений порівняльний аналіз вирошеного у двох кліматичних зонах винограду Мускат білий, що до цього часу знаходився тільки в районі скелі Червоний камінь. Під час розгляду показників якості такого винограду очевидно, що є невелика різниця між сахаристістю та кислотністю зразків, які вирощені у виноградниках Виноробного комбінату «Масандра» й фермерського (селянського) господарства «Курінь», що в процесі отримання готового продукту з другого підвищує смакові якості, додає терпкість і більш насичений посмак. Варто зазначити, що збір винограду в Херсонській області проводиться пізніше, аніж в Автономній Республіці Крим, для накопичення більшої кількості цукру у винограді.

Наведено порівняльну характеристику вина, що вироблене у фермерському (селянському) господарстві «Курінь» і Виноробному комбінаті «Масандра». Під час порівняння в готовій продукції об'ємна частка етилового спирту збільшилась шляхом активнішого збродження цукрів у суслі, але сам процес бродіння зменшився завдяки більшій масовій концентрації титруємих кислот і меншій масовій концентрації цукрів у винограді. Проте ці всі розбіжності зумовлені деякою різністю в ґрунтово-кліматичних умовах Херсонської області й Автономної Республіки Крим, але вони суттєво не впливають на органолептичні показники, однак додають специфічні нотки, які будуть відрізняти продукцію фермерського (селянського) господарства «Курінь» від продукції Виноробного комбінату «Масандра». Дослідження зразків відбувалось відповідно до ДСТУ 4806-2007 «Вина. Загальні технічні умови».

Під час аналізу перспектив використання винограду Мускат білий червоного каменю для виробництва білих лікерних вин зроблений висновок, що такий сорт винограду в процесі виробництва виноматеріалу майже не містить винного каменю, а це позитивно впливає на прозорість готової продукції.

Ключові слова: виноград, вино, Мускат білий, показники якості, кліматичні умови вирощування.

Постановка проблеми. Актуальною проблемою виноробства є розробка і вирощування дослідних партій нових марок вин, одержаних із застосуванням нових технологій, матеріалів, нових сортів винограду, з новими кондиціями по спирту й цукру. Виробництва дослідних партій вин дозволить вивчити проблеми попиту і прискорити формування асортименту конкретного виробника вин. А це вагомий фактор конкурентної боротьби у виноробстві [1]. Тому у рамках фермерського (селянського) господарства «Курінь»,

яке знаходиться у Херсонській області (Україна), є важливим вирощування унікальних та рідких сортів винограду, для яких кліматичні умови півдня будуть оптимальними. Такі сорти також є у АР Крим та можуть вирощуватись у вищезазначеній області через схожість умов вирощування більше, ніж в інших регіонах України, тому це дозволить одержати унікальну продукцію, яку неможливо буде відтворити.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні в Україні, як і в усьому світі, спостері-

гається високий інтерес до дослідження білих вин та модифікації сировини для їх виробництва. Наприклад, вивчення сортової та видової специфічності винограду щодо їх поліфенольного складу для виробництва білих вин проводилось такими вченими України, як В. Власов та І. Ковальова. [2]. Вивченням якості білих десертних вин вітчизняного виробництва займалися Л. Салеба й Д. Сарібєкова. [3]. Оцінку рівня прояву посухостійкості автохтонних сортів та форм винограду у селекційному та гібридному розсадниках за походженням та вмістом міцно зв'язаної води у листках проводили Л. Герус та І. Ковальова в Інституті виноградарства та виноробства ім. В.С. Таїрова [4].

Постановка завдання. Оцінити вплив органолептичних та фізико-хімічних параметрів винограду Мускат білий червоного каменю на використовуваний виноматеріал на базі фермерського (селянського) господарства «Курінь».

Виклад основного матеріалу дослідження. Починаючи з 2011 року основним напрямком господарської діяльності фермерського (селянського) господарства «Курінь» є виробництво виноградних вин. У зв'язку з цим, на території господарства був збудований унікальний компактний цех переробки винограду, обробки виноматеріалів, розливу та зберігання вин. Цей комплекс збудований по принципу французького шато [5].

У 2000 році було посаджено сад та перші виноградники (сорт: Каберне Совіньон, Сапераві, Шардоне, Трамінер рожевий, Іршаі Олівер, Біанка, Ркацителі). Виноградники ростуть на тяжких глинистих ґрунтах, а на глибині 2-х метрів переходять у вапняно-кам'янисті ґрунти, що добре обігріваються сонцем. В особливо сухе та тепле літо, завдяки низькому формуванню штампу виноградної лози, помірній врожайності (не більше 5 тонн з гектару), використанню особливих технологій, виноград накопичує високу цукристість 25–32%. Це дозволяє одержувати високоякісні столові, натуральні напівсухі та напівсолодкі вина. Лінійка вин включає 17 різних найменувань.

Одним з напрямів розвитку підприємства є випуск нових вин, зокрема марочного білого лікерного вина, що виготовляється з винограду сорту Мускат білий (рис. 1), який до цього часу вирощувався тільки у АР Крим [6]. Тому сезон збирання врожаю з 2017 року в сімейному господарстві за традицією розпочинається зі збору сорту «Шардоне», а потім «Мускатний».

Лікерне вино – в класифікації вин солодке кріплене вино, виноградне або плодово-ягідне, з вмі-

стом цукру понад 20–22 % і об'ємною часткою етилового спирту – 12–16 %. Вміст цукру може доходити до 35 г на 100 мл.; за старою класифікацією М. А. Ховренко, до лікерних відносились тільки вина, які містять понад 30 г цукру на 100 мл. Лікерні вина можуть розглядатися як підвид десертних вин, за ознакою вмісту спирту, або як окремий тип кріплених вин, поряд з десертними, міцними винами і ароматизованими винами [7].



Рис. 1. Виноградники фермерського (селянського) господарства «Курінь»

Зазначимо, що практично в кожній країні Середземноморського регіону є своє відоме вино на основі мускату – вина можуть відрізнятися від легких сухих і слабоалкогольних ігристих вин до дуже солодких і міцних версій.

У Франції, куди швидше за все сорт був вперше завезений в Європу через марсельський порт, сорт іменується – *Muscat Blanc à Petits Grains*. Використовується для виробництва марочних десертних вин в ряді винних регіонів, серед яких можна відзначити Ельзас, Еро, Фронтиньян і Валанс.

В Італії, де сорт іменується *Moscato Bianco*, і користується дуже високою популярністю серед виноробів. Серед винних регіонів можна виділити: П'ємонт – де виробляється знамените ігристе вино марки Асті, Тоскана – де виробляються тихі та ігристі вина, Сардинія і Сицилія – вина з цих регіонів можуть бути кріпленими, ігристими і сухими [8].

Наведемо характеристики винограду Мускат білий у табл. 1.

Варто при цьому зазначити, що на недостатність вологи сорт реагує різким скороченням пагонів. Найбільш урожайний на помірно сухих, шиферних, добре прогріваються схилах. Негативний вплив на врожайність мають глинисті ґрунти. Негативним чинником на врожайність впливає згущеність посадки. В дощові роки, при

збереженні високої вологості ґрунту врожайність низька, що зумовлено появою на ягодах сірої гнилі. Для збільшення врожайності необхідно додаткове запилення [8].

Якщо розглядати сорти винограду Мускат білий як сировину для виробництва марочного білого лікерного вина, то він має відповідати ДСТУ 2366: 2009 «Виноград свіжий технічний. Технічні умови» [9], в якому вказані такі органолептичні та фізико-хімічні показники якості (табл. 2).

При цьому зазначено, що мікотоксинів та пестицидів у винограді має бути не вище рівнів, допустимих «Медико-біологічними вимогами і санітарними нормами якості продовольчої сировини і харчових продуктів» (№5061-89).

Порівняльна характеристика якісних показників винограду Мускат білий, що вирощений у виноградниках фермерського (селянського) господарства «Курінь», та винограду Мускат білий червоного каменю, який вирощувався у АР Крим, та їх

Таблиця 1

Ботанічні характеристики винограду Мускат білий

Показник	Характеристика
Виноградні кущі	Середнього розміру, цвітіння обидвопольне
Кетяги ягід	Середні, масою від 100 до 450 грам, циліндричні і щільні
Ягоди	Середні, вагою до 4 грам, і діаметром до 1,5 см
Колір ягід	Жовтувато-золотистий
М'якоть	Солодка і соковита, з сильним мускатним ароматом
Насіння в ягоді	2-3 шт.
цукру	18-25%, можливо і більше
Визрівання пагонів	На рівні 75–90 %
Плодоносних пагонів	44 %
Кількість суцвіть	На розвинених побігах 0,46, на плодоносних 1,22
Врожайність	Середня – 63,6-109,2 ц. з ге.
Морозостійкість	Низька
Посухостійкість	Висока

Таблиця 2

Показники якості винограду Мускат білий для виробництва вина

Показник	Значення	
	Виноград ручного збору	Виноград машинного збирання
Зовнішній вигляд	Чистий, здоровий, без листя і побігів, одного ампелографічного сорту	Суміш цілих і роздавлених ягід і грон одного ампелографічного сорту з нормованою домішкою листя і побігів виноградної рослини
Органічних домішок, не більше	0,5 %	1 %
Допустимі відхилення масової частки: – ягід, ушкоджених шкідниками і хворобами; – сухих ягід; – роздавлених ягід – домішок інших сортів, що відповідають по ботанічному виду та забарвленню	Не більше 10 % Не більше 10 % Не більше 20 % Не більше 15 %	Не більше 10 % Не більше 10 % Не більше 40 % Не більше 15 %
Сторонні домішки	Не допускаються	
Масова концентрація цукрів, г/100 см ³	19–25	
Масова концентрація титруємих кислот, г/дм ³	6–7	
Токсичних елементів, мк/кг, не більше:		
– свинець	0,4	
– кадмій	0,03	
– миш'як	0,2	
– ртуть	0,02	
– мідь	5,0	
– цинк	10,0	

кондиції при зборі наведено у табл. 3. Зазначимо, що такий сорт винограду при виробництві вина матеріалу майже не містить винного каменю, що позитивно впливає на прозорість готової продукції.

Мускат білий Червоного Камня є марочним білим лікерним вином. Єдиний виробник дотепер Виноробний комбінат «Масандра» в Криму, проте зі збільшенням навичок виноробства на Закарпатті, вина з цього сорту пробували виробляти і там. Марка вина була створена в 1944 році Олександром Єгоровим. Назву отримало за місцем зростання винограду – від вапнякової скелі з червонуватим відтінком Червоний Камінь. Для виробництва такого сорту використовується виключно виноград сорту Мускат білий, що росте на єдиній плантації біля скелі Червоний Камінь, якщо його цукристість перевершує 29 %. Вино дозріває в дубовій тарі не менше 2 років [10].

Порівнюємо за органолептичними та фізико-хімічними показниками вино, яке отримано на Виноробному комбінаті «Масандра», та зразку, який одержаний у фермерському (селянському) господарстві «Курінь» (табл. 4). Дослідження

зразків відбувалось відповідно ДСТУ 4806-2007 «Вина. Загальні технічні умови» [11].

У зв'язку з розбіжністю у кліматичних умовах очевидно, що є невелика різниця між такими показниками винограду як сахаристість та кислотність, що при отриманні готового продукту підвищує смакові якості, додає терпкість та більш насичений післясмак. Зазначимо, що об'ємна частка етилового спирту збільшилась за рахунок більш активного зброджування цукрів у суслі, але сам процес бродіння зменшився завдяки більшій масовій концентрації титруємих кислот та меншій масовій концентрації цукрів у винограді.

Тепер проведемо дослідження відповідності одержаного в умовах фермерського (селянського) господарства «Курінь» вина з винограду Мускат білий «Червоний камінь» вимогам ДСТУ 4806-2007 «Вина. Загальні технічні умови».

Порівнюючи отримані дані з вимогами за ДСТУ 4806-2007 «Вина. Загальні технічні умови» вина солодкого мускату білого за органолептичними та фізико-хімічними показниками робимо висновок, що воно відповідає чинній нормативній

Таблиця 3

**Порівняльна характеристика винограду Мускат білий,
що використовується для виробництва марочного білого лікерного вина**

Показник якості	Виноград фермерського (селянського) господарства «Курінь»	Виноград, який вирощувався у АР Крим
Цукристість, %	31	29 і більше
Кислотність, г/л	4,2–4,5	4,4–4,8
Зовнішній вигляд	Злегка підв'ялений	Деякі ягоди на гроні мають підв'ялений вигляд.
Збір винограду	Середина другої декади вересня	3 першої декади вересня

Таблиця 4

Порівняльна характеристика вин Мускат білий з винограду, що вирощений у різних регіонах

Показник якості	Вино з винограду фермерського (селянського) господарства «Курінь»	Вино з винограду, який вирощувався у АР Крим
Колір	Світло-бурштиновий з золотавим відтінком	Світло-бурштиновий
Аромат	Чітко виражений аромат мускатних ягід	Мускатних ягід з медовими тонами квітів, трав альпійських луків, чайної троянди, апельсинової скоринки
Смак	Гармонічний, з приємною свіжістю, що відповідає такому сорту винограду	Відчувається легкий цитрон
Прозорість	Відповідає вимогам ДСТУ 4806-2007	Відповідає вимогам ДСТУ 4806-2007
Об'ємна частка етилового спирту, %	14	13
Масова концентрація цукрів, г/100см ³	22	23
Масова концентрація титруємих кислот, г/дм ³	6	5,5-6
Витримка	Поки не витримувалася	У дубовій тарі 2 роки

**Порівняльна характеристика вина з винограду Мускат білий червоного каменю
з вимогами вітчизняних нормативних документів**

Показник	ДСТУ 4806-2007	Вино фермерського (селянського) господарства «Курінь»
Колір	Від світло-солом'яного, зеленуватого до світло-золотистого	Світло-бурштиновий з золотавим відтінком
Аромат	Повинен відповідати групі і типу вина, залежить від сортів винограду, з яких виготовляють вино	Чітко виражений аромат мускатних ягід
Смак	Повинен відповідати групі і типу вина, залежить від сортів винограду, з яких виготовляють вино	Гармонічний, з приємною свіжістю, що відповідає такому сорту винограду
Прозорість	Прозорі з блиском, без осаду і сторонніх включень	Відповідає вимогам ДСТУ 4806-2007
Об'ємна частка етилового спирту, %	14,0–17,0	14
Масова концентрація цукрів, г/100см ³	12–20	22
Масова концентрація титруємих кислот, г/дм ³	3–7	6

документації, а отже його можна рекомендувати до серійного пробного випуску.

Таким чином, у результаті аналізів винограду, виноматеріалу та вже готового вина, але не витриманого 2 роки як зазначено в технології можна зробити висновок, що дотримуються принципи, які сповідують у своїй роботі винороби ТМ «Курінь», спрямовані на якість продукту:

- відхід від масового виробництва вина в сторону індивідуалізації;
- створення вина, максимально виражає особливості терруара;
- відродження культури споживання вина.

Висновки. При аналізі перспектив використання винограду Мускат білий червоного каменю для виробництва білих лікерних вин зроблений висновок, що такий сорт винограду є посухостійким, тобто кліматичні умови півдня України будуть оптимальними для одержання сировини з високим вмістом цукру.

Під час розгляду показників якості такого винограду очевидно, що є невелика різниця між сахаристістю та кислотністю зразків, які вирощені у виноградниках Виноробного комбінату «Масандра» та фермерського (селянського) господарства «Курінь», що при отриманні готового продукту з другого підвищує смакові якості, додає терпкість та більш насичений післясмак. У готовому вині об'ємна частка етилового спирту збільшилась за рахунок більш активного зброджування цукрів у суслі, але сам процес бродіння зменшився завдяки більшій масовій концентрації титруємих кислот та меншій масовій концентрації цукрів у винограді. Проте ці всі розбіжності обумовлені деякою різністю у ґрунтово-кліматичних умовах Херсонської області та АР Крим, але вони суттєво не впливають на органолептичні показники, проте додають специфічні нотки, які будуть відрізняти продукцію фермерського (селянського) господарства «Курінь» від Виноробного комбінату «Масандра».

Список літератури:

1. Валуко Г.Г., Домарецький В.А., Загоруйко В.О. Технологія вина : підручник. Київ : Центр навчальної літератури, 2003. 592 с.
2. Власов В.В., Ковальова І.А., Мулюкіна Н.А., Тарасова В.В., Левицький А.П. Оцінка поліфенольного комплексу сортів винограду селекції ННЦ ІВіВ ім. В.Є. Таїрова. *Виноградарство і виноробство*. 2016. № 53. С. 57–62.
3. Салеба Л.Г., Сарібекова Д.Г. Визначення якості виноградних вин. *State and prospects of food science and industry : book of abstracts International scientific and technical conference*. ТНТУ, 2015. С. 190–191.
4. Герус Л.В., Ковальова І.А. Оцінка та створення нового вихідного матеріалу для селекції на посухостійкість. *Виноградарство і виноробство*. 2016. № 53. С. 67–73.
5. Офіційний сайт фермерського (селянського) господарства «Курінь». URL: <http://kurin.com.ua>.

6. Офіційний сайт НΠΑО «Массандра». URL: <https://web.archive.org/web/20111002000807/http://www.massandra.crimea.com/MusWKK.htm>.
7. Лікерне вино. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ликёрное_вино.
8. Мускат білий. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Мускат_білий.
9. ДСТУ 2366: 2009 Виноград свіжий технічний. Технічні умови. [Чинний від 2010-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
10. Мускат білий червоного каменя. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Мускат_білий_Червоного_каменя.
11. ДСТУ 4806-2007 Вина. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 20 с.

Voievoda N.V., Shinkaruk M.V., Panasenko M.M. PROSPECTS OF USE OF GRAPE NEW VARIETIES IN WINE PRODUCTION IN THE CONDITIONS OF FARM (AGRICULTURAL) HOUSEHOLD “KURIN”

The article considers the possibility of producing vintage white liqueur wine Muscat white red stone. For this purpose, a comparative analysis of white Muscat grapes grown in two climatic zones, which until now was located only in the area of the Red Stone rock. When considering the quality of such grapes, it is obvious that there is a small difference between the sugar content and acidity of the samples grown in the vineyards of the Winemaking combine “Massandra” and farm (agricultural) household “Kurin”, which increases the taste when receiving the finished product from the second, tartness and richer aftertaste. It should be noted that the grape harvest in the Kherson region is carried out later than in the Autonomous Republic of Crimea, to accumulate more sugar in the grapes.

The comparative characteristics of wine grown in the farm (agricultural) household “Kurin” and Winemaking combine “Massandra” are given. In the finished wine, the volume fraction of ethyl alcohol increased due to more active fermentation of sugars in the wort, but the fermentation process itself decreased due to the higher mass concentration of titratable acids and the lower mass concentration of sugars in grapes. However, all these differences are due to some differences in soil and climatic conditions of the Kherson region and the Autonomous Republic of Crimea, but they do not significantly affect the organoleptic characteristics, but add specific notes that will distinguish the products of the farm “Kurin” from Masandra Winery. The samples were examined in accordance with DSTU 4806-2007 “Wines. General technical conditions”.

When analyzing the prospects of using Muscat white red stone for the production of white liqueur wines, it was concluded that this grape variety in the production of wine material contains almost no tartar, and this has a positive effect on the transparency of finished products.

Key words: *grapes, wine, Muscat white, quality indicators, climatic conditions of cultivation.*

Liubych V.V.

Uman National University of Horticulture

Tretiakova S.O.

Uman National University of Horticulture

Melnik D.S.

Uman National University of Horticulture

OPTIMIZATION OF GROATS PRODUCTION AT PROCESSING OF SPELT GRAIN

Currently, the demand for high biological and nutritional value is increasing. This is due to popular methods of healthy nutrition distributed among consumers. The purpose of the article is to determine the optimal mode of peeling and water-heat treatment of spelt grain during the production of cereal products. The process of obtaining cereal products was simulated in laboratory conditions and included main processes of cereal production: water-heat treatment, peeling, separation of peeling products and control of finished products. Experiments were carried out in accordance with current requirements and standards. Statistical processing of the experimental results and mathematical modeling were carried out using Excel and Statistica 10.

With a probability of 95% it can be argued about the reliable and positive effect of water-heat treatment of spelt grain for the production of cereal products. The peeling duration determines the greatest impact on cereal output and the overall culinary assessment. The low temperature modes of water-heat treatment during cereal production are not able to change grain structure enough for a noticeable effect on the culinary assessment. It is proved that the peeling time causes the greatest influence on the yield. Grain moisture before peeling has less impact. The duration of softening influences the yield the least but its impact is true. The trend of the influence of grain processing parameters for polished meal was similar to the groats output. The optimum regime during cereal production should be grain moisture of 15.5–16.0%, the duration of softening for 60 minutes and the peeling time of 140 seconds. In the recommended mode, you can get a cereal product with a total culinary assessment of 8.0–8.5 points. Groats output after the specified mode was 88.6%. It has been proved by studies that moisture absorption processes of spelt grain change like moisture absorption processes of traditional wheat. This leads to the possibility of using standard equipment and technological solutions in the grain mills for the processing of peeled spelt grain. The slightest effect of the duration of softening causes the expediency of additional research on processes of cereal production at factories of different productivity to establish the economic feasibility of water-heat treatment.

Key words: water-heat treatment, spelt wheat, peeling, culinary assessment.

Formulation of the problem. Groats, as well as bakery products, are traditional food. Due to cereals, you can satisfy the body requirements with irreplaceable amino acids, vitamins, micro- and trace elements. The increase in the popularity of cereal products over the last decade is due to the popularization of healthy nutrition and the active development of biological plant growing. Cereal products with high fiber and non-traditional raw materials are in great demand. Despite the similarity of spelt grain to soft wheat, spelt shells are connected strongly with grains which are not separated during threshing. This necessitates the additional peeling of spelt grain. Taking into account the peculiarities of ear structure and grains, the existing modes of grain processing of traditional wheat into cereals need to be scientifically substantiated.

Analysis of recent research and publications. In the countries of Europe and the United States, in the last decade, consumers' interest in bakery, flour confectionery, pasta and cereals made of *Triticum monococcum*, *Triticum dicoccum* and *Triticum spelta* [1]. Spelt grain is important for selection and improving the quality of traditional wheat [2; 3]. The obtained hybrids give an opportunity to expand significantly the range of food products and improve their quality [4]. The use of hybridization for less commonly used wheat strains from Swiss bank of genes, in particular the ancient wheat forms, made it possible to select samples that differ significantly in terms of quality from the modern varieties. This provides an opportunity for more profound improvement of food properties of future hybrids and the management of their quality [5].

The renewal of interest in aristulated wheat is due to their high nutritional value, suitability for organic farming and the selective and genetic improvement of soft wheat. Significant interest in spelt wheat is also due to higher yields, compared with other aristulated wheat varieties. According to technological properties, spelt wheat flour is most similar to soft wheat flour. In addition, aristulated wheat varieties absorb more mineral elements from the soil, so they contain more ash than modern soft wheat varieties [6].

Bakery products made of spelt grain with the addition of spiced aromatic raw materials, in particular amaranth, have high consumer properties. It is proved that the quality of such products is high for a long shelf life (up to 6 days) [7]. The low yield of spelt grain causes a high cost of its cultivation which significantly increases the price of finished raw materials. Despite this, the population of Europe prefers this raw material, since it has proven its positive effect on the immune system of the body and there are recommendations for use in dietary nutrition [8].

The volumes of grain production in Ukraine have increased significantly. Therefore, its processing on cereal products is promising. This is due to lower material content of cereal plants compared to flour-grinding complexes, the possibility of efficient processing of grain at low productivity enterprises and lower requirements for technological properties of raw materials. Taking into account qualitative properties of spelt grain, one can develop an effective marketing strategy for a small and medium-sized grain mill.

One of the main processes of cereal production is water-heat treatment and grain peeling. During the processing of wheat grain, increasing the duration of peeling causes the gradual erosion of surface layers containing the main amount of fiber and dietary fiber. Grain moisture and softening contributes to the controlled change in technological properties with fixation at an optimum level. The positive effect of water-heat treatment during the processing of durum and soft wheat grain has been proved and corresponding processes are used in the industry [9]. The heat effect on caryopsis is interesting when using hot air conditioning. It is found that the organoleptic characteristics of cereal products can be improved as a result of roasting or steaming due to irreversible processes in the raw material as a result of such treatment [10].

The **purpose** is to determine the optimal mode of peeling and water-heat treatment during the development of spelt whole cereal. **Tasks** are to analyze the information about spelt grain; to specify the effect of moisture, the duration of softening and peeling on

spelt cereal output and their quality; to substantiate the mode of processing spelt grain for cereal products.

Research materials and methods. The research was conducted in the laboratory of Department of Technology of Grain Storage and Processing of Uman NUH. Spelt grain of Zoria Ukrainy variety, grown under the conditions of Right Bank Forest Steppe of Ukraine, was used for experiments. The predecessor is full fallow. Fertilizer application is nitrogen (120 kg/ha), phosphorus and potash (60 kg/ha). Quality indicators are vitreousness (98%), grain unit (720 g/l), falling number (320 s), gluten deformation index (60 units), protein content (20%), starch (61%) and humidity ($13.0 \pm 0.2\%$). The technological scheme of obtaining cereal products in laboratory conditions was simulated in accordance with the requirements of the rules of organization and maintenance of the technological process in cereal factories [11].

Softening was carried out in metal cylinders. Peeling was on VIII3-1 laboratory peeling machine (round speed 3000 rpm) and separation of peeling products was in PJY-1 laboratory sieve. Obtained products were weighed on electronic scales with accuracy of measurement to hundredths of particles.

The study was conducted in four repetitions that were randomized in time. Statistical processing of the experimental results and mathematical modeling were carried out using Excel and Statistica 10. During statistical processing, correlation and regression analysis were used. The obtained functional dependencies were checked for the absence of autocorrelation by the method of the Darbin-Watson statistics. Culinary evaluation was carried out in accordance with methods. Since the tasting evaluation can have a subjective character, an important factor is the indicator of the competence of the commission. Golubkov method with modifications was used to determine the competence of the commission.

Results of the research and their discussion. The variation of the output data of cereals was recorded as a result of grain peeling at the moisture content from 13.0 to 14.5% without water-heat treatment which was greater than the variation of the results of analytical repetitions (Coef. Var. = 0.18–1.14). Coefficients of the variation of cereal output depending on the moisture (0.61–1.74%) were smaller in comparison with coefficients of cereal variation depending on the duration of peeling (6.07–6.37%) (table 1).

Results of descriptive statistics show that the change in the duration of peeling at the moisture from 13.0 to 14.5% caused more variations in the data relative to the average number compared with the initial humidity. Sometimes the variation was less than

the variation of analytical repetitions. In addition, there was a positive tendency to increase cereal output as a result of an increase in moisture to 14.5%.

Therefore, it was advisable to investigate the effect of additional moisture and the duration of its softening on the cereal output (table 2).

Coefficients of variation of obtained samples at the moisture from 15.0 to 16.0%, the duration of softening from 30 to 120 minutes and the same peeling modes were from 0.05 to 0.79%. That is, fluctuations of the output depending on water-heat treatment were insignificant and smaller compared to the corresponding fluctuations in moisture of 13.0–14.5%. Also, output values varied to

lesser degree depending on the duration of peeling (Coef. Var. = 4.7–4.9%). However, the tendency to increase the output for increasing moisture from 15.5 to 16.0% was maintained. The positive trend was due to an increase in the duration of softening.

Thus, with the help of primary statistical processing, the influence of peeling parameters on cereal output is determined. The difference in data fluctuations relative to the average value obtained with and without the use of water-heat treatment gives the possibility of the assumption of the positive impact of water-heat treatment on the production of spelt cereal products. However, variations in all cases were insignificant which makes it impossible for a reliable trend.

Table 1

Effect of moisture and peeling time on the yield of groats

Peeling time, sec	Humidity, %			
	13,0	13,5	14,0	14,5
20	94,5±0,4	94,9±0,5	95,6±0,8	96,1±0,2
40	93,8±0,4	94,2±0,2	95,0±0,2	95,8±0,3
60	93,0±0,8	93,7±0,2	94,2±0,4	95,2±0,4
80	89,5±0,5	89,8±0,4	90,0±0,4	90,8±0,5
100	86,9±0,7	87,3±0,5	89,3±0,5	90,1±0,4
120	86,2±0,5	87,9±0,5	88,1±0,5	89,0±0,7
140	83,0±0,7	83,7±0,8	85,1±0,2	86,1±0,8
160	81,9±0,5	82,1±0,4	82,8±0,3	83,5±0,7
180	79,0±0,5	79,7±0,8	80,1±0,8	81,0±0,5

Table 2

Effect of moisture, duration of drip irrigation and the length of peeling on the output of groats

Peeling time, sec	Humidity, %			Peeling time, sec	Humidity, %		
	15,0	15,5	16,0		15,0	15,5	16,0
The duration of the irrigation – 30 min				The duration of the irrigation – 90 min			
20	97,8±0,7	97,9±0,7	97,7±0,5	20	97,9±0,7	98,0±0,7	97,9±0,8
40	96,9±0,7	97,0±0,4	96,8±0,2	40	97,1±0,8	97,1±0,8	96,9±0,8
60	96,0±0,6	95,9±0,5	95,8±0,6	60	96,2±0,8	96,2±0,8	96,0±0,6
80	93,5±0,8	93,8±0,8	93,7±0,8	80	93,8±0,8	93,1±0,7	92,9±0,5
100	91,6±0,7	91,7±0,8	91,3±0,5	100	92,0±0,7	90,7±0,7	90,8±0,5
120	89,8±0,4	89,9±0,4	89,7±0,6	120	90,3±0,7	90,0±0,7	89,9±0,5
140	88,2±0,4	87,9±0,4	87,7±0,2	140	88,6±0,2	87,9±0,4	87,7±0,7
160	87,3±0,5	86,9±0,2	86,8±0,7	160	87,4±0,8	87,2±0,8	87,0±0,5
180	85,1±0,8	85,0±0,4	84,9±0,7	180	85,5±0,2	84,9±0,7	84,8±0,3
The duration of the irrigation – 60 min				The duration of the irrigation – 120 min			
20	98,0±0,7	97,8±0,2	97,5±0,3	20	97,7±0,4	98,2±0,7	98,0±0,7
40	97,1±0,7	96,9±0,4	96,6±0,3	40	96,7±0,7	96,9±0,5	96,8±0,5
60	96,3±0,7	96,0±0,3	96,1±0,7	60	95,9±0,5	96,0±0,8	95,9±0,4
80	93,7±0,8	94,1±0,7	93,9±0,5	80	93,7±0,8	92,6±0,4	92,8±0,6
100	91,8±0,4	91,3±0,6	91,0±0,3	100	91,8±0,5	91,3±0,8	91,1±0,4
120	90,0±0,3	89,8±0,4	89,5±0,8	120	90,0±0,3	90,2±0,3	90,0±0,7
140	88,4±0,7	87,9±0,8	87,7±0,8	140	87,7±0,5	87,5±0,7	87,4±0,5
160	87,0±0,7	87,2±0,4	87,0±0,4	160	87,2±0,2	86,8±0,8	86,6±0,8
180	85,3±0,8	85,1±0,3	85,0±0,3	180	85,3±0,5	84,2±0,2	84,5±0,8

In a regression analysis, the proportion of the factor's influence on the target function is conveniently determined using Pareto charts. The peeling duration had the greatest effect on cereal output since the standardized effect estimation (SEE) was 94.90521 (fig. 1).

Optimization of the cereal production process was carried out on the basis of functions 4, 5 and 6. The level of cereal output was the maximum value and, on the contrary, semolina output was the minimum one. The overall culinary estimation was at the level of more than 8 points which corresponds to the good value. The optimum regime during cereal production should be considered as follows: moisture grain content of 15.5–16.0%, the duration of softening of 60 minutes and the duration of peeling of 140 s (fig. 2).

In the recommended mode, you can get the cereal product with a total culinary estimation of 8.0–8.5 points. Cereal output under the specified mode is 88.6%. It is obvious that the importance of the influence of water-heat treatment on the parameters of cereal production will increase with increasing productivity of the plant.

Conclusions. As a result of generalizing information on spelt grain, its high biological value and safety for a person has been proved. Taking into account a number of valuable features, spelt grain is highly recommended for processing on dietary foods. Cereal production is recognized as the most competitive for the processing of small batches of spelt grain.

With a probability of 95% it can be argued about the reliable and positive effect of water-heat treatment of spelt grain for the production of cereal products. The peeling duration determines the greatest impact on cereal output and the overall culinary assessment. The low temperature modes of water-heat treatment during cereal production are not able to change grain structure enough for a noticeable effect on the culinary assessment.

The optimum regime during cereal production should be considered as follows: moisture grain content of 15.5–16.0%, the duration of softening of 60 minutes and the duration of peeling of 140 s. In the recommended mode, you can get the cereal product with a total culinary estimation of 8.0–8.5 points. Cereal output under the specified mode is 88.6%.

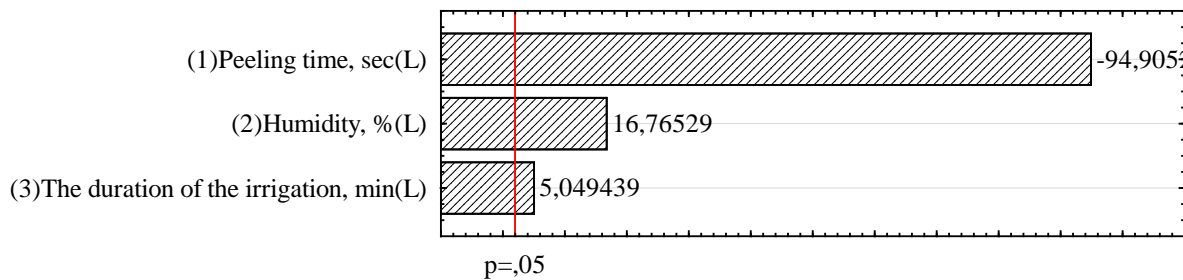


Fig. 1. Standardized Effect Estimate (Absolute Value)

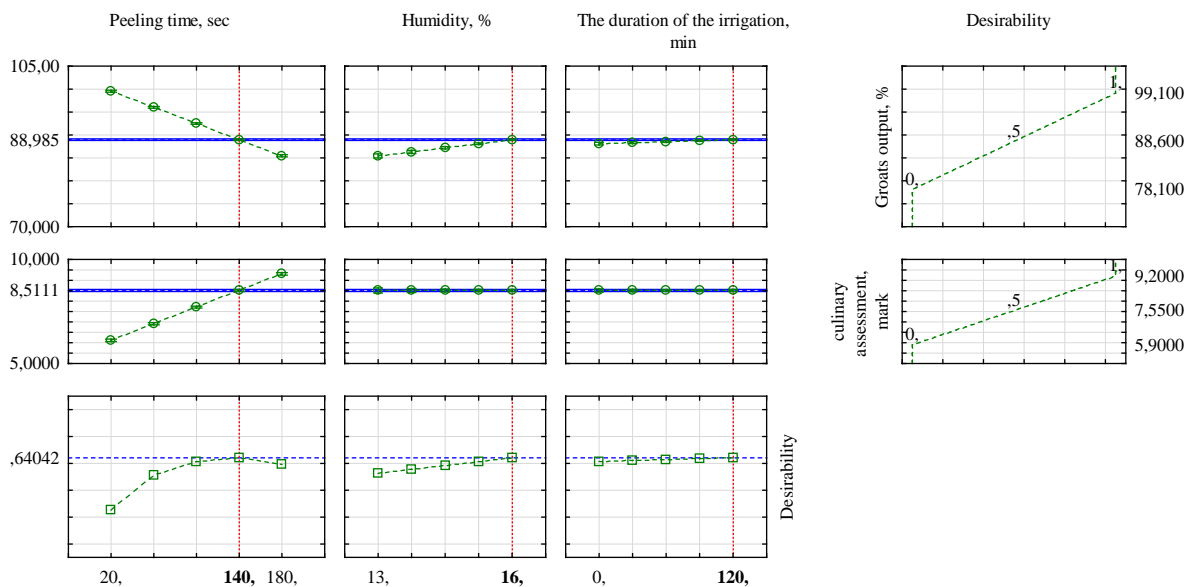


Fig. 2. Profiles for Predicted Values and Desirability

References:

1. Bonafaccia G. et al. Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chemistry*. 2000. T. 68, №. 4. С. 437–441.
2. Goriewa-Duba K, Duba A, Kwiatek M, Wisniewska H, Wachowska U, Wiwart M. Chromosomal distribution of pTa-535, pTa-86, pTa-713, 35S rDNA repetitive sequences in interspecific hexaploid hybrids of common wheat (*Triticum aestivum* L.) and spelt (*Triticum spelta* L.). *PloS one*. 2018. Vol. 13(2). P. 192–202.
3. Пшениця спельта / Г.М. Господаренко, П.В. Костогриз, В.В. Любич та ін.; за заг. ред. Г.М. Господаренка. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА». 2016. 312 с.
4. Akel W., Thorwarth P., Mirdita V., Weissman E.A., Liu G., Wurschum T., et al. Can spelt wheat be used as heterotic group for hybrid wheat breeding? *Theoretical and applied genetics*. 2018. Vol. 131(4). P. 973–984.
5. Muller T., Schierscher-Viret B., Fossati D., Brabant C., Schori A., Keller B., et al. Unlocking the diversity of genebanks: whole-genome marker analysis of Swiss bread wheat and spelt. *Theoretical and applied genetics*. 2018. Vol. 131(2). P. 407–416.
6. Твердохліб О.В., Голік О.В., Нінієва А.К., Богуславський Р.Л. Спельта і полба в органічному землеробстві. *Посібник українського хлібороба*. 2013. № 1. С. 154–155.
7. Дмитрук С.А., Любич В.В., Новіков В.В. Вихід крупи плющеної із зерна тритикале залежно від ступеня його лушення та режиму водно-теплові обробки. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. № 3. С. 23–27.
8. Biskup I., Gajcy M., Fecka I. The potential role of selected bioactive compounds from spelt and common wheat in glycemic control. *Advances in clinical and experimental medicine : official organ Wroclaw Medical University*. 2017. Vol. 26(6). P. 1013–1029.
9. Koenig A., Konitzer K., Wieser H., Koehler P. Classification of spelt cultivars based on differences in storage protein compositions from wheat. *Food chemistry*. 2015. Vol. 168. P. 176–182.
10. Темирбекова С.К. Использование древних видов пшеницы для укрепления иммунной системы детского организма. *Аграрный вестник ЮгоВостока*. 2014. №. 1-2. С. 46–48.
11. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах / Крошко Г.Д., Левченко В.І., Назаренко Л.Н. та ін. Київ : Віпол, 1998. 163 с.

Любич В.В., Третьякова С.О., Мельник Д.С. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КРУПИ ЦІЛОЇ ІЗ ЗЕРНА СПЕЛЬТИ

Нині збільшується попит на продукти харчування високої біологічної та поживної цінності. Це зумовлено популярними методиками здорового харчування, що поширюються між споживачами. Мета статті полягає у встановленні оптимального режиму лушення та водо-теплого оброблення зерна спельти під час виробництва круп'яних продуктів. Процес отримання круп'яних продуктів був змодельований в лабораторних умовах і включав основні процеси круп'яного виробництва: водо-теплове оброблення, лушення, розділення продуктів лушення, контроль готової продукції. Експерименти проводили відповідно до чинних вимог та стандартів. Статистичне оброблення результатів експериментів і математичне моделювання проводили за допомогою програми Excel та Statistica 10.

З ймовірністю 95% можна стверджувати про достовірно позитивний вплив водо-теплого оброблення зерна спельти під час виробництва зернових продуктів. Тривалість лушення впливає найбільший вплив на вихід зернових продуктів і загальну кулінарну оцінку. Низькотемпературні режими водо-теплого оброблення під час виробництва зернових продуктів не здатні змінити структуру зерна настільки, щоб істотно вплинути на кулінарну оцінку. Доведено, що найбільший вплив на вихід крупи зумовлює тривалість лушення. Вологість зерна перед лушенням має менший вплив. Тривалість відволожування впливає на вихід крупи із зерна спельти найменше, проте її вплив достовірний. Тенденція впливу параметрів оброблення зерна на вихід мучки була подібною до виходу крупи. Оптимальним режимом під час виробництва крупи із спельти слід вважати вологість зерна 15,5–16,0%, тривалість відволожування – 60 хв, тривалість лушення – 140 с. За рекомендованого режиму можна отримати круп'яний продукт із загальною кулінарною оцінкою 8,0–8,5 бали. Вихід крупи за вказаного режиму – 88,6%. Дослідженнями доведено, що процеси поглинання вологи зерном спельти змінюються подібно процесам поглинання традиційних пшениць. Це зумовлює можливість використання стандартного обладнання та технологічних рішень на круп'яних заводах для перероблення очищеного зерна спельти. Найменший вплив тривалості відволожування зумовлює доцільність додаткового дослідження процесів виробництва крупів на заводах різної продуктивності для встановлення економічної доцільності застосування водо-теплого оброблення.

Ключові слова: водо-теплове оброблення, спельта пшениця, лушення, кулінарне оцінювання.

ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.01

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/31>**Баранов І.О.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Пишкун В.В.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

Мішуков Є.О.

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ МАРШРУТАХ

У статті розроблено математичну модель з елементами теорії нечітких множин для визначення величини попиту на послуги міського пасажирського маршрутного транспорту. На основі моделі запропоновано методу визначення необхідної кількості рухомого складу на маршрутах руху. Визначені найактуальніші тенденції в області організації пасажирських послуг:

- збільшення та адаптація пропонованих послуг до специфічних вимог пасажирів;
- активне формування попиту на послуги транспорту з метою прибуткової реалізації вже наявних послуг.

У результаті аналізу проведених досліджень встановлено, що більшість наявних натурних методик визначення величини попиту на послуги міського пасажирського маршрутного транспорту не відповідають сучасним вимогам (обсяг, точність та оперативність отримання інформації). Натепер триває зростання обсягів комерційних перевезень, які виконуються муніципальними операторами, здійснюється субсидування збитків від перевезень у соціальному секторі міського пасажирського маршрутного транспорту коштом прибутку від виконання комерційних перевезень.

Визначені основні способи пересування населення міста, до яких належать поїздка на комерційному транспорті, поїздка на муніципальному транспорті, поїздка на легковому автомобілі, подорож на таксі або піший перехід. Наведена класифікація жителів міста в залежності від вартості проїзних квитків і наявності пільговиків, які купують пільгові проїзні квитки. Виконано розрахунок витрат, пов'язаних із поїздкою населення міста на міському пасажирському маршрутному транспорті й легковому автомобілі. Побудована цільова функція задачі вибору засобу пересування, яка будується на гіпотезі, згідно з якою пасажир прагне скоротити свої ймовірні витрати на поїздку. Встановлена закономірність розподілу швидкостей руху легкових транспортних засобів на основних магістралях міста. Проведено аналіз впливу на ймовірність вибору засобу пересування під час поїздки таких факторів, як вартість проїзду на міському пасажирському маршрутному транспорті, вартість палива, швидкість руху на легковому автомобілі, час руху міського пасажирського маршрутного транспорту.

Ключові слова: ефективність управління, пасажирський маршрутний транспорт, математична модель, прогнозування, транспортне обслуговування.

Постановка проблеми. Міський пасажирський маршрутний транспорт (далі – МПМТ) відіграє головну роль у забезпеченні транспортної рухливості населення. Основний обсяг перевезень пасажирів здійснюється в соціальному секторі МПМТ на наземних маршрутах. Тут працюють переважно державні (муніципальні) підприємства. Частка цього сектора в загальному обсязі перевезень пасажирів становить у цілому близько 85 %. У комерційному секторі здійснюються авто-

бусні й тролейбусні перевезення. Частка цього сектора в цілому по країні – близько 15 %.

У процесі функціонування автобусних перевезень спостерігається висока питома вага індивідуальних підприємців – понад 95 % від загальної кількості автобусних операторів. Частка державних і муніципальних підприємств становить близько 1 %, а приватних підприємств – 4 % [1, с. 226].

Муніципальні автобусні підприємства діють переважно в соціальному секторі. Вони розпоря-

джаються 47 % парку автобусів МПМТ. Приватні оператори контролюють 53 % парку автобусів (рис. 1), однак в 15 % міст комерційні перевезення становлять понад 35 % від загального обсягу. Водночас приблизно в 10 % міст комерційний сектор знаходиться в початковій стадії розвитку [2, с. 11].



Рис. 1. Питома вага парку операторів різних форм власності

За останні 5 років чисельність парку автобусів у соціальному секторі скоротилася на 5–7 %. Знос парку рухомого складу МПМТ наближається до 60 %. Частка автобусів, що експлуатуються з перевищенням нормативного терміну служби, становить 60 %, трамваїв – 56 %, а тролейбусів – 53 % [2, с. 13]. Водночас оновлення парку становить тільки 40 % від необхідного рівня.

Актуальне завдання зниження навантаження МПМТ на бюджетну галузь міста, яке розв’язується шляхом підвищення тарифів і зниження експлуатаційних витрат муніципальних операторів. Місцеві органи влади з метою скорочення бюджетних витрат нарощують обсяги комерційних перевезень. Триває зростання обсягів комерційних перевезень, які виконуються муніципальними операторами. Таким чином, здійснюється субсидування збитків від перевезень у соціальному секторі МПМТ шляхом прибутку від виконання комерційних перевезень.

За підсумками 2019 року, середній вік парку автобусів, що діють в соціальному секторі, склав 10 років, трамваїв – 15 років і тролейбусів – 7 років. У комерційному секторі використовуються відносно нові автобуси, їхній середній термін експлуатації близько 4 років.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В області розробки методів визначення попиту на послуги МПМТ значний внесок належить А.В. Вельможину, С.В. Володченко, В.А. Гудкову, І.С. Єфремову, А.П. Лопатіну, І.П. Макарову, О.М. Мальгіну, Л.Б. Миротіну, Є.В. Овечнікову, М.С. Фішельсону.

Інформація про величину попиту населення на послуги МПМТ і потоках у транспортній мережі головним чином виходить зі спостережень [3, с. 46; 4, с. 37; 5, с. 62]. Усі наявні методики визначення величини попиту населення на послуги МПМТ

можна розділити на два типи: натурні й розрахункові методики, які своєю чергою класифікуються за рядом ознак [5, с. 60; 6, с. 18]. Натурні методики класифікуються за ознаками: за тривалістю періоду, за шириною охоплення транспортної мережі, за способом фіксації переміщень пасажирів.

Аналіз проведених досліджень дозволяє зробити висновок, що більшість наявних натурних методик визначення величини попиту на послуги МПМТ не відповідають сучасним вимогам (обсяг, точність і оперативність отримання інформації). А автоматизовані методи обстежень пасажиропотоків вимагають установки високовартісного обладнання та значних експлуатаційних витрат, що неприйнятно для органів місцевого самоврядування [7, с. 68; 8, с. 525; 9, с. 9].

Постановка завдання. Основною вимогою раціональної організації пасажирських перевезень є повне та якісне задоволення потреб населення в перевезеннях за умови ефективного використання рухомого складу [10, с. 7; 11, с. 156; 12, с. 13].

Нові економічні умови, формування ринку пасажирських послуг, поява й посилення конкуренції між державними (муніципальними) й комерційними організаціями сприяли появі й закріпленню на практиці організації та планування роботи такого поняття, як «послуга транспорту» [13, с. 29].

Попит на пасажирські послуги багато в чому залежить від розвитку наявних видів МПМТ у регіоні, ступеня їх інтеграції в єдину систему, рівня тарифів за видами транспорту, асортименту та якості послуг, що представляються можливим клієнтам. Питома вага транспортних послуг із розвитком ринкової економіки та її інфраструктури, як правило, зростає.

Можна відзначити дві тенденції в області організації пасажирських послуг:

- 1) збільшення та адаптація пропонованих послуг до специфічних вимог пасажирів;
- 2) активне формування попиту на послуги транспорту з метою прибуткової реалізації вже наявних послуг.

Різні групи пасажирів повинні обслуговуватися відповідно до їхніх конкретних потреб. Пасажири самі здійснюють вибір відповідних послуг, їхньої кількості й характеру реалізації. Вони визначають свої пріоритети, які багато в чому залежать від якості послуг, що надаються.

Закономірності формування попиту населення на послуги МПМТ зумовлюються низкою взаємозалежних чинників: кількістю населення міста й розміром його території; рівнем розвитку сус-

пільства і його соціальною структурою; рівнем розвитку суспільного виробництва; сформованим традиційним укладом життя; характером розселення та розміщення місць праці; розвитком техніки, інформації та зв'язку; бюджетом вільного часу; рівнем реальних доходів населення.

Попит на послуги МПМТ можна представити у вигляді багатофакторної функції:

$$\Phi = f(A, B, L, \eta, N_{mp}, M, C_{min}, \Pi, z_e, K_o, V_e), \quad (1)$$

де A – обсяг районів відправлення, чол.;
 B – обсяг районів прибуття, чол.;
 L – дальність подорожі, км;
 η – наявність власного автомобіля;
 t – час сполучення між районами, хв;
 η – інтенсивність руху МПМТ, од./год;
 N_{mp} – наявність різних видів МПМТ;
 M – кількість маршрутів пасажирського транспорту, які проходять між транспортними районами міста;
 C_{min} – вартість хвилини часу, грн;
 Π – вартість однієї пасажирської послуги на міському транспорті, грн;
 Z_e – витрати на експлуатацію легкового автомобіля, грн;
 K_o – середня кількість поїздок на день;
 V_e – експлуатаційна швидкість сполучення, км/год.

Моделі визначення попиту на послуги МПМТ призначені для визначення потреби в провізних здібностях. Відповідно, моделі попиту призначені для того, щоб відповісти на питання, як пасажирі реагують на зміну різних показників транспортного процесу.

Метою роботи є підвищення ефективності управління процесами перевезень на міських автобусних маршрутах на основі розробки методології та методики визначення попиту на послуги МПМТ із використанням нової функції тяжіння.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення попиту на міські пасажирські перевезення застосовано гравітаційне моделювання з елементами теорії нечітких множин [14, с. 365; 15, с. 48; 16, с. 95]. Застосування гравітаційної моделі здійснювалося з використанням основних положень:

1. Усі кореспонденції міського населення поділяються на внутрішньорайонні й міжрайонні.

2. Внутрішньорайонні кореспонденції замикаються всередині транспортних районів, а міжрайонні здійснюються між заданими районами.

3. Найбільш детермінованими пересуваннями міського населення є пересування працівників до місць праці й пересування учнів до місць навчання в години пік [17, с. 19; 18, с. 228].

4. Визначення попиту на послуги МПМТ у ранковій годині пік. Вибір ранкових годин пік зумовлений тим, що безпосередньо з роботи або навчання додому повертаються не всі пасажирі, тому що частина з них, близько 10%, направляється з роботи або навчання в інші пункти, зменшуючи тим самим відносну кількість зворотних поїздок.

Модифікована ймовірнісна гравітаційна модель записується у вигляді:

$$H_{ij} = W_i U_j A_i B_j \mu_x(t_{ij})$$

$$\left\{ \begin{aligned} W_i &= \left[\sum_{j=1}^J U_j B_j \mu_x(t_{ij}) \right]^{-1}, \\ U_j &= \left[\sum_{i=1}^I W_i A_i \mu_x(t_{ij}) \right]^{-1} \end{aligned} \right. , \quad (2)$$

де H_{ij} – величина попиту на послуги МПМТ між транспортними районами i та j , пас.-місць;
 A_i – обсяг i -го району відправлення, чол.;
 B_j – обсяг j -го району прибуття, чол.;
 $\mu_x(t_{ij})$ – функція приналежності i -го району відправлення до j -го району прибуття;
 t_{ij} – середньозважений час сполучення між районами i та j , хв;
 x – безліч районів відправлення, які тяжіють до районів прибуття;
 I – кількість районів відправлення;
 J – кількість районів прибуття;
 W_i, U_j – множини балансування, які розв'язуються ітераційним методом.

Функція приналежності районів відправлення та прибуття для міста залежить від середньозваженого часу сполучення t_{ij} між ними. Величина t_{ij} є нечіткою величиною у зв'язку з тим, що між районами існує кілька зв'язків (маршрутів) із різними значеннями часу сполучення. Тоді i -й район відправлення, що тяжить до j -го району прибуття, належить множині x із деяким ступенем за умови, що час сполучення t_{ij} між районами знаходиться в межах:

$$t_{min} < t_{ij} < t_{max}, \quad (3)$$

де t_{min}, t_{max} – відповідно нижня та верхня межа нечіткої множини x .

На основі отриманих даних встановлена закономірність розподілу швидкостей руху легкових транспортних засобів на основних магістралях міста [19, с. 127]. Функція щільності ймовірності розподілу швидкостей руху легкових транспортних засобів:

$$f(v_a) = \frac{1}{\sigma_v \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(v_a - \bar{v}_a)^2}{2\sigma_v^2}\right), \quad (4)$$

де \bar{v}_a – оцінка математичного очікування швидкості руху, км/год;

σ_v – оцінка середньоквадратичного відхилення, км/год.

Витрати на експлуатацію легкового автомобіля Z_e визначаються таким чином:

$$Z_e = Z_m + Z_{cm} + Z_{ш} + Z_{ТО,ТР} + Z_a, \quad (5)$$

де Z_m – витрати на паливо, грн;

Z_{cm} – витрати на змащувальні матеріали, грн;

$Z_{ш}$ – витрати на шини, грн;

$Z_{ТО,ТР}$ – витрати на технічне обслуговування та експлуатаційний ремонт, грн;

Z_a – амортизаційні відрахування на відновлення автомобіля, грн;

Умови вибору легкового автомобіля: $Z_a < Z_{МПМТ}$, або

$$C_{мін} \cdot t_a + Z_e < C_{мін} \cdot t_{МПМТ} + Ц, \quad (6)$$

Звідки вартісна оцінка економії 1 хвилини часу:

$$C_{мін} > \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}, \quad (7)$$

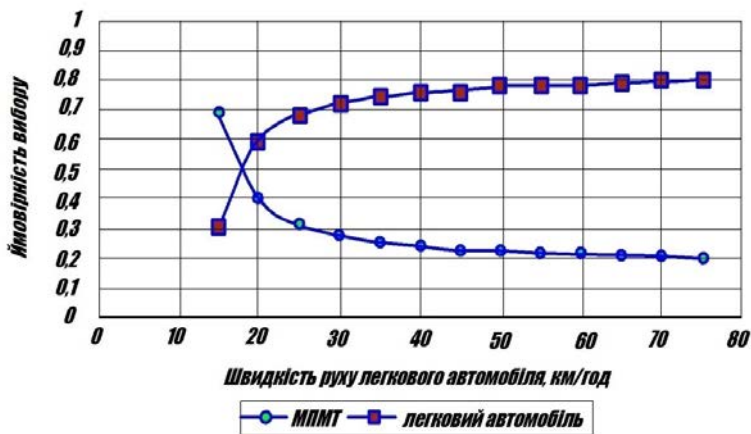


Рис. 2. Вплив швидкості руху легкового автомобіля на ймовірність вибору засобу пересування

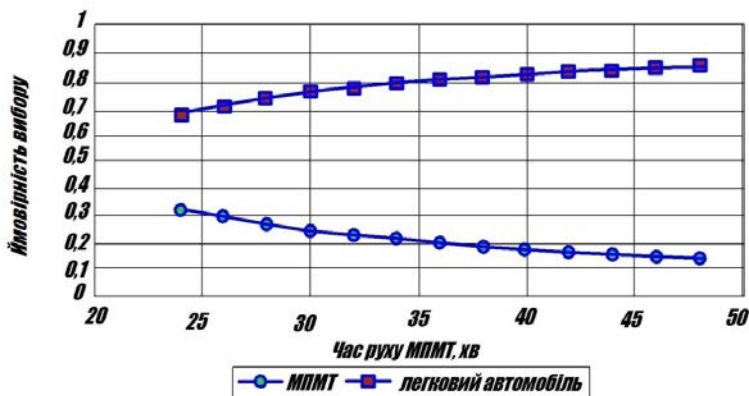


Рис. 3. Вплив часу руху на МПМТ на ймовірність вибору засобу пересування

Тоді ймовірність вибору легкового автомобіля:

$$P_a = P\left(C_{мін} > \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}\right) = 1 - P\left(C_{мін} \leq \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}\right) = 1 - F(C_{мін}), \quad (8)$$

де $F(C_{мін})$ – функція розподілу випадкової величини $C_{мін}$.

Тобто, ймовірність вибору легкового автомобіля:

$$P_a = 1 - 1 + \exp(-\lambda_0 C_{мін}) = \exp(-\lambda_0 C_{мін}) = \exp\left(-\lambda_0 \cdot \frac{Z_e - Ц}{t_{МПМТ} - t_a}\right), \quad (9)$$

де λ_0 – параметр експоненціального закону розподілу випадкової величини $C_{мін}$.

Тоді ймовірність вибору МПМТ:

$$P_{МПМТ} = 1 - P_a, \quad (10)$$

Можливість вибору легкового автомобіля відповідно підвищується (рис. 2–3).

Проведено аналіз впливу на ймовірність вибору засобу пересування під час поїздки від пункту «А» до пункту «Б» таких факторів, як вартість проїзду на МПМТ, вартість палива, швидкість руху на легковому автомобілі, час руху МПМТ.

Висновки. Розроблені методологія та методика визначення попиту на послуги МПМТ із використанням нової функції тяжіння, заснованій на нечіткій логіці, дозволяють із незначними витратами на збір вихідних даних і проведення обчислювальних робіт:

- встановити величину попиту на послуги МПМТ і на його основі визначити необхідну кількість рухомого складу на маршрутах руху;

- проводити аналіз впливу факторів (інтервал руху, час і швидкість сполучення) на закономірності формування пасажиропотоків; враховувати зміну цих факторів під час варіації структури планування, реорганізації транспортної та маршрутної мережі міста;

- прогнозувати зміну попиту на послуги МПМТ у разі зміни різних чинників, що впливають на функцію приналежності районів відправлення до районів прибуття пасажирів.

Список літератури:

1. Григорова Т.М. Теоретичні основи організації маршрутних автобусних перевезень у приміському сполученні : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01. Харків, 2016. 348 с.
2. Піцик М.Г. Підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень : автореф. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Київ, 2020. 20 с.
3. Жилин И.В. Перспективы развития автомобильного транспорта за счет использования современных информационных технологий. *Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте ПТТ-2018* : материалы I междунар. науч.-практ. конф., 12–13 декабря 2018г. Т. 1. Липецк : Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2018. С. 44–48.
4. Горев С.А. Безопасность автобусных перевозок. *Автотранспортное предприятие*. 2018. № 9. С. 34–39.
5. Блюмин С.Л., Суворов В.А. Модель поведения пассажира городского транспорта. *Вестник ЛГТУ-ЛЭГИ*. 2004. № 1 (12). С. 59–65.
6. Якунин Н.Н., Якунина Н.В., Смирнов А.В. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок. *Грузовое и пассажирское автохозяйство*. 2013. № 3. 31 с.
7. Гульчак О.Д. Підвищення ефективності міських пасажирських перевезень на основі удосконалення організації руху автобусів : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 ; Національний транспортний ун-т. Київ, 2005.
8. Гудков В.А., Ширяев С.А., Устинова О.В. Анализ факторов, влияющих на определение необходимого количества пассажирских транспортных средств на маршрутах. *Прогресс транспортных средств и систем – 2005* : сб. матер, междунар. науч.-практ. конф. Волгоград / Гос. техн. ун-т. Волгоград, 2005. С. 525–526.
9. Володченко С.В. Моделирование распределения пассажирских потоков в крупных городах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Санкт-Петербург, 2005. 17 с.
10. Чернова Г.А. Организация безопасной перевозки пассажиров с учетом эксплуатационной и экологической составляющих : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 15.22.10. Волгоград, 2005. 166 с.
11. Скиркоцкий С.В., Седюкевич В.Н. Оценка экономической эффективности предложений по совершенствованию автобусных перевозок. *Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния* : материалы XX международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2014. С. 154–158.
12. Гомоненко Ю.В. Совершенствование управления автобусными перевозками в городах с прямоугольно-линейной планировочной структурой: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08. Москва, 2004. 24 с.
13. Автоматизированные системы управления наземным пассажирским транспортом и их сферы действия. *Автотранспортное предприятие*. 2017. № 4. С. 29–30.
14. Айвазян С.А., Мхитарян В.С. Прикладная статистика и основы эконометрики. Москва : ЮНИТИ, 1998. 1022 с.
15. Хаскинс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. Издание 8-е. Москва : Статистика, 2017. 98 с.
16. Гончаров А.М. Методика оценки важности сложных, функционально неоднородных организационно-технических систем. *Наука и техника транспорта*. 2017. № 7. С. 92–99.
17. Баранов И.О., Баранова В.Н., Тараторина А.Н., Короленко Т.В. Анализ методики повышения потребительских свойств регулируемых перекрестков улично-дорожной сети города. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. №3 (233). С. 17–21.
18. Чернецкая-Белецкая Н.Б., Баранов И.О., Мирошников В.В., Петрусенко А.С. Анализ состояния пассажирских перевозок в крупных транспортных узлах. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2016. № 1 (225). С. 227–230.
19. Баранов И.О., Мірошнікова М.В., Сущенко Л. І., Сущенко О.О. Підвищення ефективності функціонування системи транспортного обслуговування міського населення. *Логістичне управління та безпека руху на транспорті* : збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 14-16 листопада 2019 року, м. Лиман (Донецька обл.). Лиман, 2019. С. 127–128.

Baranov I.O., Pshikun V.V., Mishukov Ye.O. IMPROVING EFFICIENCY OF TRANSPORTATION PROCESS MANAGEMENT ON CITY BUS ROUTES

The article develops mathematical model, with elements fuzzy set theory, determine magnitude of demand urban passenger transport services. Based on model, method for determining required number rolling stock on

traffic routes is proposed. The most actual tendencies in field organization of passenger services are defined: – increase and adaptation offered services specific requirements passengers; – active formation demand for transport services in order profitably sell existing services. As result analysis conducted researches it is established majority of existing full-scale methods definition size demand for services city passenger route transport do not meet modern requirements (volume, accuracy and efficiency of receiving information). Currently, volume commercial traffic performed by municipal operators continues increase, and losses from transportation in social sector urban passenger scheduled transport are subsidized at expense profits from performance of commercial transportation. The main ways moving population city are identified, which include trip by commercial vehicle, trip by municipal transport, trip by car, taxi or pedestrian crossing. Classification city residents depending on cost travel tickets and availability of beneficiaries who buy discounted travel tickets. Costs associated with travel city's population on urban passenger transport and cars have been calculated. The target function task choosing means of transportation, which is based on hypothesis passenger seeks to reduce their probable travel costs. Regularity distribution speeds movement of passenger vehicles on main highways city is established. Analysis influence on probability choosing means of transportation during trip such factors as cost travel on urban passenger transport, fuel cost, speed car, travel time urban passenger transport. Theoretical and methodological basis study were scientific papers on improving social and economic efficiency urban passenger traffic management, reducing negative impact of urban passenger transport on environment, methods statistical analysis, economic-mathematical and simulation modeling, graph theory, systems analysis, principles decision making in conditions uncertainty, probability theory and fuzzy sets.

Key words: *management efficiency, passenger route transport, mathematical model, forecasting, transport service.*

Єгольников О.О.

Миколаївський коледж транспортної інфраструктури Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Всеволода Лазаряна

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ І МОНІТОРИНГУ ЗАСОБІВ АВТОМАТИКИ НА ОБ'ЄКТАХ ЗАЛІЗНИЧНО-ВОДНОГО СПОЛУЧЕННЯ

Стаття присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання управління процесами діагностування та моніторингу засобів залізничної автоматики на припортових залізницях, поромних станціях, залізничних поромах. Розглянуто особливості експлуатації та технічного обслуговування, які полягають у поєднанні функцій залізничного транспорту з водним. Запропоновано концепцію інформаційної платформи для залізничного порома.

Об'єктом моніторингу є електричні параметри пристроїв залізничної автоматики (рейкових кіл, стрілок, світлофорів), які у вигляді числових значень або застережних інформаційних повідомлень передаються на спеціалізовані технологічні вікна або на автоматизоване робоче місце технолога; одержані дані зазнають оброблення та використовуються для складання практичних рекомендацій. Інформаційну базу досліджень становлять нормативна документація Укрзалізниці й законодавча база України, наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених із розробки методів і систем технічного діагностування та моніторингу. Як теоретичне підґрунтя використані положення дискретної математики, основи теорії ймовірності, дослідження операцій, теорії надійності й діагностування, теорії ризиків та управління якістю. Постановка експериментальних досліджень містила визначення показників струму й напруги в процесі роботи у звичайному експлуатаційному режимі пристроїв залізничної автоматики припортової залізниці.

Запропоновано модель задачі управління процесами діагностування та моніторингу засобів автоматики на об'єктах залізнично-водного сполучення, яку розв'язано за допомогою математичного апарату ланцюгів Маркова. За інформаційний критерій прийнято циклічність пошкоджень. Результати спрямовані на ефективність і вірогідність оцінювання, прогнозування технічного стану, апробовані в навчальному процесі під час підвищення кваліфікації кадрів.

Ключові слова: припортові залізниці, поромні станції, залізничні пороми, залізнична автоматика, система технічного діагностування та моніторингу, накопичення дефектів.

Постановка проблеми. Розширення номенклатури та обсягу вантажів по транспортним шляхам України, які включатимуть у себе понад 22 тис км залізничних колій [1], призвело до диспропорції між пропускною і переробною здатністю портів (поромних сервісів) [2], які забезпечують перевезення між Україною, Грузією, Туреччиною, Болгарією та іншими країнами. Проблемними питаннями ефективної експлуатації об'єктів залізнично-водного сполучення є розлад, неузгоджена подача суден, накопичення нерозвантажених поїздів, які залишені на припортових станціях. В основу вирішення цих недоліків повинні бути покладені принципи синхронізації керуючих дій на залізничних під'їзних шляхах і автоматизованої роботи портів (поромних переправ) з урахуванням повної завантаженості суден. Важлива роль при цьому відводиться роботі залізничної автоматики і телемеханіки; її надійна експлуата-

ція пов'язана зі вживанням профілактичних заходів щодо попередження відмов, що є важливим науково-практичним завданням, актуальним для транспортних технологій на об'єктах залізнично-водного сполучення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Засоби залізничної автоматики являють собою складний об'єкт для досліджень. Існуючі методи технічного діагностування і обслуговування ґрунтуються на впровадженні різнопланових апаратно-програмних засобів, які створювались поетапно і вирішували задачі локального значення на момент їх розроблення та впровадження. Це обумовлює протиріччя між об'ємами перевезень та рівнем управління технічними заходами з обслуговування. Розв'язання цих проблемних питань пов'язано зі створенням комплексу технічних, програмних і організаційних заходів. Досвід сучасної практики управління процесами

діагностування і моніторингу рейкових кіл, стрілок, світлофорів наведений в роботах Д.В. Єфанова, А.О. Ликова, В.І. Гаврилюка, В.В. Лагути, А.І. Годяєва [3–7], у яких висвітлені проблемні питання, пов'язані з аналізом відмов і методів контролю показників для визначення та прогнозування технічного стану об'єкту. Передусім це необхідність проведення статистичної обробки і архівації вимірених та оброблених значень з селекцією інформації, що значно обмежує застосування на практиці розроблених моделей. Прийняті в роботі [8] науково-методичні принципи створення нової системи діагностування залізничної автоматики містять взаємозалежні завдання, пов'язані з математичним моделюванням процесу функціонування об'єкту діагностування та пошкоджуваності пристроїв, розробкою алгоритму діагностування як сукупності елементарних перевірок, за результатами яких відбувається ідентифікація пошкоджуваності та визначається технічний стан. Як методологічна основа сучасних напрямків систем технічної діагностики і моніторингу швидкісних магістралей застосовуються експериментально-теоретичні методи і математичні моделі, побудовані на основі пасивних спостережень або функцій розподілу напрацювання до відмови, проте через інші специфічні умови експлуатації вони не можуть бути застосовані для об'єктів залізнично-водного сполучення.

Постановка завдання. Мета роботи – розвиток теоретично-методологічного підґрунтя управління процесами діагностування і моніторингу залізничної автоматики, визначення її технічного стану на об'єктах залізнично-водного сполучення.

Виклад основного матеріалу дослідження. *Особливості технічного обслуговування засобів залізничної автоматики на припортових залізницях та поромних станціях* полягають у поєднанні функцій залізничного транспорту з водним, що вимагатиме постановки додаткових досліджень, які, крім спостереження за показниками пристроїв, повинні включати у себе додаткову інформацію: постановку та розв'язання ситуаційних задач, розробку та впровадження новітніх засобів інформаційної підтримки. Системний підхід передбачатиме об'єднання процесів обслуговування залізничних поромів і припортових залізниць з максимальною типізацією експлуатаційних рішень, в основу яких покладено багатоаспектні уявлення щодо особливостей функціонування засобів залізничної автоматики. Одним з таких важливих факторів слід вважати кліматичні і погодні умови (табл. 1).

Вихідними даними для побудови досліджень є інформація про комплектування встановленого обладнання (зокрема кількість та стан запасних інструментів і приладів) і якість його роботи, яка надходить з журналів, графіків та планів технічного обслуговування та ремонту, дефектів і відмов, протоколів відомчих і Державних перевірок. Джерелом також може бути інформація про працездатність залізничної автоматики та суміжних з ними систем; відомості з журналів обліку вимушених зупинок за кількісними характеристиками і аналізом прийнятих рішень щодо їх усунення. Реалізація стратегії включає у себе реальне дослідження предметної області із залученням фахівців, зокрема системних аналітиків. Як приклад, на рис. 1 у графічному

Таблиця 1

Кліматичні умови експлуатації залізничної автоматики на об'єктах залізнично-водного сполучення півдня України (складено автором)

Місяць	Температура, °С		Вологість, %	Сила вітра, м/с	Середньмісячна норма опадів, мм
	вдень	вночі			
Січень	-9	-16	81	4,8	42,6
Лютий	-11	-18	83	4,7	28,9
Березень	+17	-1	72	5,2	29,1
Квітень	+21	+4	65	4,9	29,4
Травень	+30	+9	66	4,2	32,5
Червень	+33	+15	62	4,2	58,6
Липень	+32	+29	61	4,1	24,8
Серпень	+32	+27	53	4,9	21,9
Вересень	+31	+8	60	4,3	29,5
Жовтень	+23	+4	72	4,4	24,0
Листопад	+15	-4	84	4,6	22,7
Грудень	+6	-7	85	4,8	29,2

вигляді наведено концепцію інформаційної платформи, складену для обслуговування залізничного порома, для чого було проаналізовано сучасний досвід крупних компаній, зокрема: морського спеціалізованого порту «Ніка-Тера», морського торговельного порту «Південий», судноплавної компанії «UkrFerry», компанії «АртПорт».

Теоретичні передумови і методологія досліджень. Об'єктом моніторингу є електричні параметри пристроїв залізничної автоматики (рейкових кіл, стрілок, світлофорів), які у вигляді числових

значень або попереджуючих інформаційних повідомлень передаються на спеціалізовані технологічні вікна або на автоматизоване робоче місце технолога; одержані дані зазнають оброблення та використовуються для складання практичних рекомендацій. Теоретичні і експериментальні дослідження проведено автором роботи особисто з використанням лабораторної бази відділення «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» Миколаївського коледжу транспортної інфраструктури Дніпровського національного

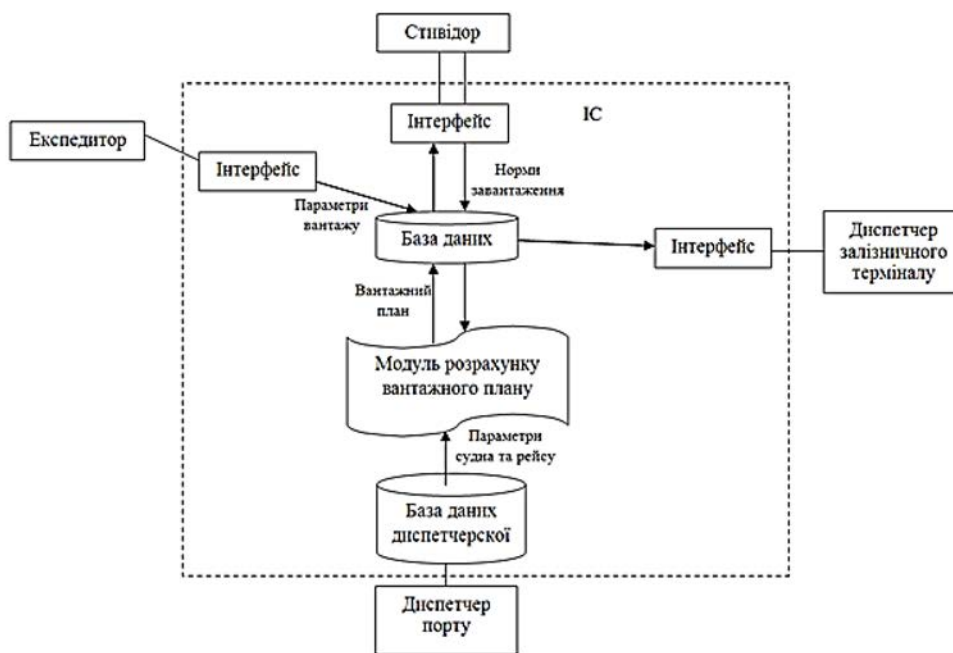


Рис. 1. Концепція проєкту інформаційної платформи для обслуговування залізничного порома

Таблиця 2

Основні етапи, постановка завдань, методи та інструментальне забезпечення досліджень

Етапи досліджень	Методи досліджень та інструментальне забезпечення	Застосовність до результатів досліджень
Системне дослідження параметрів діагностування засобів автоматики	Імітаційне моделювання, математичні методи дослідження операцій [9–11]	Пошук місць та визначення причин відмов та несправностей
Прогнозування технічного стану об'єкту	Імовірнісне моделювання на основі випадкових процесів Маркова [10; 11]	Розробка моделі задачі управління процесами діагностування і моніторингу
Дослідження та вибір заходів з технічного обслуговування засобів залізничної автоматики на об'єктах залізнично-водного сполучення	Ресурсний підхід [12] Метод експертних оцінок [13]	Розробка практичних і методичних рекомендацій щодо технічного обслуговування засобів залізничної автоматики на припортових залізницях, поромних станціях
Визначення економічної ефективності розробок	Метод функціонально-вартісного аналізу [14] Методи економічного, маркетингового і екологічного аналізу інноваційних проєктів [15; 16]	Оптимізація витрат на одиницю корисного ефекту від розвитку методу технічного діагностування і моніторингу для об'єктів залізнично-водного сполучення

університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. В табл. 2 наведено основні етапи досліджень, методи та інструментальне забезпечення.

Постановка експериментальних досліджень включала у себе визначення показників струму і напруги при роботі у звичайному експлуатаційному режимі пристроїв залізничної автоматики припортової залізниці (як приклад розглянуто ділянку морського спеціалізованого порту «Ніка-Тера»). Для вимірювань застосовано прилад Ц4380 (ампервольтметр ТУ У 13566542,002-98) з вхідним опором 1360 Ом [17]. Під час експериментальних вимірювань зафіксовано кліматичні показники. Числову та статистичну обробку даних здійснено за допомогою програмних пакетів *MATLAB (Math Works, Inc)* і *MSExel*. Інформаційну базу досліджень становлять нормативна документація Укрзалізниці та законодавча база України (табл. 3).

Результати та їх обговорення. Результати досліджень представлені у вигляді моделі задачі управ-

ління процесами діагностування і моніторингу на об'єктах залізнично-водного сполучення (табл. 4).

Фізична ситуація моделі складена на підставі експериментальних досліджень, які показали дискретність електричних ланцюгів внаслідок циклічності процесу навантаження. За осередкованими значеннями визначався момент часу, у якій показники пристроїв перевищували нормативні значення, проте у період цього часу динаміка процесу мала монотонний характер. Тобто процес накопичення дефектів можна розглядати як невідновний, тобто кумулятивний, який за допомогою ланцюгів Маркова [11] можна описати як послідовність подій. При цьому введено поняття «кумулятивне пошкодження» – незворотне накопичення пошкоджень пристроїв при циклічних діях, де швидкість монотонного накопичення пошкоджень описується як $V(x, y, z, t) = const$, де x – значення напруги (або інших електричних характеристик) пристроїв залізничної автоматики (наприклад, на колійному реле); y – характерис-

Таблиця 3

Нормативна документація

Нормативний документ	Предмет досліджень
ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения	Обслуговування припортових залізниць
Правила обслуговування залізничних під'їзних колій (Затв. Наказом Міністерства транспорту України від 21 листопада 2000 р. № 644 із змінами і доповненнями)	
ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування.	Прийняття рішень при обслуговуванні засобів автоматики на об'єктах залізнично-водного сполучення
ДСТУ 4151-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Електромагнітна сумісність. Вимоги та методи випробування	
ДСТУ ГОСТ 33514:2018 Продукція залізничного призначення. Правила верифікації методики неруйнівного контролю	
ДСТУ 32.0.08.001-97 Порядок розроблення та постановлення продукції на виробництво для потреб залізничного транспорту в системі міністерства транспорту України	
ДСТУ ISO / IEC 33063:2015. Інформаційні технології оцінювання процесу. Моделювання процесу для тестування програмного забезпечення	Інформаційна підтримка діагностування і моніторингу пристроїв автоматики
Правила технічної експлуатації залізниць України (Затв. Наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. № 411 із змінами і доповненнями)	Розробка практичних рекомендацій зі складанням алгоритму автоматичного визначення технічного стану
Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування ЦШ 0060 (Затв. Наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 07 жовтня 2009 р. № 090-ЦЗ)	
ЦШ/0024. Релейно-процесорна та мікропроцесорна централізація стрілок та сигналів. Експлуатаційно-технічні та організаційні вимоги. Київ, 2006 р.	
Пам'ятка Р809 «Електромагнітна сумісність мікроелектронних пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ)»	Формулювання та уточнення параметрів діагностування з моделюванням процесу накопичення дефектів
Пам'ятка Р801/4 «Каталог можливих пошкоджень і відмов пристроїв сигналізації, централізації та автоблокування (СЦБ)»	
Пам'ятка Р855 «Основні принципи визначення необхідної надійності пристроїв сигналізації, централізації та автоблокування (СЦБ)»	

тики пристроїв автоматики; z – зовнішні умови експлуатації (зокрема кліматичні умови); t – час.

Під подією розуміється зміна швидкості накопичення пошкоджень на деяку критичну величину $V_{кр}$, яка обирається за результатами експериментальних спостережень на певній ділянці припортової залізниці (поромній станції, під'їзному шляху тощо). При реалізації події $V \geq V_{кр}$ відбувається перехід у наступний стан, де технічний стан засобів автоматики і час розглядаються як дискретні функції. Тобто за допомогою запропонованої моделі можна не тільки ефективно оцінювати технічний стан роботи засобів залізничної автоматики на дільниці, а і передбачати з певною імовірністю вихід її з ладу. *Перспективи подальших* досліджень пов'язані з формалізованим описом дефектів пристроїв автоматики з постановкою числових експериментів.

Результати роботи апробовано у Навчально-науковому центрі розвитку професійної освіти при підвищенні кваліфікації електромеханіків СЦБ, електромеханіків контрольно-вимірювальних пристроїв СЦБ, техніків ШЧ. Під час опанування новими методами курсанти пройшли комп'ютерну підготовку, отримали навички роботи з новими, зокрема авторськими програмами [19, 20]. Функціональні завдання інформаційного забезпечення полягають у:

- додаванні інформації про поточні показники пристроїв автоматики та записів про виконання ремонтних робіт;
- виконанні планування заміни та ремонту пристроїв автоматики;
- контролі стану роботи пристроїв автоматики шляхом порівняння поточних показників з граничними; формуванні звітів.

Технічне обслуговування залізничних поромів і припортових залізниць забезпечується за рахунок кваліфіковано побудованої клієнтської частини, яка, як правило, представляється у вигляді графічних інтерфейсів. Це наглядно полегшує використання програмного продукту та дає персоналу змогу концентруватися виключно на службовій інформації внесення, обробці та аналізі даних.

Наукове і практичне значення одержаних результатів. Робота являє собою важливе системно-аналітичне дослідження в області технічного обслуговування об'єктів залізнично-водного сполучення.

Розвинуто теоретично-методологічне підґрунтя управління процесами діагностування і моніторингу залізничної автоматики, яке на відміну від існуючих враховує особливості експлуатації засобів залізничної автоматики, ймовірнісний підхід до процесу накопичення пошкоджень та дефектів, що новим, ще недослідженим напрямком.

Висновки. Проаналізовано особливості експлуатації засобів автоматики на об'єктах залізнично-водного сполучення, які полягають у поєднанні функцій залізничного транспорту з водним, що наглядно відображено у побудованій концепції інформаційної платформи для обслуговування залізничного порома.

Для об'єктів залізнично-водного сполучення запропоновано нову модель задачі управління процесами діагностування і моніторингу засобів автоматики, складену за результатами експериментальних досліджень і математичного опису за допомогою ланцюгів Маркова з інформативним параметром у вигляді інтенсивності пошкоджень,

Таблиця 4

Характеристика моделі задачі

Характеристика	Опис
Завдання технічного діагностування	Контроль технічного стану об'єкта, пошук місць та визначення причин відмов та несправностей, прогнозування технічного стану об'єкта
Об'єкт моніторингу	Електричні параметри пристроїв залізничної автоматики: рейкових кіл, стрілок, світлофорів
Робоча гіпотеза досліджень	Динаміка накопичення пошкоджень має монотонний характер та ґрунтується на принципах автомодельності з використанням лінійних законів підсумування на певній ділянці часу
Вимоги до моделювання	Моделювання ситуації повинно враховувати статистичний досвід з відмов пристроїв автоматики за аналогічний період часу
Припущення	У початковий момент система не мала збоїв
Інформативний критерій	Інтенсивність пошкоджень $\bar{V} = \frac{V}{V_{кр}}$ – зміна швидкості накопичення пошкоджень на деяку критичну величину $V_{кр}$
Реалізація моделі	Оцінювання реального технічного стану пристроїв залізничної автоматики та прийняття рішення щодо можливості їх подальшої експлуатації

що спрямовано на підвищення ефективності оцінки прогнозування технічного стану.

Результати роботи апробовано у Навчально-науковому центрі розвитку професійної освіти при підвищення кваліфікації електромеханіків

СЦБ, електромеханіків контрольно-вимірювальних пристроїв СЦБ, техніків ШЧ Миколаївського коледжу транспортної інфраструктури Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Список літератури:

1. Прейгер Д., Жаліло Я., Собкевич О., Ємельянова О. Реалізація транзитного потенціалу України як фактор зміцнення економічних зв'язків між Європою та Азією. *Економіка України*. 2012. № 4. С. 47–59.
2. Ширяєва Л.В., Шагіна М.В. Аналіз можливостей використання залізничних поромів СК «УКРФЕРІ» для перевезення контейнерів. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2017. № 1 (58). С. 76–89.
3. Дунаєв Д.В., Романцев І.О., Гаврилюк В.І. Аналіз отказов и методы контроля рельсовых цепей. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта*. 2010. С. 212–217.
4. Годяев А.И. Методологические основы принятия решений по обеспечению безопасности движения на железнодорожных переездах : монография. Хабаровск : ДВГУПС, 2004. 138 с.
5. Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография. Санкт-Петербург : ПГУПС, 2016. 171 с.
6. Лагута В.В., Сердюк Т.М., Пархоменко А.А. Аналіз відмов елементів залізничної автоматики. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2017. № 13. С. 57–65.
7. Сердюк Т.Н., Завгородний А.В., Гаврилюк В.І. Измерение электромагнитных полей в обратной тяговой сети. *Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна*. 2009. № 29. С. 134–139.
8. Мойсеєнко В.І., Чегодаєв Б.В., Зотова О.С. Методи діагностування систем залізничної автоматики. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2014. № 4. С. 26–32.
9. Аверилл М. Лау, В. Девід Кельтон. Имитационное моделирование. Классика CS / пер с англ. 3-е изд. Киев : Издательская группа ВHV, 2004. 847 с.
10. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Москва : Наука, 1991. 384 с.
11. Богданов Дж., Козин Ф. Вероятностные модели накопления повреждений / пер. с англ. Москва : Мир, 1989. 344 с.
12. Шемаєв В.В. Теоретико-методологічні засади та пріоритети розвитку транспортної інфраструктури в системі екологічної безпеки України : монографія. Київ, 2018. 494 с.
13. Ситник В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень Київ : КНЕУ, 2004. 614 с.
14. Федулова Л.І. Інноваційна економіка : підручник для вузів. Київ : Либідь, 2006. 480 с.
15. Константинов С.М., Пономаренко Ю.Л. Інформаційні технології управління сучасними підприємствами : навчальний посібник : у 2 томах. Львів : Українська академія друкарства, 2010. Т. 2. 355 с.
16. Пічкур Т.В. Стратегія екологічної діяльності на залізничному транспорті. *Збірник наук. праць Державного економічно-технічного університету транспорту. Сер. : Транспортні системи і технології*. 2012. № 21. С. 192–195.
17. Измерительно-вычислительные средства в системе автоматизации диагностирования и контроля устройств ЦСБ : учебное пособие для вузов / А.А. Сепетый, В.В. Кольцов, В.С. Прищепа и др. Ростов-на-Дону : Рост. Гос. Ун-т путей сообщения, 2009. 416 с.
18. Роїк М.В., Присяжнюк О.І., Денісюк В.О. Огляд програмних засобів статистичного аналізу даних. *Ефективна економіка*. 2017. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua> (дата звернення: 01.06.2020).
19. Єгольников О.О. Основні принципи розробки системи підтримки прийняття рішень управління процесами діагностування і моніторингу засобів автоматики для мереж залізнично-водного сполучення. *East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe*. 2019. № 11 (51). 5. Р. 11–16.
20. Информационные управляющие системы и технологии. Проблемы и решения : монография / под ред. В.В. Вычужанина. Одесса : ОНПУ «Экология», 2019. С. 151–161.

Yeholnikov O.O. FEATURES OF TECHNICAL MAINTENANCE, DIAGNOSTICS AND MONITORING OF AUTOMATION EQUIPMENT AT RAILWAY AND WATER COMMUNICATION FACILITIES

The article is devoted to solving an urgent scientific and practical problem of managing the processes of diagnostics and monitoring of railway automation equipment on the port railways, ferry stations, and railway ferries. The article discusses the features of operation and maintenance, which consist in the coordination of the functions of railway transport with water transport. The article proposes a concept of information support for a railway ferry.

The object of monitoring is the electrical parameters of railway automation devices (track circuits, switches, traffic lights), which are transmitted in the form of numerical values or warning information messages to specialized technological windows or to an automated workstation of a technologist; the obtained data are processed and used to draw up practical recommendations. The information base of the research consists of the normative documentation of the Ukrainian Railway and the legislative base of Ukraine, scientific works of domestic and foreign scientists on the development of methods and systems for technical diagnostics and monitoring. As a theoretical basis for the study, the provisions of discrete mathematics, the foundations of the theory of probability, operations research, the theory of reliability and diagnostics, the theory of risks and quality management were used.

A model of problems of control of the processes of diagnostics and monitoring of automation systems at the reservoir facilities is proposed, since it is associated with an additional mathematical apparatus of Markov chains. The frequency of malfunctions occurrence is taken as an information criterion. The results are aimed at the effectiveness and reliability of assessment and forecasting of technical condition and tested in the educational process in advanced training.

Key words: port railroad, ferry stations, railway ferry, railway automatics, system of technical diagnostics and monitoring, accumulation of defects.

Іванченко О.В.

Національна академія Національної гвардії України

Бойков І.В.

Національна академія Національної гвардії України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА СЕРЕДНІЙ ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У матеріалах статті розглядаються питання надійності автомобільної техніки за допомогою одичного показника середнього часу відновлення. Наявні методики оцінювання рівня технічної готовності й методи визначення середнього часу відновлення не враховують різноманіття факторів, які впливають на дійсний технічний стан автомобільної техніки. Час простою в ремонті впливає на готовність до використання автомобіля за призначенням, який потрібно врахувати під час визначення дійсного технічного стану автомобільної техніки й залишкового ресурсу.

Визначення часу відновлення є актуальним завданням, дозволить повніше оцінювати технічний стан автомобільної техніки й впливати на виконання виробничої програми підприємства.

У статті проведено аналіз досліджень із питань оцінки технічного стану автомобільного парку, надана класифікація найпоширеніших відмов автомобільної техніки, розглядається можливий спосіб визначення середнього часу відновлення елементів автомобільної техніки в залежності від впливу ремонтно-обслуговуючих факторів. Запропоновано регресійну залежність середнього часу відновлення від впливу ремонтно-обслуговуючих факторів на різних рівнях варіювання. Проведено статистичний аналіз отриманого рівняння регресії, а саме однорідність дисперсії за розрахунковим значенням за критерієм Кохрена. Оцінка значущості коефіцієнтів здійснюється за критерієм Стьюдента, адекватність лінійних рівнянь регресії, які використовуються для розв'язання практичних завдань, перевіряється за критерієм Фішера. Проаналізовано результати обробки даних повного факторного експерименту по визначенню часу відновлення в умовах виробничої бази й зроблено висновки.

Ключові слова: технічний стан, відмова, середній час відновлення, експеримент, фактор, матриця планування, поліном, апроксимація.

Постановка проблеми. Автомобіль, як механічна система працює у важких умовах динамічних навантажень, та з часом інтенсивність відмов підвищується. У зв'язку з цим, частину амортизаційного часу він може простоювати в ремонті та обслуговуванні.

Час простою впливає на готовність до використання автомобіля за призначенням (рівень технічної готовності). Час простою в ремонті (час відновлення) потрібно врахувати при визначенні дійсного технічного стану автомобільної техніки та залишкового ресурсу.

Існуючі методики оцінювання рівня технічної готовності та методи визначення середнього часу відновлення не враховують різноманіття факторів, які впливають на дійсний технічний стан автомобільної техніки (далі – АТ).

Тому визначення часу відновлення є актуальним завданням, рішення якого дозволить більш повно оцінювати технічний стан автомобільної техніки та впливати на виконання виробничої програми підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання оцінки технічного стану автомобільного парку розглядаються в ряді наукових робіт [1–10].

Підтримка в працездатному технічному стані АТ за допомогою проведення технічних впливів наведені в роботах [1–6]. У роботах розглядаються способи визначення раціональної періодичності виконання технічного обслуговування і ремонту АТ за різними показниками. Але при цьому, використовуються прості, аналітичні і імітаційні методи, які доцільні за певних умов.

Наявні підходи [1; 3; 6–8] щодо оцінки рівня технічної готовності автомобільної техніки використовують виробничий показник – коефіцієнт технічної готовності (K_{me}), який не враховує факторів, що впливають на відновлення АТ.

У роботах [1; 3; 9; 10] для оцінки технічного стану системи пропонується застосовувати комплексні показники надійності, такі як коефіцієнт оперативної готовності (K_{oe}), коефіцієнт готовності (K_c), коефіцієнт технічного використання (K_{me}), які включають в себе середній час відновлення (T_e).

Але він зворотно пропорційний інтенсивності відновлення і не враховує найбільш значущих факторів, від яких залежить час відновлення.

Постановка завдання. Оцінка впливу ремонтно-обслуговуючих факторів на середній час відновлення (простою) автомобільної техніки в умовах виробничої бази автомобільного парку.

Викладення основного матеріалу дослідження. Серед різноманіття відмов, які відбуваються з АТ, слід виділити декілька основних груп (рис. 1).

Найпоширенішими серед відмов двигуна є відмови бензонасоса, стартера, генератора, кривошипно-шатунного механізму, водяного насоса, паливного насоса, системи живлення, системи відведення відпрацьованих газів, системи охолодження, електрообладнання, запалення, датчиків.

Серед найчастіших відмов кузова є деформація і псування його елементів внаслідок механічних пошкоджень (вм'ятини, вибоїни, тріщини), зміна геометричних параметрів, корозійні пошкодження, руйнування лакофарбового та протикорозійного покриття.

Відмовами трансмісії найчастіше є неповне вмикання зчеплення, зменшення вільного ходу педалі зчеплення, зношування фрикційних накладок зчеплення, заклинювання редукторів, ускладнене перемикавання передач, відмови синхронізаторів та вилок коробки передач та роздавальної коробки, витікання робочої рідини із головного циліндра зчеплення, коробки передач та роздавальної коробки.

В ходовій частині найчастіше відбуваються такі відмови: деформація важелів передньої підвіски, пошкодження опор амортизаторів, відмова стабілізатора поперечної стійкості, порушення паралельності переднього та заднього мостів, пошкодження, або відмова підшипників маточин коліс, ресор, амортизаторів, сайлентблоків, шарових опор, наконечників кермових тяг, порушення кута розвалу та сходження коліс.

Стосовно систем автомобіля, найчастіше відбуваються такі відмови: перегорання ламп накаливання в системі освітлення, збільшення вільного ходу кермового колеса, відмова кер-

мового керування через відмову наконечників кермових тяг, недостатня ефективність гальмування, відмова гальмівної системи через витікання гальмівної рідини, збільшений вільний хід педалі гальма.

Всі ці, та багато інших несправностей можуть впливати на безпеку руху, або зовсім зробити неможливим переміщення АТ самостійно.

Проведений аналіз відмов, які відбулися в досліджуваному парку вантажних автомобілів показав, що найбільшого поширення набули відмови ходової частини і трансмісії, що обумовлено складними умовами експлуатації.

Пропонується більш детально дослідити відновлення підшипника передньої маточини колеса, як однієї з найпоширеніших відмов АТ. Дані дослідження можуть бути застосовні до будь-яких відмов АТ.

Застосуємо підхід, заснований на оцінці рівня впливу в умовах експлуатації АТ з можливістю відновлення на виробничій базі автомобільного парку.

Час відновлення є функцією ряду змінних:

$$t_g = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – незалежні змінні.

У термінах активного планування експерименту [11, 12] t_g є відгуком, а змінні x_i – факторами.

Як основні ремонтно-обслуговуючі фактори, що впливають на відновлення і визначають технічний стан АТ при проведенні операцій, можуть бути прийняті [13]:

- наявність технічної документації на проведення технічних обслуговувань і ремонтів x_{p1} ;
- оснащеність необхідним обладнанням x_{p2} ;
- кваліфікація фахівців x_{p3} .

Рівні ремонтно-обслуговуючих факторів визначають час, витрачений на проведення відновлення. Перераховані фактори відповідають вимогам, які використовуються в теорії активного планування експерименту. Для проведення експерименту визначено рівні варіювання незалежних змінних, які представлені в таблиці 1.

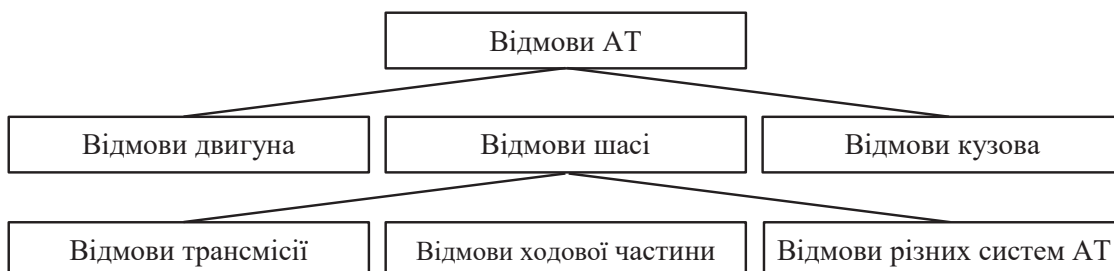


Рис. 1. Класифікація відмов АТ

Таблиця 1

Рівні варіювання факторів

Позначення	Ремонтно-обслуговуючі фактори		
	X _{p1}	X _{p2}	X _{p3}
Нульовий рівень x=0	50 %	50 %	50 %
Інтервал варіювання	100	100	100
Нижній рівень x=-1	0	0	0
Верхній рівень x=+1	100 %	100 %	100 %

Матриця планування та результати проведення експерименту представлені в таблиці 2.

За результатами повного факторного експерименту оцінимо вплив ремонтно-обслуговуючих факторів на час відновлення КрАЗ-5233Н2 в умовах виробничої бази при двох крайніх значеннях рівнів факторів (0 % і 100 %).

Для оцінки впливу перерахованих факторів на надійність проводиться спрямований факторний експеримент, який реалізує відповідно всі можливі неповторювані комбінації трьох незалежних факторів, кожен з яких варіюється на двох крайніх рівнях.

Таке планування дозволяє описати процес поліноміальною математичною моделлю, що включає також і взаємодію факторів у вигляді рівняння регресії.

Знаходження функціональної залежності часу відновлення від змінних факторів проводимо методом активного планування експерименту [14]. З метою отримання незалежних оцінок значень коефіцієнтів регресії і максимальної інформації при мінімальній кількості дослідів матриця планування будується з виконанням вимог [11, 12], а саме:

– симетричності відносно центру експерименту:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 ; \tag{2}$$

– умови нормування:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^2 = N ; \tag{3}$$

– ортогональності:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}x_{iu} = 0; \quad j \neq u; \quad j, u = \overline{0, k} . \tag{4}$$

При цьому кількість дослідів *N* повного факторного експерименту (ПФЕ) дорівнює $N=2k=23=8$, де *k* – число досліджуваних факторів.

У ПФЕ варіюються одночасно всі фактори. Це призводить до того, що дисперсія оцінки коефіцієнтів регресії виявляється в *N* раз менше помилки дослідів [11; 12].

Оскільки на величину вихідної змінної випадковим чином впливають перешкоди, кожен досвід плану реалізується кілька разів, отримуючи *m* паралельних значень відгуків. Щоб уникнути випадкового зв'язку між реалізаціями кожного експерименту або серії експериментів, досліди рандомізують у часі, призначаючи випадкову послідовність реалізації дослідів плану експерименту.

Коефіцієнти полінома обчислюються за формулами [11; 12]:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_0 I_1}{n} ; \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_1 I_1}{n} . \tag{5}$$

У задачах апроксимації математична модель повинна адекватно описувати об'єкт в області факторного простору і тому може бути нелінійною [11]. План повного факторного експерименту дозволяє досить просто розрахувати коефіцієнти при взаємодіях факторів і, якщо вони значимі, використовувати отриману модель для інтерполяційних цілей. З іншого боку, значимість коефіцієнтів парних і більш високих порядків взаємодії факторів відразу ж дає можливість зробити висновок про неадекватність лінійної моделі.

Для знаходження коефіцієнтів парних ефектів плану ПФЕ доповнюють стовпцями – добутком стовпців взаємодіючих факторів. Урахування ефектів взаємодії відбувається автоматично в програмі по визначенню рівнянь регресії.

Таблиця 2

Матриця планування повного факторного 2³ експерименту з оцінки впливу рівнів ремонтно-обслуговуючих факторів на час відновлення АТ

№ з/П	x _{p0}	x _{p1}	x _{p2}	x _{p3}	x _{p1} x _{p2}	x _{p1} x _{p3}	x _{p2} x _{p3}	x _{p1} x _{p2} x _{p3}	Час t _г відновлення АТ, хв.			
									y ₁	y ₂	y ₃	y _{сеп}
1	+	-	-	-	+	+	+	-	79	93	83	85
2	+	+	-	-	-	-	+	+	74	69	76	73
3	+	-	+	-	-	+	-	+	60	61	65	62
4	+	+	+	-	+	-	-	-	55	54	62	57
5	+	-	-	+	+	-	-	+	47	53	53	51
6	+	+	-	+	-	+	-	-	40	45	44	43
7	+	-	+	+	-	-	+	-	42	37	41	40
8	+	+	+	+	+	+	+	+	30	35	40	35

Коефіцієнти b_{ij} розраховується за формулою [11]:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} I_u \quad (i \neq j). \quad (6)$$

Оскільки властивість ортогональності матриці планування при додаванні до неї стовпців x_j не змінюється, отримуємо математичну модель виду [11]:

$$I = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i x_j. \quad (7)$$

Знайдені за формулами (5), (6) коефіцієнти при незалежних змінних і ефекти парної взаємодії підставляємо в рівняння (7), отримуючи шукані поліноми часу відновлення в умовах виробничої бази автомобільного парку для КраЗ-5233Н2:

$$t_B = 55,75 - 3,75x_{p1} - 7,25x_{p2} - 13,5x_{p3} + 1,25x_{p1}x_{p2} + 0,5x_{p1}x_{p3} + 2,5x_{p2}x_{p3} - 0,5x_{p1}x_{p2}x_{p3}. \quad (8)$$

Числові значення коефіцієнтів при змінних говорять про силу впливу факторів на відгуки. Чим більше чисельна величина коефіцієнта, тим більший вплив робить фактор. Якщо коефіцієнт має знак плюс, то зі збільшенням значення фактора відгук збільшується, а при знаку мінус, відповідно, зменшується. Величина коефіцієнта відповідає внеску такого фактора на величину відгуку при переході фактора з нульового рівня на верхній або нижній. Знак плюс коефіцієнта парної взаємодії факторів вказує на те, що для зменшення відгуку фактори повинні одночасно змінюватися в різних напрямках.

Проведемо статистичний аналіз отриманого рівняння регресії.

Однорідність дисперсії перевіряється по розрахунковим значенням критерію Кохрена [11]:

$$G_p = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^m S_u^2}, \quad (9)$$

де $S_{u \max}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (I_{uk} - \bar{I}_u)^2$ – максимальна з розрахованих построчних дисперсій;

$\sum_{u=1}^m S_u^2$ – сума всіх дисперсій по N рядках матриці планування;

m – число паралельних дослідів.

У разі виконанні умови $G_p < G_m$ гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Оцінку значущості коефіцієнтів здійснюється за критерієм Стюдента [11]:

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{s_{b_i}^2}, \quad (10)$$

де $s_{b_i}^2 = \frac{s_0^2}{N}$ – дисперсія коефіцієнтів регресії;
 $|b_i|$ – абсолютне значення i -го коефіцієнта регресії, за умови:

$$t_{ip} > t_m, \quad (11)$$

де t_m – табличне значення Стюдента для числа ступенів свободи $f_0 = N(m-1)$ і рівня значущості q .

За результатами статистичного аналізу, коефіцієнти при x_{p3} не значущі, тобто умова (11) не виконується. Тому цей фактор виключаємо з рівнянь регресії. При цьому рівняння регресії (8) набуває вигляду:

$$t_B = 55,75 - 3,75x_{p1} - 7,25x_{p2} - 13,5x_{p3} + 1,25x_{p1}x_{p2} + 2,5x_{p2}x_{p3} - 0,5x_{p1}x_{p2}x_{p3}. \quad (12)$$

Адекватність лінійних рівнянь регресії, які використовуються для вирішення практичних завдань, перевіряється, при цьому оцінюється таке відношення:

$$F_p = \frac{s_{\epsilon/B}^2}{s_0^2}, \quad (13)$$

за критерієм Фішера:

$$F_p < F_m, \quad (14)$$

де $s_{\epsilon/B}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{u=1}^N (\bar{I}_u - \tilde{I}_u)^2$ – розсіювання середніх дослідних значень відгуків відносно значень відгуків, передбачених отриманим лінійним рівнянням регресії;

m – число паралельних дослідів;

l – число членів в рівнянні регресії, що залишилися після оцінки значущості.

Виходячи з умови (14), рівняння регресії визнаються адекватними.

Надалі для оцінки роботи системи застосовується рівняння регресії (12).

Аналізуючи результати обробки даних повного факторного експерименту по визначенню часу відновлення в умовах виробничої бази можна зробити висновки:

– при порівнянні ремонтно-обслуговуючих факторів і їх взаємодії, не значущою виявилася взаємодія $x_{p1}x_{p3}$, тобто наявність технічної документації на проведення обслуговування і ремонту та кваліфікація фахівців;

– для автомобілів КраЗ-5233Н2 коефіцієнти в порядку зростання мають значення $x_{p1}x_{p2}x_{p3}=0,5$, $x_{p2}x_{p3}=2,5$, $x_{p1}x_{p2}=1,25$, $x_{p1}=3,75$, $x_{p2}=7,25$, $x_{p3}=13,5$, тобто найбільш впливовим коефіцієнтом виявився $x_{p3}=13,5$ – кваліфікація фахівців, а найменш впливовим серед значущих сполучення коефіцієнтів $x_{p1}x_{p2}x_{p3}=0,5$ – наявність технічної документації, оснащення необхідним обладнанням, кваліфікація фахівців.

Вплив значень ремонтно-обслуговуючих факторів на відгук t_B розглянемо при фіксації їх на нижньому, верхньому і проміжних рівнях, які представлені в таблиці 3.

Вплив значень ремонтно-обслуговуючих факторів на відгук при фіксації на нижньому, верхньому і проміжних рівнях

№ з/п	x_{p0}	x_{p1}	x_{p2}	x_{p3}	$x_{p1} x_{p2}$	$x_{p1} x_{p3}$	$x_{p2} x_{p3}$	$x_{p1} x_{p2} x_{p3}$	Час відновлення t_e
1	+	-	-	-	+	+	+	-	77,00
2	+	+	-	-	-	-	+	+	73,5
3	+	-	+	-	-	+	-	+	61,5
4	+	+	+	-	+	-	-	-	57,5
5	+	-	-	+	+	-	-	+	51,5
6	+	+	-	+	-	+	-	-	42,5
7	+	-	+	+	-	-	+	-	40,5
8	+	+	+	+	+	+	+	+	34,5

Як можна побачити (табл. 3), найменше значення відгуку t_e досягається при верхньому рівні всіх коефіцієнтів (+1), а найбільше, відповідно, при нижньому значенні всіх рівнів (-1). Це означає, що на автомобілі КрАЗ-5233Н2 заміна підшипника маточини колеса відбувається приблизно за 34 хвилини при наявності технічної документації на проведення обслуговування і ремонту x_{p1} , необхідного обладнання x_{p2} та кваліфікованих фахівців x_{p3} . При нижніх значеннях таких коефіцієнтів (-1), час на відновлення такої відмови зростає до 77 хвилин і більше. У проміжних значеннях при різних варіантах взаємодії таких коефіцієнтів t_e приймає проміжні значення між максимальним і мінімальним.

Таким чином, для прогнозування та скорочення часу відновлення необхідно більше приділяти уваги рівню найбільш значних факторів в кожному рівнянні регресії.

Висновки. Для проведення обслуговування і ремонту автомобільної техніки необхідно враховувати найбільш впливові фактори та їх взаємодію з метою зменшення середнього часу

відновлення в умовах виробничої бази автомобільних парків.

Отримана регресійна залежність показує не тільки характер впливу факторів на відгук, а й показує чисельні значення можливого часу відновлення в залежності від умов, в яких вони проводяться. Це дозволяє якісніше організувати роботу, впливати на час її проведення і характеристики готовності автомобільної техніки на різних рівнях.

Так, при необхідності зменшення середнього часу відновлення з 77 хвилин до 41 хвилин при заміні підшипника маточини переднього правого колеса автомобіля КрАЗ-5322Н2 в умовах виробничої бази необхідно забезпечити роботи на рівнях:

- наявність технічної документації на проведення ТО і Р – min;
- оснащеність необхідним обладнанням – max;
- кваліфікація фахівців – max.

Отриману регресійну залежність можна використовувати для розробки алгоритмів визначення можливого часу проведення профілактичних впливів з урахуванням ремонтно-обслуговуючих факторів.

Список літератури:

1. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навчальний посібник / Є.Ю. Форнальчик., М.С. Оліскевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо ; за загальною ред. Є.Ю. Форнальчика. Львів : Афіша, 2004. 492 с.
2. Коробкін В.Ф. Технічна експлуатація автомобілів. Краматорськ : Донбаська нац. академія будівництва і архітектури, 2010. 411 с.
3. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
4. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин : підручник. Київ : Либідь, 2003. 424 с.
5. Іванушко О.М., Сахно В.П. До аналізу методів визначення періодичності виконання технічних впливів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2017. № 3. С. 53–65.
6. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьковском университете, 1984. 312 с.
7. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.
8. Ковтун А.В., Іванченко А.О., Табуненко В.О. Обґрунтування залежності для визначення комплексного показника боєготовності військової техніки. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. 2014. Вип. 1. С. 63–66.

9. Иванченко А.О., Шаповал О.М., Бойков І.В. Визначення комплексного показника боєготовності військової техніки з урахуванням коефіцієнту оперативності. *Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал*. 2018. № 1. С. 109–115.

10. Ковтун А.В., Табуненко В.О., Радченко І.О. Один із підходів до комплексного оцінювання надійності автомобільної техніки військової частини. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2016. Вып. 75. С. 169–173.

11. Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем : учебное пособие. Днепропетровск : ООО Независимая издательская организация «Дива», 2008. 248 с.

12. Белый И.В., Власов К.П., Клепиков В.Б. Основы научных исследований и технического творчества. Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьковском университете, 1989. 200 с.

13. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах. Харьков : Око, 2001. 319 с.

14. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. Київ : Вища школа, 1980. 264 с.

Ivanchenko O.V., Boikov I.V. RESEARCH OF THE INFLUENCE OF REPAIR AND MAINTENANCE FACTORS ON THE MIDDLE TIME OF RESTORATION OF VEHICLES

The materials of the article consider the reliability of automotive equipment using a single indicator of the average recovery time. Existing methods for assessing the level of technical readiness and methods for determining the average recovery time do not take into account the variety of factors that affect the actual technical condition of automotive equipment. Downtime affects the readiness to use the car for its intended purpose, which must be taken into account when determining the actual technical condition of automotive equipment and residual life.

Determining the recovery time is an urgent task, and will allow a more complete assessment of the technical condition of automotive equipment and influence the implementation of the production program of the enterprise.

The analysis of researches on an estimation of a technical condition of Automobile Park is carried out in work, classification of the most widespread failures of automobile equipment is given, and the possible way of definition of average time of restoration of elements of automobile equipment depending on influence of repair and service factors is considered. The regression dependence of the average recovery time on the influence of repair and maintenance factors at different levels of variation is proposed. The statistical analysis of the obtained regression equation is carried out, namely the homogeneity of the variance according to the calculated values by the Cochran test, the significance of the coefficients is estimated by the Student's test, the adequacy of linear regression equations used to solve practical problems is checked by Fisher's test. The results of data processing of the full factorial experiment to determine the recovery time in the production base are analyzed and conclusions are made.

Key words: *technical condition, failure, average recovery time, experiment, factor, planning matrix, polynomial, approximation.*

Козьмініх М.А.

Національний університет «Одеська морська академія»

Василець Д.І.

Національний університет «Одеська морська академія»

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ПОВІТРООХОЛДЖУВАЧІВ СУДНОВИХ ХОЛОДИЛЬНИХ УСТАНОВОК

У сучасних умовах розвиток транспортних холодильних установок, зокрема холодильного обладнання, що використовується на морських судах, під час вирішення питання підвищення їх ефективності потребує комплексного підходу. З одного боку, необхідно забезпечити ефективне охолодження та підтримання заданих умов в об'єкті, будь то рефрижераторний трюм, контейнер чи система комфортного кондиціонування повітря, при можливих найкращих масово-габаритних характеристиках холодильного обладнання, з іншого – отримати характеристики оптимального режиму роботи обладнання та пристроїв із метою мінімізації експлуатаційних енерговитрат. Водночас потрібно дотримуватися екологічних умов щодо впливу на озоновий шар атмосфери та чинники глобального потепління.

У статті розглянуті та обґрунтовані можливі варіанти оптимізації експлуатаційних режимів та обрання конструкції повітроохолоджувачів, що входять до складу більшості сучасних транспортних холодильних установок.

Як базовий показник визначена мінімізація витрат на виробку холоду.

Пропонується досягнути зниження енерговитрат шляхом впливу на об'ємну витрату повітря та коефіцієнт теплопередачі в повітроохолоджувачі.

Як параметр для оцінки режиму роботи обрана швидкість повітря в живому перетині повітроохолоджувача та проаналізований взаємовплив швидкості повітря і коефіцієнту теплопередачі для різних типів теплообмінних поверхонь.

За умови вибору в якості параметра управління швидкості повітря пропонується розглядати коефіцієнт тепловіддачі від повітря до теплообмінної поверхні як функцію багатьох дискретно обраних значень швидкості повітря, що дозволяє визначити екстремум функції, її максимум та виконання оптимальних умов, а саме – мінімально можливе значення співвідношення сумарних експлуатаційних витрат до холодопродуктивності.

Для визначення оптимальних значень швидкості повітря пропонується графоаналітичний метод, що базується на розгляді функціональної залежності собівартості виробки холоду від швидкості повітря повітроохолоджувачі.

Наведені значення коефіцієнтів тепловіддачі від повітря до теплообмінної поверхні, швидкостей повітря та необхідної потужності електровентиляторів відповідних оптимальним режимам для типових теплообмінних поверхонь.

Пропонується використання вентиляторів із безколекторними електронно-комутованими з двигунами з метою спрощення регулювання швидкості повітря.

Ключові слова: *холодильна установка, енергоспоживання, повітроохолоджувач, оптимізація, швидкість повітря, теплопередача.*

Постановка проблеми. Сьогодні енерговитрати при експлуатації суднового холодильного обладнання набувають достатньо вагомого значення в складі загальних енерговитрат, що необхідні в умовах морського судна. Особливо ця проблема відчувається для сучасних великих суден контейнеровозів, деякі з них можуть перевозити до 2000 рефрижераторних контейнерів водночас. Загальна потреба однієї холодильної установки, що

обслуговує один такий контейнер під час його знаходження на борту судна, сягає приблизно 5–7 кВт. Для систем комфортного кондиціонування повітря морських транспортних суден, за умови їх роботи в піковому режимі, потреба в електроенергії складає 70–120 кВт, а для пасажирських круїзних лайнерів може сягати кількох тисяч.

Головними споживачами енергії у складі холодильної установки є холодильні компресори, венти-

лятори повітроохолоджувачів та вентилятори повітряних конденсаторів, за умови їх застосування.

У суднових холодильних установках, включаючи установки рефрижераторних контейнерів, поширені повітроохолоджувачі з секцій оребрених труб з різним типом оребрення [1; 2], що обумовлено достатньо добрими масо-габаритними характеристиками, порівняльно низькою ємністю по холодильному агенту, можливістю ефективного рішення задачі автоматизації, особливо за умови використання електронних регулюючих вентилів та сучасних безколекторних електронних комутованих електродвигунів [5].

Виклад основного матеріалу. Для більшості повітроохолоджувачів, що експлуатуються в складі суднових холодильних установок, потужність електродвигунів вентиляторів сягає 20–25% від загальної потужності необхідної для забезпечення працездатності холодильного обладнання. У зв'язку із цим зниження енерговитрат під час експлуатації повітроохолоджувачів має неабияку актуальність.

Одним з основних напрямків рішення цієї проблеми є визначення оптимального режиму роботи повітроохолоджувача. При цьому необхідно забезпечити інтенсифікацію теплопереносу від повітря до охолоджуючої робочої речовини та мінімізацію можливих витрат, що може бути досягнуто за рахунок оптимізації швидкості повітря в живому перетині повітроохолоджувача.

Таким чином, фактично необхідно вирішити задачу мінімізації значення собівартості виробництва холоду.

$$S = C/Q_0,$$

де C – витрати на охолодження повітря; Q_0 – холодопродуктивність повітроохолоджувача.

Загальні витрати на охолодження повітря залежать від витрат енергії та експлуатаційних витрат, пов'язаних з обслуговуванням та ремонтом системи та амортизаційних відрахувань. Останні два фактори фактично не залежать від режиму роботи системи охолодження.

Енерговитрати на охолодження повітря можуть бути визначені потужністю електродвигуна вентилятора відповідно до залежності:

$$N_e = [V_{II}(\Delta P_{no} + \Delta P_e)]/\eta_e, \quad (1)$$

де V_{II} – об'ємна витрата повітря в системі охолодження, м³/с;

ΔP_{no} – аеродинамічний опір повітроохолоджувача, Па;

ΔP_e – динамічний напір, Па;

η_e – ККД вентилятора.

Зниження енерговитрат, при фіксованій холодопродуктивності та застосованій в системі охолодження конструкції повітроохолоджувача, можливо шляхом впливу на об'ємну витрату повітря та коефіцієнт теплопередачі робочої поверхні повітроохолоджувача, оскільки інші параметри безпосередньо пов'язані або залежать від конструктивних особливостей обладнання системи охолодження.

Параметром, що дозволить отримати загальну оцінку режиму роботи вентилятора повітроохолоджувача, є швидкість повітря в живому перетині апарату, яка, в свою чергу, впливає на значення коефіцієнту теплопередачі.

Таким чином, проаналізувавши взаємовплив швидкості повітря та коефіцієнту теплопередачі та визначивши їх оптимальне співвідношення з точки зору витраченої енергії, стає можливим визначення оптимальних режимів роботи для повітроохолоджувача та його вентилятора.

З урахуванням утворення інею на робочій поверхні повітроохолоджувача при визначенні коефіцієнту теплопередачі можливо використати залежність:

$$k = [(1/\alpha_3 \zeta E_p) + (\delta_{in}/\lambda_{in}) + (\beta' \beta_{in}/\alpha_{vn})]^{-1}, \quad (2)$$

де α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до теплообмінної поверхні, Вт/м²К;

ζ – коефіцієнт вологовипадіння;

E_p – коефіцієнт, що характеризує ефективність оребреної поверхні повітроохолоджувача;

δ_{in} – товщина шару інею, м;

λ_{in} – коефіцієнт теплопровідності інею, Вт/м²;

β' – геометричний ступень оребрення;

β_{in} – додатковий ступень оребрення інеєм;

α_{vn} – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні до холодоносія або холодильного агента, Вт/м²К.

Для визначення параметрів, що фігурують у формулі (2), можливо використання поширених залежностей наведених в літературі [3; 4].

Аналіз процесів, що мають місце під час охолодження повітря в повітроохолоджувачах холодильних установок, дозволяє зробити висновок, що збільшення k , тобто інтенсифікація процесу відтоку тепла від повітря, супроводжується найвищим ефектом за рахунок збільшення α_3 . Зростання останнього під час охолодження повітря досягається при фіксованій конструкції за рахунок збільшення швидкості повітря при проходженні скрізь живий перетин повітроохолоджувача.

Із достатнім ступенем імовірності залежність $\alpha_3 = f(w_n)$ для поширених в повітроохолоджувачах теплообмінних поверхонь відповідає аналітичному виразу:

$$\alpha_3 = 0,85\psi w_n^a (\lambda_n / \nu_n) \quad (3)$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості поверхні теплообміну; w_n швидкість повітря, м/с; λ_n – коефіцієнт теплопровідності повітря Вт/м²К; ν_n – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м²/с;

a – показник ступеню, що враховує тип компонування теплообмінної поверхні повітроохолоджувача (0.72 – при коридорному розташуванні труб, 0.65 – при шаховому розташуванні).

У свою чергу, коефіцієнт ψ можливо визначити як:

$$\psi' = C[(d+2\delta_{in})/(b-2\delta_{in})] (b-2\delta_{in})^a, \quad (4)$$

де $C = 0.205$ при шаховому розташуванні труб, $C = 0.096$ при коридорному розташуванні; d – діаметр труб повітроохолоджувача, м; b – відстань між сусідніми ребрами, м.

Якщо не враховувати вплив інею на інтенсивність теплообміну відповідно до наявних рекомендацій [2] коефіцієнт тепловіддачі від повітря до теплообмінної поверхні можливо визначити таким чином:

$$\alpha_3 = (C\lambda_n/d_{екв})(w_n d_{екв}/\nu_n)^m (L/d_{екв})^n, \quad (5)$$

де L – довжина межреберного каналу, м; $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр живого перетину повітроохолоджувача, м; ν_n – кінематична в'язкість повітря, м²/с

$$d_{екв} = [2(z_{тр} - d_3)(z_p - \delta_p)] / [(z_{тр} - d_3) + (z_p - \delta_p)], \quad (6)$$

де $z_{тр}$ – крок трубок в повітроохолоджувачі, м; d_3 – зовнішній діаметр трубок, м; z_p – крок оребрення, м; δ_p – товщина ребер, м.

Показники ступеню n та m можуть бути визначені за такими емпіричними залежностями:

$$n = 0.45 + 0.066(L/d_{екв}),$$

$$m = -0.28 + 8R_e \cdot 10^{-5},$$

де R_e – критерій Рейнольдса, що враховує швидкість повітря, та конфігурацію теплообмінної поверхні.

Значення константи C залежить від співвідношення $L/d_{екв}$ та швидкості повітря та може бути визначено за відомими залежностями [2].

Для аналізу процесів теплообміну були обрані повітроохолоджувачі з такими характеристиками: $d_3 = 10$ та 12 мм, $z_{тр} = 4, 5$ та 7 мм, $\delta_p = 1$ мм.

Графічні залежності $\alpha_3 = f(w_n)$, побудовані на базі формули (5), наведені на рис. 1.

Якщо в якості параметра управління обрати швидкість повітря, можливо розглянути α_3 як функцію дискретно обраних значень швидкості повітря:

$$\alpha_3 = f(w_{n1}, w_{n2}, \dots, w_{ni}, \dots, w_{nm}), \quad (7)$$

де $w_{n1}, w_{n2}, w_{ni}, w_{nm}$ – різні швидкості повітря м/с.

Функція багатой кількості змінних (7) буде мати екстремуми за умови:

$$d\alpha_3 = 0, \quad (8)$$

та максимум при

$$d^2\alpha_3 < 0 \quad (9)$$

Повну похідну функції можливо визначити як:

$$d\alpha_3 = \sum_{i=1}^n \frac{\partial \alpha_{3i}}{\partial w_{ni}} dw_{ni} = 0$$

За фізичним змістом прирощення w_n не може дорівнювати 0. Таким чином, для визначення екстремуму необхідно виконання умов:

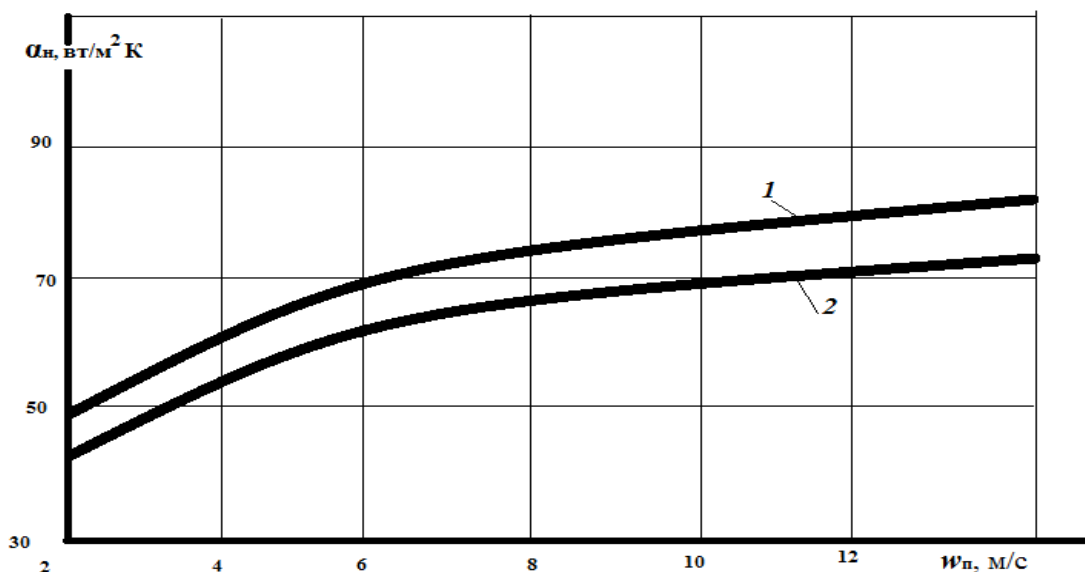


Рис. 1. Графічні залежності коефіцієнту тепловіддачі від повітря до теплообмінної поверхні від швидкості повітря: 1- $L/d_{екв} = 5$, 2- $L/d_{екв} = 10$

$$\partial \alpha_{31} / \partial w_{n1} = 0, \partial \alpha_{32} / \partial w_{n2} = 0 \dots, \partial \alpha_{3i} / \partial w_{ni} = 0, \dots, \partial \alpha_{3n} / \partial w_{nn} = 0.$$

При різних конструктивних характеристиках прохідного перетину повітроохолоджувачів крапки екстремумів функції $\alpha_3 = f(w_n)$ не будуть співпадати, але розгляд характеристик, наведених на рис. 1, дозволяє зробити висновок, що розбіг між ними не буде перевищувати 10%.

Для виконання умови (8) необхідно та достатньо отримати рівність

$$\Theta_1 = \Theta_2 = \dots = \Theta_i = \dots = \Theta_n, \quad (10)$$

де

$$\Theta_i = \alpha_{3i} + w_{ni} \frac{\partial \alpha_{3i}}{\partial w_{ni}} \quad (11)$$

У даному випадку «i» визначає конкретну конфігурацію прохідного перетину повітроохолоджувача.

Залежність (11) дозволяє визначити екстремум функції багатьох змінних. Маючи визначені залежності $\alpha_{3i} = f(w_{ni})$ для різних геометричних характеристик, можливо визначити значення Θ_i та побудувати функції $\Theta = f(w_{ni})$ та знайти умови, що задовольняють рівність (10), тобто визначити швидкість повітря для наявної геометрії прохідного перетину повітроохолоджувача. При цьому виконується умова (8). Для виконання оптимальної умови достатньою стає умова (9). Оскільки умова (9) є залежністю у квадратичній формі, необхідно виконання умови:

$$\partial \Theta_i / \partial w_{ni} < 0, \quad (12)$$

що не складно визначити з залежностей $\Theta_i = f(w_{ni})$.

Запропонована методика може бути використана під час вибору конструкції теплообмінних апаратів, зокрема повітроохолоджувачів, за умови завдання можливого діапазону зміни швидкості повітря та при рішенні зворотної задачі – визначення швидкості холодоносія в повітроохолоджувачах, залежно від його конструктивних характеристик, з урахуванням можливих змін аеродинамічного опору.

Якщо необхідно вирішити задачу мінімізації поточних витрат на одержання холоду, слід розглянути можливість мінімізації функції

$$\varphi_e = \Sigma C / \Sigma Q_0 \quad (13)$$

Припускаючи, що зміна поточних витрат зумовлюється, поперед усім, кількістю енергії, що споживає електричний вентилятор повітроохолоджувача, а зміна холодопродуктивності зумовлена зміною коефіцієнта тепловіддачі від повітря до теплообмінної поверхні, можливо спростити функцію (2) до вигляду

$$\varphi_e = \Sigma N_e / \Sigma \alpha_3 \quad (14)$$

Параметри N_e та α_3 залежать від швидкості повітря, що було обґрунтовано вище.

Для визначення оптимального значення швидкості повітря найбільш простим шляхом є розгляд геометричної інтерпретації функції $\varphi_e(w_n)$.

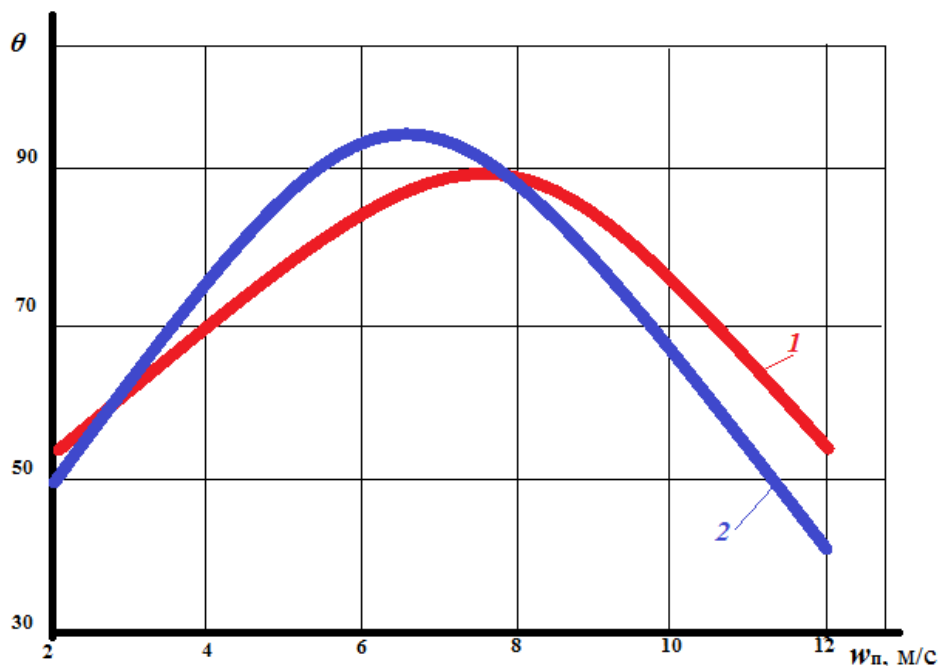


Рис. 2. Графічні залежності показника Θ від швидкості повітря:
1 - $\alpha/d_{екв} = 5$; 2 - $L/d_{екв} = 10$

На рис. 3 наведено графічне рішення для типового випадку повітроохолоджувача суднової системи комфортного кондиціонування повітря, яка забезпечує холодопродуктивність від 60 до 80 кВт для двох конструктивних типів трубчасто-пластинчастого оребрення.

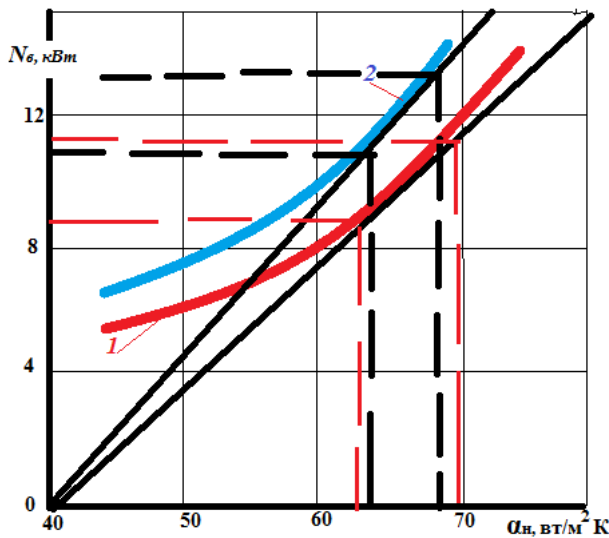


Рис. 3. Геометрична інтерпретація функції $\varphi_e(w_n)$ при $L/d_{екв} = 5(1)$ та при $L/d_{екв} = 10(2)$

Застосовуючи запропоновану методику при визначенні оптимальної швидкості повітря в живому перетині повітроохолоджувача, потрібно отримати залежності $\alpha_n = f(N_g)$ для обраних характеристик повітроохолоджувача. Потужність, що споживається вентилятором, визначається з його характеристики або по розрахунковій залежності

$$N_g = V_n H_g k_g / \eta_g \eta_{ев},$$

де V_n – масова витрата повітря, m^3/c ;

H_g – напір, що забезпечує вентилятор при заданому режимі, Па;

k_g – коефіцієнт запасу потужності електродвигуна вентилятору;

η_g – ККД вентилятору;

$\eta_{ев}$ – ККД електродвигуна.

Для розглянутих в якості приклада типів повітроохолоджувачів оптимальні режими можливо забезпечити при наступних значеннях характерних параметрів α_n та N_g для $L/d_{екв} = 5$, $\alpha_n = 60 \div 70$ Вт/(m^3K), $N_g \approx 9,0 \div 12$ кВт, що відповідає швидкості

повітря $4 \div 6$ м/с; для $L/d_{екв} = 10$, $\alpha_n = 55 \div 65$ Вт/(m^3K); $N_g \approx 9,5 \div 13$ кВт, що відповідає швидкості повітря $5 \div 7$ м/с.

Водночас із визначенням оптимальної швидкості повітря можливо розглянути вибір типу застосованого вентилятору.

Для найбільш поширених у суднових системах комфортного кондиціонування повітря потужність електродвигунів вентиляторів центральних кондиціонерів складає $10 \div 12$ кВт, однак можливість застосування безколекторних електронно-комутованих двигунів (Electronically Commutated) дозволяє знизити необхідні витрати енергії майже на 50% [5].

Ураховуючи, що регулювання подачі повітря для вентиляторів з такими двигунами значно спрощується, застосування їх стає доцільним та обґрунтованим не тільки в суднових системах кондиціонування, але й в повітроохолоджувачах рефрижераторних контейнерів та провізійних камер.

Висновки. Одним із доцільних напрямків зниження енерговитрат під час експлуатації систем охолодження, в яких використовується прилади охолодження з примусовою циркуляцією повітря, є визначення оптимального режиму роботи повітроохолоджувача.

Забезпечення оптимального режиму може бути досягнуто шляхом впливу на об'ємну витрату повітря та коефіцієнт теплопередачі теплообмінної поверхні повітроохолоджувача.

Під час вибору як параметр управління, швидкості повітря в робочому перетині повітроохолоджувача виникає можливість розгляду інтенсивності теплообміну у вигляді функції багатьох дискретно обраних змінних, що дозволяє визначити її екстремум та максимум, що дозволить визначити оптимальні умови.

Методика визначення оптимального режиму роботи повітроохолоджувача з використанням залежності $\varphi_e = f(w_n)$ дозволяє вирішити задачу сумісного вибору конструктивних характеристик теплообмінної поверхні повітроохолоджувачів та вентиляторів, що їх обслуговують на етапі проектування, а під час експлуатації – забезпечити мінімізацію енерговитрат. Застосування такого підходу забезпечить до 50% зниження енерговитрат на експлуатацію повітроохолоджувача.

Список літератури:

1. Галян І.С., Козьмініх М.А. Ольшамовський В.С. Аналіз ефективності застосування сучасних холодильних агентів в транспортних холодильних установках. *Суднові енергетичні установки: науково-технічний збірник*. Вип. 38. Одеса : НУ «ОМА», 2019. С. 61–75.
2. Загоруйко В.О., Голіков О.А. Суднова холодильна техніка. Київ : Наукова думка, 2000. 575 с.

3. Захаров Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильные машины. Санкт-Петербург : Судостроение, 1994. 503 с.
4. Кузьмин М.С. Энергосбережение при интенсификации теплообмена в системах кондиционирования зданий. «Academia, Архитектура и строительство». Вып. 2. 2015. С. 122–126.
5. Козьмініх М.А., Ольшамовський В.С. Удосконалення судових систем вентиляції та комфортного і технічного кондиціонування повітря. *Вчені записки таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського, серія: Технічні науки*. том 31(70) № 1. 2020. С. 131–134.

Kozminykh M.A., Vasylets D.I. DETERMINATION OF THE OPTIMAL MODE OF OPERATION AIR COOLERS FOR SHIP REFRIGERATION UNITS

In modern conditions, the development of transport refrigeration plants, in particular refrigeration equipment used on ships, in addressing the issue of improving their efficiency requires a comprehensive approach. On the one hand, it is necessary to ensure effective cooling and maintenance of specified conditions in the facility, whether refrigerated hold, container or comfortable air conditioning system, with the best possible mass and dimensions of refrigeration equipment, on the other – to obtain characteristics of optimal operation of equipment and devices. in order to minimize operational energy consumption.

At the same time, it is necessary to comply with environmental conditions regarding the impact on the ozone layer of the atmosphere and the factors of global warming.

The article considers and substantiates possible options for optimizing operating modes and choosing the design of air coolers, which are part of most modern transport refrigeration units.

Minimization of cold production costs is defined as a basic indicator.

It is proposed to achieve a reduction in energy consumption by influencing the volume flow of air and the heat transfer coefficient in the air cooler.

The air velocity in the living section of the air cooler was selected as a parameter for the evaluation of the operating mode and the interaction of air velocity and heat transfer coefficient for different types of heat exchange surfaces was analyzed.

From the condition of choice as a parameter of air velocity control, it is proposed to consider the heat transfer coefficient from air to the heat exchange surface as a function of many discretely selected values of air velocity, which allows to determine the extremum of the function, its maximum and fulfillment of optimal conditions costs for refrigeration capacity.

To determine the optimal values of air velocity, a graph-analytical method is proposed based on the consideration of the functional dependence of the cost of cold production on the air velocity of air coolers.

The values of heat transfer coefficients from air to the heat exchange surface, air velocities and the required power of electric fans corresponding to the optimal modes for typical heat exchange surfaces are given.

It is proposed to use fans with collectorless electronically commutated with motors in order to simplify the regulation of air speed.

Key words: refrigeration, power consumption, air cooler, optimization, air speed, heat transfer.

Прокудін Г.С.

Національний транспортний університет

Чупайленко О.А.

Національний транспортний університет

Прокудін О.Г.

Національний транспортний університет

Хоботня Т.Г.

Національний транспортний університет

Ремех І.О.

Національний транспортний університет

РОЗВ'ЯЗАННЯ МЕРЕЖЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАДАЧ У СЕРЕДОВИЩІ EXCEL

Науково-технічний прогрес у транспортній галузі є одним із головних факторів розвитку суспільства, підвищення добробуту його громадян. Стратегічним завданням науково-технічної політики в області транспортної системи держави є вихід на світовий рівень за технічними параметрами та якістю послуг, що реалізуються транспортом. У зв'язку з цим першочерговим і пріоритетним завданням для транспортної галузі є розширення наукових досліджень із проблем створення прогресивних транспортних технологій та технічних засобів нових поколінь, формування та функціонування ефективної транспортної системи, розроблення принципово нових систем управління з використанням сучасних інформаційних технологій.

Унаслідок аналізу розвитку наукової думки щодо проблемного питання, яке розглядається в роботі, з'ясовано, що наявні методи побудови оптимальних планів вантажних перевезень неповною мірою враховують пропускні здатності транспортних комунікацій, що впливають на результуючі показники функціонування системи перевезень у цілому. Тому в роботі розглянуто питання розв'язання мережеских транспортних задач у середовищі Excel двома методами – методом потоків у мережах (network flow problems) і методом Вагнера Ш.М.

Як об'єкт дослідження розглянуто процес здійснення вантажних перевезень, а предметом були методи побудови оптимальних планів перевезення вантажів. Проведені дослідження спрямовані на досягнення такої мети: знаходження ефективних методів побудови оптимальних планів вантажних перевезень. Для досягнення цієї мети в роботі передбачено вирішення таких завдань: визначити існуючі методи побудови оптимальних планів перевезень з урахуванням пропускних здатностей їх транспортних комунікацій; застосувати визначені методи побудови оптимальних планів перевезень з урахуванням пропускних здатностей їх транспортних комунікацій; провести аналіз існуючих методів побудови оптимальних планів перевезень з урахуванням пропускних здатностей їх транспортних комунікацій.

Ключові слова: мережева транспортна задача, оптимізація, вантажні перевезення, метод, пропускна здатність, середовище Excel.

Постановка проблеми. Транспорт є багатовекторною системою масового обслуговування, від ефективності функціонування якої у великій мірі залежить життєдіяльність усіх сфер народного господарства. Багатовекторність транспортних систем (далі – ТС) пов'язана зі значною розгалуженістю взаємопов'язаних транспортними мережами об'єктів постачання та споживання продукції народного господарства, що в більшості

випадків примушує розглядати й аналізувати ТС із застосуванням мережеских моделей.

Методи розв'язання мережеских транспортних задач (далі – ТЗ) ось вже майже останні 50 років займають уми вчених як у галузі дослідження операцій, так і в галузі рішення практичних задач планування перевезень вантажів різними видами транспорту: автомобільним, залізничним, морським та авіаційним, як окремо, так і у взаємодії цих видів транспорту.

За всієї багатогранності розгляду проблематики сітьових ТЗ щодо оптимізації процесів перевезень і значимості отриманих результатів необхідно признати, що більшість розроблених методів успішно застосовуються у вирішенні задач оптимізації перевезень і рішенні теоретичних та практичних задач лише в матричній постановці, коли заздалегідь є відомою матриця кореспонденцій за умови передчасного завдання пунктів відправки та прийому предмету перевезень (вантажів або пасажирів).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для зазначеного класу мережевих ТЗ розроблені досить досконалі методи їх розв'язання (Дейкстра, Канторович, Кожин, Бідняк, Воркут, Четверухін) [1, с. 57; 2, с. 312; 3, с. 345; 4, с. 188]. Але досить вагомим недоліком матричних методів оптимізації рішення ТЗ є те, що вони спроможні дати оптимальний план перевезень лише на транспортній мережі (ТМ) з орієнтованими графами, тобто за суворого дотримання прийнятих заздалегідь напрямків переміщення вантажів у транспортній мережі від джерел вантажів безпосередньо до їх споживачів. Саме це й зумовило значну обмеженість цих методів у розв'язанні задач перевезень у розгалужених мережах транспортних кореспонденцій, коли напрям та маршрути перевезень завчасно визначити просто неможливо, і послужило причиною розроблення нових і удосконалення існуючих методів оптимізації перевезень у розгалужених ТМ, орієнтованих на застосування сучасних інформаційних технологій.

У результаті проведених наукових досліджень та експериментальних перевірок був розроблений метод зведення сітьової ТЗ, яка задана у вигляді ТМ, до класичного матричного виду [5, с. 105]. Цей метод був розроблений після аналізу методів Дейкстри (визначення найкоротшого шляху між двома вершинами графа) і Флойда (визначення найкоротших шляхів між усіма вершинами графа). Він принципово по новому вирішує цю задачу і визначає найкоротші шляхи між усіма постачальниками і споживачами предмета перевезень, що повністю відповідає сутності постановки ТЗ.

Постановка завдання. Мета статті – дослідження, спрямовані на знаходження ефективних методів побудови оптимальних планів вантажних перевезень.

Як відомо з теорії [6, с. 301], граф $G(V,S)$ задається множиною V вузлів (позначених, наприклад, змінними x_1, x_2, \dots, x_n , де величина x_i є числом чи назвою) і множиною S дуг у вигляді впорядкованих пар (x_i, x_j) . Граф може бути орієнтованим,

якщо дуги мають напрямок, неорієнтованим чи змішаним.

Орієнтований граф називають мережею (*network*), де визначаються:

- вузол-джерело, що має тільки вихідні дуги (позначається буквою S , від *source* – джерело);
- вузол-стік, що має тільки вхідні дуги (позначається буквою t , від *terminal* – кінцевий пункт);
- всі інші вузли – проміжні (транзитні, позначаються буквою x), з'єднані між собою дугами, серед яких є як вхідні, так і вихідні дуги.

Орієнтовані дуги в мережі позначаються стрілками, неорієнтована дуга замінюється двома спрямованими назустріч стрілками або їх відсутністю. Дуга зі стрілкою і певним значенням відповідного параметру (це може бути: пропускна здатність, відстань між парою вузлів, вартість або час перевезення одиниці вантажу між вузлами тощо) визначає універсальне поняття – потік (*flow*), який рухається з початкового вузла дуги до кінцевого. Об'єктами потоків у практичних задачах є вантажі, газ, пасажирів, транспортні засоби, сигнали зв'язку, рідини тощо.

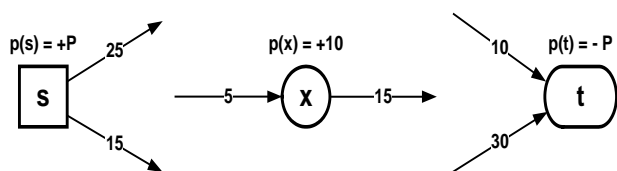
Більшість оптимізаційних задач на мережах – це задачі про потоки в мережах (*network flow problems*) [7, с. 123]. Для мережевих задач фундаментальним є *принцип збереження потоку* в будь-якому вузлі [8, с. 171], а саме: сума потоків $F_{\text{вих}}(x)$ на виході вузла дорівнює сумі потоків на його вході $F_{\text{вх}}(x) +$ потенціал $p(x)$ вузла (+ пропозиція / – попит) [9, с. 58], наприклад:

– вузол-джерело S : $F_{\text{вих}}(s) = 0 + p(s) = P$, де P – величина загального потоку в мережі; потенціал $p(s) = +P$;

– вузол-стік t : $F_{\text{вих}}(t) = P + p(t) = 0$, тому що потенціал $p(t) = -P$;

– проміжний вузол x : $F_{\text{вих}}(x) = F_{\text{вх}}(x) \pm p(x)$.

Нижче приводяться відповідні графічні приклади:



Потік у кожному вузлі мережі – це функція, яка задовольняє рівняння, і де кожній дузі (x_i, x_j) мережі поставлено одне чи кілька позитивних чисел. Наприклад, величина $C(x_i, x_j)$ в задачі про максимальний потік є пропускною здатністю дуги (максимальна кількість продукту, з вузла x_i до вузла x_j за одиницю часу) – це відстань чи вартість перевезення одиниці вантажу по цій дузі. Отже,

величина потоку по дузі (x_i, x_j) не перевищує пропускної здатності цієї дуги $C(x_i, x_j)$.

Розглянемо розв'язання задачі на транспортній мережі, що найбільш часто зустрічаються на практиці [10, с. 56; 11, с. 8], а саме мережеву транспортну задачу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Спочатку розглянемо метод потоків у мережах (*network flow problems*) оптимізації вантажних перевезень. ТМ на рис. 1 взята з електронного атласу України у вигляді зваженого графа з 8-ю вузлами і 24-ма дугами. Вона задана неорієнтованою мережею, де всі дуги неорієнтовані, що вдвічі збільшує розмір задачі, бо представляються вже не одною, а парою направлених назустріч друг другу дуг (Київ → Коростень, Коростень → Київ).

На транспортній мережі присутні три різновиди вузлів: пункти-постачальники вантажу (вони зображені у вигляді квадратів); пункти-споживачі цього вантажу (вони зображені у вигляді кіл); транзитні пункти (вони зображені у вигляді овалів).

Обсяги поставок (зі знаком +) і заявок вантажу (зі знаком -) проставлені поруч із кожним пунктом, а проставлена на кожній дузі дріб являє собою вартість перевезення одиниці вантажу (чисельник дробі) і пропускну здатність цієї дуги (знаменник дробі). Для спрощення сприйняття матеріалу значення вартості перевезення одиниці вантажу штучно отримані діленням відстані між відповідними транспортними вузлами на 100, а пропускну здатності дуг – діленням на 10 з наступним округленням до найближчого цілого.

Загальний обсяг пропозиції (поставок) у 40 одиниць деякого однорідного вантажу повністю дорівнює сумарному обсягу попиту (споживання), тобто ми маємо закриту транспортну задачу.

Необхідно знайти вектор $X = (x_1, x_2, \dots, x_{24})$, де x_i – об'єм перевезень i -ою дугою, такий, щоб загальні витрати (цільова функція) $C = \sum_{i=1}^{24} c_i x_i \rightarrow \min$, де c_i – питомі витрати для i -ої дуги за умови балансу потоків для кожного j -го вузла ($j = 1, 2, \dots, 8$): $F_{вих}(x_j) - F_{вх}(x_j) = p(x_j)$, де $F_{вих}(x_j)$, $F_{вх}(x_j)$ – сума потоків вантажу на виході та вході кожного j -го вузла з урахуванням пропускну здатностей дуг.

На рис. 2 представлено рішення мережевої транспортної задачі в середовищі додатка *Excel*, з якого видно, що оптимальний план перевезень становить вектор $X = (1, 14, 26, 0, 0, 14, 0, 26, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$, цільова функція дорівнює 226.

Маршрути оптимального плану перевезення вантажу на транспортній мережі показані на рис. 3.

Розглянемо знаходження оптимального плану перевезень вантажу на тій же самій транспортній мережі (див. рис. 1) методом Вагнера Ш.М. Спочатку в табл. 1 покажемо результати зведення вихідних даних транспортної мережі до матричної форми.

Для дуг тут відведені рядки, а для вершин – стовпці. Пропускну здатності кожної дуги, так само як і вартості перевезення одиниці вантажу на ній, беремо безпосередньо з рис. 1. Там, де на мережі немає безпосереднього зв'язку між вершинами, передбачається їх блокування свідомо більшим числом – у таблиці 1 це 9. Відсутність петель у кожного транспортного вузла моделюється нулем.

У нашому прикладі обсяги постачання дорівнюють пропускну здатності дуги, тобто $a_i = d_{ij}$. Обсяг споживання для виробляючих вершин (1, 2) мережі визначають за формулою:

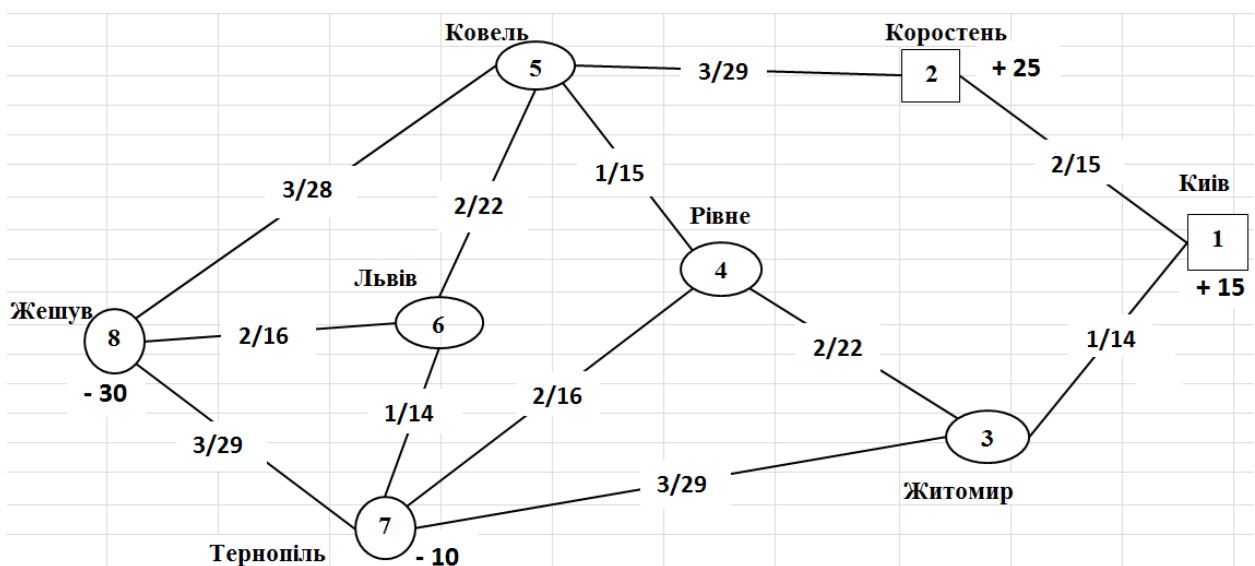


Рис. 1. Графічне представлення мережевої транспортної задачі

$$b_j = \sum_{j \neq i} d_{ij} - a(x), \quad (1)$$

для вершин, які споживають вантаж (7, 8) за формулою:

$$b_j = \sum_{j \neq i} d_{ij} + b(x), \quad (2)$$

для транзитних вершин (3, 4, 5, 6) за формулою:

$$b_j = \sum_{j \neq i} d_{ij}, \quad (3)$$

Таким чином, для виробляючої вершини 1 обсяг споживання дорівнює $14 + 15 - 15 = 14$, для споживаючої вершини $8 - 28 + 16 + 29 + 30 = 103$, а для транзитної вершини $6 - 22 + 16 + 14 = 52$.

На рис. 4 представлений результат розв'язання мережевої задачі в середовищі *Excel*, поданий у вигляді виділених знаком підкреслення значень. У клітинках з вартістю, рівною нулю (тобто для петель), потік є доповненням до пропускної здатності, тобто фіктивним. Його графічне зображення повністю збігається з оптимальним планом перевезень вантажу у вигляді потоків, який зображений на рис. 3.

Висновки. У роботі описується один із підходів до рішення найбільш характерної для транспортної мережі задачі знаходження оптимального плану перевезень вантажу в середовищі стандартного додатка *Microsoft Office* табличного процесора

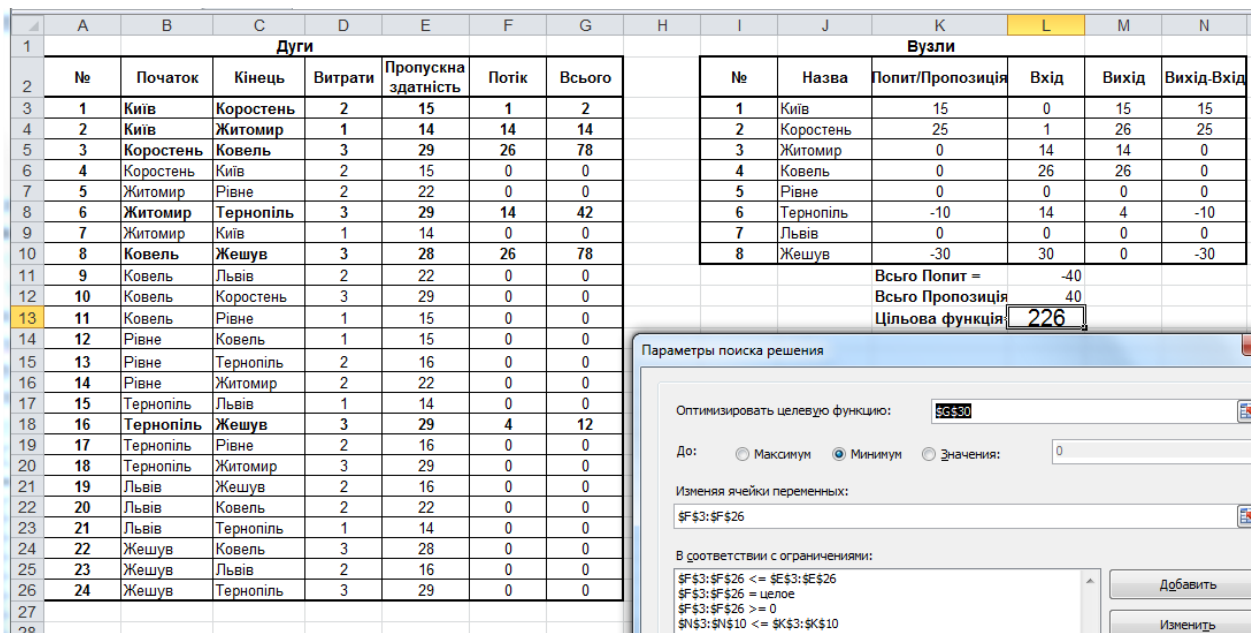


Рис. 2. Результат розв'язання мережевої транспортної задачі

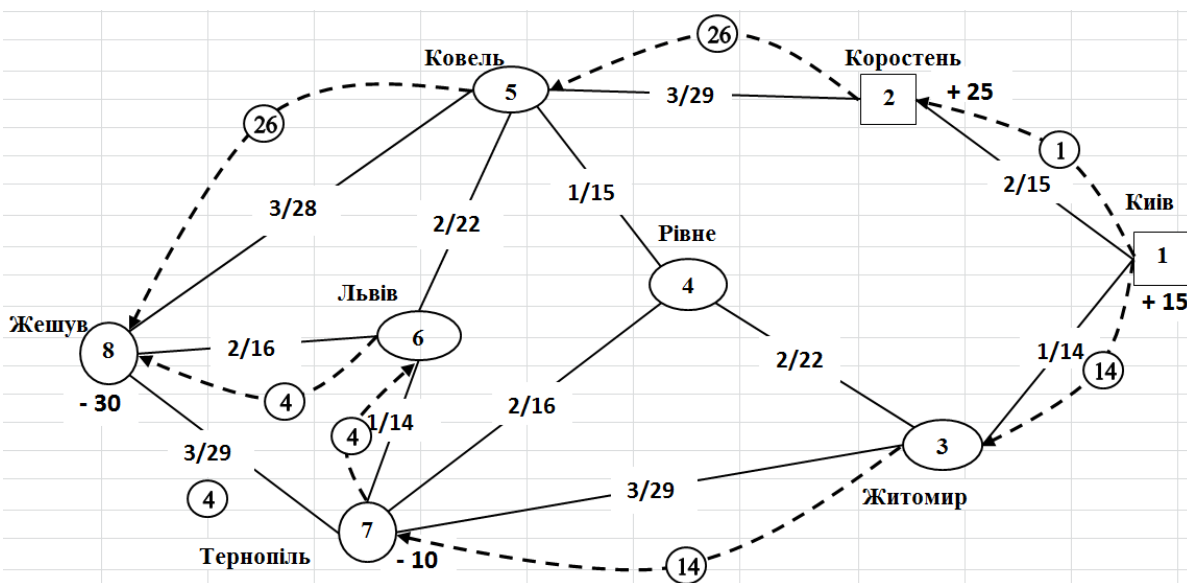


Рис. 3. Оптимальні потоки у мережевій транспортній задачі

Excel, заснований на фундаментальному принципі збереження потоку в будь-якому вузлу графа.

Однією з переваг цього підходу є його відносна простота і зручність роботи в табличному процесорі Excel. До основних недоліків описаного підходу варто віднести його обмеженість на кількість змінних (до 200) під час рішення задач середньої й великої розмірності. Зокрема, перший метод потоків у мережі (network flow problems) дозволяє знаходити оптимальний план перевезення вантажу

на ТМ, яка може мати до 100 транспортних комунікацій. У другого методу Вагнера Ш.М. обмеження на розмірність транспортної задачі задаються матрицею значень. Виходячи з цього максимальною кількістю транспортних комунікацій у цього методу буде 20 за 10-ти транспортних вузлів.

Незважаючи на це, описаний підхід може бути ефективно використаний у навчальному процесі під час розв'язання транспортних задач невеликої розмірності.

Таблиця 1

Зведення мережевої задачі до матричної форми методом Вагнера

Дуги	Пропускні здатності	1	2	3	4	5	6	7	8	Дуги	Пропускні здатності	1	2	3	4	5	6	7	8
1 - 2	15	0	2	9	9	9	9	9	9	4 - 7	16	9	9	9	0	9	9	2	9
2 - 1	15	2	0	9	9	9	9	9	9	7 - 4	16	9	9	9	2	9	9	0	9
1 - 3	14	0	9	1	9	9	9	9	9	5 - 6	22	9	9	9	9	0	2	9	9
3 - 1	14	1	9	0	9	9	9	9	9	6 - 5	22	9	9	9	9	2	0	9	9
2 - 5	29	9	0	9	9	3	9	9	9	5 - 8	28	9	9	9	9	0	9	9	3
5 - 2	29	9	3	9	9	0	9	9	9	8 - 5	28	9	9	9	9	3	9	9	0
3 - 4	22	9	9	0	2	9	9	9	9	6 - 7	14	9	9	9	9	9	0	1	9
4 - 3	22	9	9	2	0	9	9	9	9	7 - 6	14	9	9	9	9	9	1	0	9
3 - 7	29	9	9	0	9	9	9	3	9	6 - 8	16	9	9	9	9	9	0	9	2
7 - 3	29	9	9	3	9	9	9	0	9	8 - 6	16	9	9	9	9	9	2	9	0
4 - 5	15	9	9	9	0	1	9	9	9	7 - 8	29	9	9	9	9	9	9	0	3
5 - 4	15	9	9	9	1	0	9	9	9	8 - 7	29	9	9	9	9	9	9	3	0

Дуги	Пропускні здатності (обсяги виробництва)	Витрати на перевезення одиниці вантажу							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1 - 2	15	0	2	9	9	9	9	9	9
2 - 1	15	2	0	9	9	9	9	9	9
1 - 3	14	0	9	1	9	9	9	9	9
3 - 1	14	1	9	0	9	9	9	9	9
2 - 5	29	9	0	9	9	3	9	9	9
5 - 2	29	9	3	9	9	0	9	9	9
3 - 4	22	9	9	0	2	9	9	9	9
4 - 3	22	9	9	2	0	9	9	9	9
3 - 7	29	9	9	0	9	9	9	3	9
7 - 3	29	9	9	3	9	9	9	0	9
4 - 5	15	9	9	9	0	1	9	9	9
5 - 4	15	9	9	9	1	0	9	9	9
4 - 7	16	9	9	9	0	9	9	2	9
7 - 4	16	9	9	9	2	9	9	0	9
5 - 6	22	9	9	9	9	0	2	9	9
6 - 5	22	9	9	9	9	2	0	9	9
5 - 8	28	9	9	9	9	0	9	9	3
8 - 5	28	9	9	9	9	3	9	9	0
6 - 7	14	9	9	9	9	9	0	1	9
7 - 6	14	9	9	9	9	9	1	0	9
6 - 8	16	9	9	9	9	9	0	9	2
8 - 6	16	9	9	9	9	9	2	9	0
7 - 8	29	9	9	9	9	9	9	0	3
8 - 7	29	9	9	9	9	9	9	3	0
Усього		14	19	65	53	94	52	98	103
Споживання		14	19	65	53	94	52	98	103

Рис. 4. Розв'язання мережевої ТЗ з обмеженнями на пропускні здатності за допомогою Excel-таблиці

Список літератури:

1. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах. Київ : УТУ, 2000. 91 с.
2. Гудман С., Хидетниєми С. Введение в разработку и анализ алгоритмов. Москва : Мир, 1981. С. 309–320.
3. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ : Вища школа, 1986. 447 с.
4. Кожин А.П. Математические методы в планировании и управлении грузовыми автомобильными перевозками. Москва : Высшая школа, 1979. 304 с.
5. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Київ : НТУ, 2006. 224 с.
6. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Київ : ВІПОЛ, 2000. 688 с.
7. Кузьмичов А.І., Медведєв М.Г. Математичне програмування в Excel : навчальний посібник. Київ : Вид-во Європ. ун-ту, 2005. 320 с.
8. Orden A. Survey of research on mathematical solutions of programming problems. *Manag. Sci.* 1955. № 2. С. 170–172.
9. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. N. 6/3 (84). P. 54–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85211
10. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. №. 2/3 (92). P. 51–59. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.128907
11. Development of Vehicle Speed Forecasting Method for Intelligent Highway Transport System / G. Prokudin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. №. 4/3 (100). P. 6–14. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.174255

Prokudin G.S., Chupailenko O.A., Prokudin O.G., Khabotnia T.G., Remekh I.O.

SOLVING NETWORK TRANSPORT PROBLEMS IN THE EXCEL ENVIRONMENT

Scientific and technological progress in the field of transport is one of the main factors in the development of society, improving the welfare of its citizens. The strategic task of scientific and technical policy in the field of transport system of the state is to reach the world level in terms of technical parameters and quality of services provided by transport. In this regard, the primary and priority task for the transport industry is to expand research on the creation of advanced transport technologies and technical means of new generations, the formation and operation of an efficient transport system, development of fundamentally new management systems using modern information technology.

As a result of the analysis of the development of scientific opinion on the problem, which is considered in the work, it is found that the existing methods of building optimal plans of freight transport do not fully take into account the capacity of transport communications. Therefore, the paper considers the issue of solving network transport problems in Excel by two methods - the method of flows in networks (network flow problems) and the method of Wagner Sh. M.

The object of the study is the process of freight transportation, and the subject was the methods of building optimal plans for freight transportation. The conducted researches are directed on achievement of such purpose: finding of effective methods of construction of optimum plans of cargo transportations. To achieve this goal, the work provides for the solution of the following tasks: to determine the existing methods of building optimal transportation plans, taking into account the capacity of their transport communications; apply certain methods of constructing optimal transportation plans taking into account the capacity of their transport communications; to analyze the existing methods of building optimal transportation plans, taking into account the capacity of their transport communications.

Key words: *network transport problem, optimization, freight transportation, method, bandwidth, Excel environment.*

Рой М.П.

Національний транспортний університет

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ІНТЕГРОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

У статті досліджується проблема прийняття рішення транспортними компаніями стосовно горизонтальної кооперації з партнерами під час обслуговування заданої множини замовлень на автомобільні вантажні перевезення. Розглядаються унітарні замовлення, які мають бути виконані за одну поїздку. Підприємство може вибрати, або відхилити одне з n 'яти можливих рішень відносно оренди або найму автомобільних транспортних засобів, обміну інформацією, або самостійно виконати замовлення. Виконання замовлень власним і орендованим парком повинно при цьому здійснюватись у такій послідовності, за якої сумарні витрати інтегрованого транспортного процесу будуть мінімальними. Це означає, що тривалість непродуктивних простоїв вантажівок, а також тривалість незавантажених поїздок буде мінімізовано. Встановлено обмеження стосовно наявної чисельності парку вантажівок. Критерій прийняття сукупності рішень – максимальний сумарний прибуток, отриманий упродовж горизонту планування діяльності. Рішення, які приймаються перевізником, є суперечливими, тому задача має оптимізаційний характер. Запропоновано формалізацію у вигляді задачі математичного програмування. Оскільки серед обмежень на розв'язок є нелінійні вирази, то задача набуває вигляду нелінійної оптимізації. Змінні задачі є цілочисловими, які визначають спосіб виконання кожного із заданих замовлень: самостійно, власним чи орендованим транспортом або за допомогою партнерів. Для отримання гарантованого розв'язку задачі потрібно задатися крайовими умовами, які стосуються двох крайніх випадків: виконання всіх замовлень самостійно за призначення одного автомобіля на одне замовлення або віддача всіх замовлень партнерам. Методика оптимізації транспортного процесу передбачає ітераційне розв'язування задачі за різної початкової кількості наявних транспортних засобів. Методику апробовано на плановому виконанні 10-ти замовлень і за максимальній чисельності 5 автомобілів. Отримано стійкі розв'язки, які дають змогу підвищити прибуток автомобільного перевізника більш ніж удвічі, залежно від ринкових цін на автотранспортні послуги і вартості ресурсів. Методика може бути використана в оперативному плануванні транспортної діяльності підприємств як ефективний засіб обґрунтування їх кооперації.

Ключові слова: вантажні автомобільні перевезення, горизонтальна кооперація, нелінійне програмування.

Постановка проблеми. Транспортні компанії України перебувають у стані, коли їхні внутрішні ресурси в основному вичерпані й не в змозі забезпечити конкурентоздатність на ринку вантажних автомобільних перевезень. Адже під час виконання стохастичного вхідного потоку замовлень знизити вимушені простої і незавантажений пробіг транспортних засобів часто є неможливим. Проектуючи транспортно-логістичні процеси, перевізники натомість приймають рішення: 1) чи доцільним є аутсорсинг; 2) чи доцільним є збереження власної логістики в компанії; 3) щодо пошуку співпраці з подібними компаніями для використання потенційної синергії. Оскільки сучасні вимогливі споживачі послуг очікують, що їхні товари будуть доставлені в потрібне місце, у потрібний час, у потрібній кількості, в ідеальному стані й за відповідною ціною, компанії часто мають труднощі із задоволенням цих вимог інди-

відуально або за допомогою аутсорсингових відносин з постачальниками послуг. Це призвело до того, що третій варіант – тісного співробітництва з іншими компаніями – стає вагомим ресурсом підвищення ефективності вантажних перевезень. Однак рішення стосовно співпраці приймаються без відповідних обґрунтувань. Перед тим як укласти угоду про співпрацю з партнерами, потрібно зважити втрати від неї, оцінити ймовірні додаткові надходження. Найголовніше – розробити такий транспортний процес, в якому парк власних та орендованих транспортних засобів буде використовуватись більш ефективно.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Взаємозв'язок компаній, які працюють на ринку вантажних перевезень з різним рівнем співробітництва у ланцюзі постачань, називається вертикальною кооперацією. Наприклад, перевізники можуть співпрацювати, обмінюючись інформацією

щодо виконаних і/або наявних невиконаних замовлень, для вдосконалення методів прогнозування. Іншим поширеним випадком вертикальної співпраці є наймання сторонніх постачальників транспортно-логістичних послуг. Горизонтальна співпраця, з іншого боку, включає взаємодію між одними й тими ж ланцюгами постачання [1, с. 2213]. Це може бути спільний розподіл клієнтів/постачальників або спільне використання транспортних засобів перевізниками. За наявності проблеми недовикористання власного парку автомобілів дослідники називають горизонтальну співпрацю вагомим ресурсом її вирішення [2, с. 131–135]. У рамках горизонтальної логістичної співпраці декілька компаній об'єднують свої транспортні потенціали з метою більш ефективного їх виконання. На практиці результати цих ініціатив є досить суттєвими: відомо про підвищення ефективності виконання замовлень від такої співпраці майже до 30% [3, с. 490; 4, с. 14–15]. Однак горизонтальне співробітництво в транспортній логістиці вимагає визначення механізму моніторингу замовлень, який часто реалізується за допомогою аукціонів (змагання інтересів). Аукціон не є настільки досконалим механізмом, який можна було би використати для здійснення обміну інформацією між перевізниками. Зокрема, розуміння логістичної співпраці вимагає розгляду механізмів спільного прийняття рішень, за яких група учасників спільно виконує розподіл завдань, який є оптимальним із точки зору всієї групи, але не для конкретного учасника [4, с. 17].

Відомі декілька бажаних властивостей, які повинен виконувати механізм розподілу замовлень на транспортування за кооперації. Головна з них – це ефективність розподілу (далі – EP). У стандартному аукціоні EP часто визначає пошук замовлення для перевізника, який цінує його найбільше [5, с. 18–25]. Однак у комбінаторній обстановці із синергією значення, яке логістичний оператор присвоює замовленню, залежить від інших замовлень, які повинен виконати перевізник, тому єдиної «вартості» замовлень не існує. Отже, ми визначаємо розподіл як ефективний, якщо подальший прибуток від його перепродажу є неможливим або, еквівалентно, якщо розподіл максимізує створення вартості за допомогою обміну.

Кооперація перевізників за певних умов досягає в Європейському Союзі рівня концентрованих мереж. Такі мережі, які називають «хаб-спік», відіграють значну роль у роботі транспортних компаній. За даними UNCTAD приблизно 80% світової торгівлі за обсягом та 70% за вартістю транспортується морем і здійснюється переважно

концентрованими терміналами у всьому світі [6]. Більше того, оскільки уряди вводять щораз більше податкових норм, які просувають екологічну політику в транспортній діяльності, інвестиції в такі мережі стають ще більш важливими. Концентрована мережа співпраці перевізників визначається як така, що повністю керується потоком інформації між будь-якими двома вузлами, які обслуговуються на невеликій кількості вузлових пунктів і переміщуються через міжхабові зв'язки [7, с. 1–11]. Отже, хаби служать пунктами перевалки або комутації потоків товарів між вузлами, що не є хабами, замість того, щоб створювати прямі зв'язки між ними. А це значить, що менша експлуатаційна вартість доставки вантажів може бути досягнута тільки завдяки економії від масштабу транспортної мережі. За відсутності останньої хаби стають неефективними.

Транспортні компанії можуть співпрацювати з метою підвищення рівня їх ефективності, обмінюючись замовленнями або вантажомісткістю транспортних засобів. У роботі [8, с. 360–384] представлений підхід до горизонтальної співпраці перевізників, а саме: спільне використання розподільчих центрів (РЦ) з підприємствами-партнерами. Однак тут існує проблема розміщення об'єктів спільної роботи, яка відома як задача цілочислового лінійного програмування. Щоб забезпечити стійкість співпраці, транспортні компанії повинні бути справедливо розподілені між різними учасниками інтегрованого транспортного процесу. Переваги об'єднання перевізників та наслідки різних методів розподілу витрат між ними було проаналізовано на прикладі вантажних автомобільних перевізників Великобританії [8, с. 360–384]. Наведено чисельні експерименти на основі експериментального проектування. Спільне використання РЦ, на думку авторів статті, може призвести до 21,6% економії коштів. На відміну від випадку спільного виконання потоку замовлень або транспортних засобів, існує можливість збитків від масштабу, якщо кількість партнерів, які можуть очікувати більшої вигоди від співпраці, мають неоднакову частку потоку замовлень. Більше того, результати вказують на те, що горизонтальна співпраця на рівні РЦ добре працює з обмеженою кількістю партнерів і може базуватися на інтуїтивно привабливих методах розподілу витрат, які можуть зменшити складність кооперації та посилити міцність взаємних партнерських відносин. Однак у згаданій статті не враховано, що ефективність співпраці нелінійно залежить від залучення додаткових

партнерів у кооперацію через РЦ. Тому сформульована задача відноситься до задач нелінійного цілочислового програмування, які до цього часу не вирішувались.

Оскільки метою горизонтальної транспортно-логістичної співпраці є підвищення ефективності бізнесу учасників, а співпраця часто призводить до додаткових прибутків або зменшення витрат, чимало досліджень з питань спільної логістики присвячено виявленню ефективних схем розподілу [9, с. 1–34]. Справедливий розподіл витрат або прибутків коаліції є ключовим питанням, оскільки запропонований механізм розподілу повинен спонукати партнерів поводитися відповідно до спільних цілей та може покращити стабільність співпраці.

У цьому дослідженні розглядається горизонтальна співпраця між перевізниками. Співпраця повинна дозволити перевізникам обмінюватися замовленнями клієнтів, щоб зменшити транспортні витрати. Такі види горизонтальних альянсів пов'язані з різними перевагами, в тому числі екологічними, включаючи зменшення викидів шкідливих газів, заторів на дорогах та шумового забруднення. Завдяки цьому величезному потенціалу спільне використання вантажів нещодавно стало широко досліджуваною темою в галузі маршрутизації транспортних засобів [10, с. 1–24]. Однак насправді транспортні компанії неохоче вступають у горизонтальну співпрацю. Потенційні учасники мереж співпраці висловлюють занепокоєння щодо роботи з конкурентами. Вони побоюються, що замість того, щоб виграти від ефектів синергії, вони втратять постійних клієнтів та зазнають збитків від потенційно шкідливої інформації по відношенню до конкурентів. Чесне навантаження та розподіл прибутку вважаються найважливішими аспектами для забезпечення горизонтальної співпраці в реальних відносинах [11, с. 32]. Емпіричні докази цього представлені в роботі [2, с. 138–141]. На основі широкомасштабного опитування щодо потенційних переваг та перешкод для горизонтального співробітництва автори роблять висновок, що загальні постачальники транспортно-логістичних послуг вірять у потенційні переваги горизонтального співробітництва. Однак існує кілька бар'єрів. Переважна більшість респондентів погоджується з тим, що менші компанії в рамках партнерства можуть втратити клієнтів або можуть бути повністю витіснені з ринку. Отже, автори рекомендують потенційним партнерам явно враховувати ці перешкоди та намагатися подолати їх до початку співпраці.

Автори статті [10, с. 1–24] емпірично аналізують, чи є страх втратити клієнтів для конкурентів перешкодою для горизонтальної співпраці між постачальниками логістичних послуг. Дослідники проводять мультиметодний підхід, що складається із спостережень, глибоких інтерв'ю та експериментів на основі генераторів випадкових чисел. У своїх емпіричних результатах автори розрізняють ролі респондентів. Вони показують, що великі компанії, де планування транспортного процесу, та рішення з питань зовнішнього замовлення приймаються різними особами, страх втратити клієнтів для конкурентів є однією з трьох найсильніших перешкод для горизонтальної співпраці.

Увесь проаналізований теоретичний доробок, а також ці емпіричні висновки дослідників, підкреслюють необхідність ретельного вивчення процесу прийняття рішення транспортної компанії про доцільність утримувати конкретних споживачів або конкурентні частки ринку.

Постановка завдання. Метою наукової статті є розроблення методики обґрунтування рішення стосовно вибору оптимальних видів співпраці автотранспортного підприємства з партнерами для підвищення ефективності обслуговування відомої множини замовлень на перевезення вантажів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Постановку задачі формалізовано так. Задано множину замовлень $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$, яку спрогнозовано на деякий період T . Замовлення виникають незалежно, але між ними існують відношення сумісності, концентрації, нерівномірності, часової впорядкованості [12, с. 146–147]. Крім цього, кожне замовлення характеризується пунктами відправлення і призначення унітарного вантажу, які позначимо як q_v та q_y , $v, y = 1..M$. Відстань доставки $l_{v,y}$ є відома. З достатнім рівнем точності можна надати оцінку витрат часу на перевезення вантажу між пунктами q_v і q_y . Однак для умов даної задачі використаємо величину $a_{i,j}^m$. Це є час для руху автотранспортного засобу (АТЗ) під час виконання замовлення j , яке виконується після виконання замовлення i . Цей час є більш узагальнений, ніж час, необхідний для поїздки на $l_{v,y}$. Час $a_{i,j}^m$ суттєво залежить від попереднього замовлення i , оскільки пункт останнього розвантаження може не збігатися з пунктом наступного навантаження, і може бути потрібен нульовий пробіг. Якщо $a_{i,j} = \infty$, то це означає, що замовлення j не може виконуватись після замовлення i . Є також витрати часу на простій АТЗ у пунктах відправлення і призначення вантажу $a_{i,j}^s$, які виникають унаслідок неузгодження операцій транспортного

процесу. Часові затримки $a_{i,j}^s$ виникають тому, що дозволені часові обмеження замовлень i, j можуть не збігатися і через неритмічність процесу [13, с. 149]. Для цього розглянемо такий параметр, як часове вікно. Кожне Z_i замовлення характеризується часовим вікном W_i , яке визначає дозволений термін виконання замовлення, тобто:

$$W_i = t_i^e - t_i^b, \quad (1)$$

де t_i^e – найбільш можливе пізніє закінчення виконання замовлення; t_i^b – найбільш можливий ранній початок виконання замовлення.

У перевізника є в наявності R АТЗ. Цими транспортними засобами потрібно виконати означену множину замовлень Z . Однак наявної кількості автомобілів може бути недостатньо, тобто $R < R_z$, або надлишок, тобто $R > R_z$, де R_z – кількість фактично задіяних власних АТЗ для виконання заданої множини відомих замовлень. Припускається, що для перевезення можна задіяти R_0 АТЗ перевізників-партнерів на правах оренди. Головну вигоду від орендування може отримати орендар. За наявності інформації про сукупність замовлень, яка відома тільки йому, перевізник приймає рішення про можливість виконання. При цьому можливі його такі дії.

1. Здати в оренду власний транспортний засіб. Дія приймається за допустиму, якщо не вистачає рентабельних замовлень за $R > R_z$. Ціна оренди одиниці транспортного засобу приймається на увесь період $T - P_r$. Таким чином, дохід від здачі в оренду всіх транспортних засобів можна визначити за виразом:

$$D_1 = (R - R_z) \cdot P_r \quad (2)$$

2. Взяти в оренду додаткові АТЗ, яких не вистачає, тобто $R < R_z$. Дія приймається, якщо вигідних замовлень менше, ніж вільних АТЗ. У цьому випадку приймається, що витрати на оренду транспортних засобів перевізника відносяться на собівартість, на увесь період $T - C_r$. Витрати на оренду визначаються з виразу:

$$D_2 = (R_z - R) \cdot C_r \quad (3)$$

3. Купити інформацію про невідомі перевізнику замовлення. Ця дія виконується тоді, коли $R > R_z$. Вартість інформації про одне замовлення – C_z . Власне, купівля додаткової інформації відбувається, якщо замовлень недостатньо, і це є альтернативою до здавання в оренду власних АТЗ. Однак при цьому є ризик, що куплене й прийняте до виконання замовлення може бути нерентабельним.

4. Продати інформацію про наявні, проте не прийняті до виконання замовлення. Ціна продажу – P_z . Це рішення приймається, коли наявні замовлення є збитковими для перевізника.

5. Виконати замовлення власними АТЗ. У цьому випадку здійснюються витрати підприємства на рух транспортних засобів C_m і на простоювання C_r . Для виконання цієї дії необхідно, щоб наявних АТЗ було достатньо, а доступні замовлення були рентабельними. У результаті отримуються надходження від перевезень P_m , обсяг яких залежить від пробігу транспортних засобів з вантажем на даному замовленні l_z .

Дії 1–5 приймаються для кожного замовлення так, щоб загальний прибуток від перевезень був максимальний. Очевидно, що дії 1–5 є взаємно суперечливими. Тому задача максимізації прибутку є багатоваріантною, оптимізаційною. Потрібно виконати план перевезення так, щоб отримати максимальний прибуток, використавши при цьому власні АТЗ, орендувавши необхідні, а також здійснивши маніпуляції з наявною інформацією стосовно наявних чи відсутніх замовлень. При цьому допускається, що окремі замовлення не будуть виконуватись через їх невідповідність. Якщо після розподілу АТЗ деякі з них залишаються нерозподіленими, то вони здаються в оренду. Якщо внаслідок аналізу наявних замовлень виявляється брак АТЗ у перевізника, то перевізник орендує їх у наявних партнерів. Таким чином, у результаті оптимізації вибираються ті варіанти розподілу замовлень, які дають максимальний прибуток за заданими початковими даними. Для її розв'язування введемо змінну $x_{i,j} = \{0,1\}$. Змінна набуває значення «0», якщо замовлення z не виконується власними АТЗ, і «1», якщо виконується ними. Вираз для знаходження максимального прибутку матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \Pi = & (R - R_z) \cdot P_r - (R_z - R) \cdot C_r - (R_z - R) \cdot C_z + \\ & + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot (1 - x_{i,j}) \cdot P_z + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot P_m - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^m \cdot x_{i,j} \cdot C_m - \\ & - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N a_{i,j}^s \cdot x_{i,j} \cdot C_s \Rightarrow \max \end{aligned} \quad (4)$$

У виразі (4) перший – четвертий члени відповідають описаним діям 1–4. П'ятий член – це надходження від виконання перевезень власними АТЗ. Шостий член – це витрати на перевезення власним транспортом, пов'язані з поїздками з вантажем. Сьомий член – це витрати, пов'язані з простоюваннями і затримками транспортних засобів під час виконання замовлень. Для розв'язування задачі введено ще два фіктивні замовлення: Z_0 – формальний початок проекту, Z_F – формальне закінчення проекту наприкінці терміну T . Змінна $x_{0,j}$, а також величина $a_{0,j}$, означають виконання замовлення Z_j без попереднього виконання жодного замовлення. Таким чином, це – змінні, які визначають «чисте»

виконання замовлення під час виїзду з бази перевізника. У цьому випадку організація процесу не впливає на тривалість виконання замовлень.

Під час складання плану перевезень повинні виконуватись обмеження на змінні:

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} - \sum_{i=1}^N x_{i,j} = 0, \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{i,F} = -R_z, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^{N+F} x_{i,j} - \sum_{j=0}^N x_{j,F} = R_z, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{i,j} \leq 1, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^N (|x_{0,i} - x_{i,F}|) = R_z, \quad (10)$$

де $x_{i,F}$, $x_{j,F}$ – формальні змінні, які відповідають завершеному виконання замовлень Z_i , Z_j відповідно; $x_{0,i}$, $x_{0,j}$ – формальні змінні, які відповідають початку виконання замовлень Z_i , Z_j відповідно; R_z – наперед задана кількість АТЗ, які використовуються в процесі виконання перевезень. Ця величина застосовується тому, що під час кожного кроку моделювання спочатку невідомо, за якого значення R_z числове значення критерію (4) буде максимальним. Тому величина R_z змінюється в межах $1 \leq R_z \leq R$, де R – максимальна кількість автомобілів (власних та орендованих), які можна залучити до перевезень. Очевидно, що $R < N$.

Обмеження (5) означає, що кількість вихідних автомобілепотоків для виконання j -го замовлення не повинно перевищувати кількості вхідних. Таке обмеження чинне для всіх змінних $x_{i,j}$, $i, j = 1..N$ і не стосується фіктивних.

Обмеження (6) означає, що кількість вихідних автомобілепотоків від формального початку проекту не перевищує наперед заданої величини R_z . Така ж кількість автомобілепотоків повинна входити у формальне завершення проекту, про що означає обмеження (7).

Оскільки в даній задачі замовлення є унітарними, тобто кожне з них виконується однією поїздкою з вантажем, то застосовано обмеження (8), яке означає, що кількість вихідних автомобілепотоків для виконання j -го замовлення не перевищує одного. З цієї ж причини обмеження (9) означає, що кількість вхідних автомобілепотоків для виконання j -го замовлення не перевищує одного.

Для того щоб у результаті розв'язання задачі оптимізації позбутись циклічних автомобілепотоків, які не беруть початок у формальному моменті проекту Z_0 і не завершуються у формальний момент

Z_F , було введено обмеження (10). Це обмеження означає, що кількість маршрутів від формального початку до формального завершення проекту в цілому має дорівнювати кількості задіяних АТЗ, що фактично виключає можливість циклів, отже, і неоднозначних результатів моделювання. Обмеження (2.10), власне, приводить задачу оптимізації до нелінійного вигляду, оскільки в його виразі використано модуль різниці змінних.

Під час виконання оптимізації наперед невідомо, за якої кількості необхідних АТЗ прибуток від виконання плану перевезень буде максимальним. Тому застосовано ітераційне моделювання при зміні кількості задіяних автомобілів. На рис. 1, а–д показано приклади результатів оптимізації інтегрованого транспортного процесу за кількості необхідних транспортних засобів, відповідно $R = 1, 2, 3, 4, 5$. На рис. 1, а–д позначено: 0 – початкове фіктивне замовлення, яке означає формальний початок проекту; F – кінцеве фіктивне замовлення, яке означає формальне завершення проекту

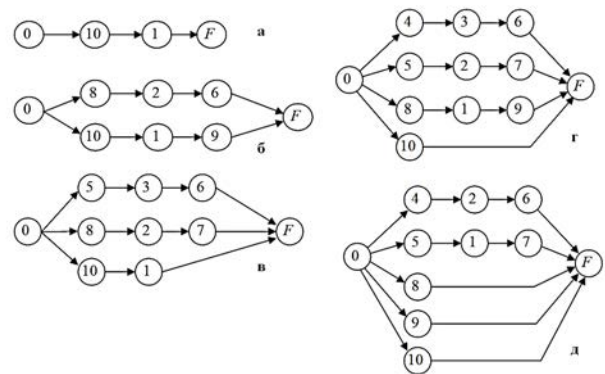


Рис. 1. Оптимальні схеми виконання замовлень: а) $R=1$; б) $R=2$; в) $R=3$; г) $R=4$; д) $R=5$

Як видно з рис. 1а, оптимальним є варіант виконання лише двох замовлень – № 10 і 1 у названому порядку. Прибуток, який отримується при цьому – 10 418 грн. При цьому частина прибутку отримується: а) 71,7% – виконання двох замовлень; б) 16,8% – від продажу інформації про 8 інших відомих замовлень; в) 11,5% – від здачі в оренду незадіяних 4-х АТЗ. Кількість власних транспортних засобів всього – 5. На рис. 1б показано оптимальний варіант виконання замовлень, якщо кількість вільних АТЗ – $R=2$. У цьому випадку виконується 6 замовлень. Прибуток, який отримується при цьому – 14 815 грн. Частина прибутку отримується: а) 87,2% – виконанням шести замовлень; б) 6,7% – від продажу інформації про 4 інші відомі замовлення; в) 6,1% – від здачі в оренду незайнятих АТЗ. В оренду здаються 3 АТЗ. На рис. 1в показано оптимальний варіант виконання замовлень

за кількості вільних АТЗ, які можна задіяти – $R=3$. Виконується 8 замовлень. 2 замовлення продається партнерам. Прибуток, який отримується при цьому – 18 793 грн. При цьому частина прибутку отримується: а) 95,5% – виконанням 8 замовлень; б) 1,3% – від продажу інформації про 2 інших відомих замовлень; в) 3,2% – від здачі в оренду зайвих транспортних засобів. При цьому в оренду здаються 2 АТЗ. На рис. 1г показано оптимальний варіант виконання замовлень за кількості вільних АТЗ, які можна задіяти – $R=4$. Прибуток, який отримується при цьому – 20 624 грн. Частина прибутку отримується: а) 98,5% – виконанням дев'яти замовлень; б) 0% – від продажу інформації про одне інше відоме замовлення; в) 1,5% – від здачі в оренду АТЗ. При цьому в оренду здається 1 транспортний засіб. На рис. 1д показано оптимальний варіант виконання замовлень за кількості вільних транспортних засобів, які можна задіяти – $R = 5$. Сумарний прибуток – 20 624 грн. Частина прибутку отримується: а) 98,5% – виконанням дев'яти замовлень; б) 1,2% – від продажу інформації про одне інше відоме замовлення; в) 0% – від здачі в оренду зайвих транспортних засобів. При цьому в оренду не здається жоден транспортний засіб. Отримано також варіанти транспортного процесу за потреби, відповідно, $R = 6 - 10$ АТЗ. При $R = 10$ розв'язок задачі є тривіальним, оскільки всі 10 відомих замовлень виконуються всіма 10-ю наявними транспортними засобами. Таким чином, отримані результати моделювання за сталих параметрів вхідного потоку замовлень і змінної кількості залучених АТЗ можна відобразити на рис. 2. Як видно з гістограми, найбільша частина доходів отримується підприємством саме від перевезення. Лише коли підприємство має в наявності 5 власних АТЗ, а використовує для перевезень 1–2, то доходи від здачі в оренду

автомобілів ледве перевищують 10% від сукупних. Доходи від продажу інформації для підприємства означають, що з 10-ти відомих замовлень $10-R$ буде продано партнерам, де R – кількість задіяних АТЗ, разом з орендованими. Максимальні (100%) доходи від перевезень отримано в разі залучення 6 АТЗ: 5 – власних + 1 орендований і за 8 залучених АТЗ: 5 власних + 3 орендованих.

Як видно з результатів, доходи перевізника в разі залучення орендованих АТЗ зростають. Це пояснюється використанням більшої кількості замовлень. Однак прибуток перевізника не збільшується. Це видно з рис. 3. Так, якщо кількість орендованих АТЗ перевищує 3, або понад 60% від задіяних власних, то прибуток перевізника зменшується, що пов'язано зі зростанням орендної плати і неефективним використанням АТЗ, які є у власному розпорядженні.

Висновки. Сформульована задача планування виконання замовлень за умови горизонтальної кооперації перевізників є розподільчою за своїм змістом, багатопараметричною і нелінійною – за видом моделі. Структурне моделювання та оптимізація інтегрованого транспортного процесу, згідно із розробленим методом, дало змогу з'ясувати розподіл власних АТЗ, необхідність оренди та обсягу інформації, які в сукупності призводять до максимального прибутку транспортної компанії за наявності часових вікон. Різниця максимального прибутку за оптимальної структури процесу може перевищувати інші, неоптимальні варіанти на 10–12 тис. грн. за 10-ти відомих замовлень, 5 наявних АТЗ, що становить 71–73% від сукупного доходу. Запропонований метод може бути використаний для оперативного прийняття рішення стосовно доцільності співпраці транспортної компанії з партнерами.

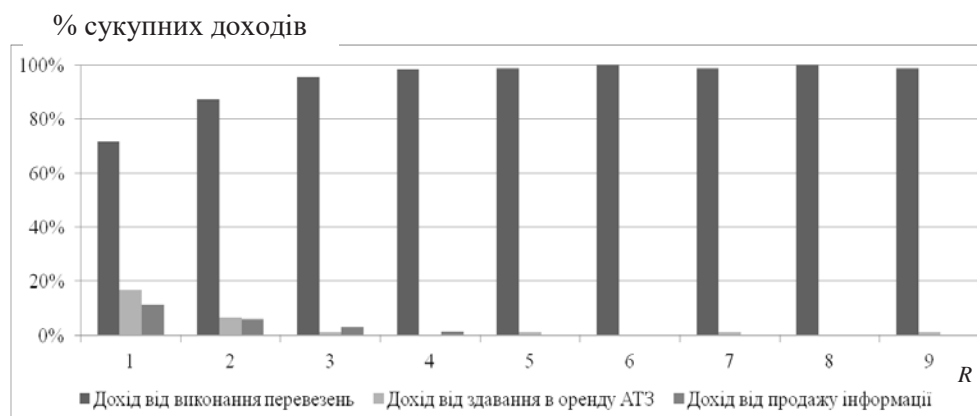


Рис. 2. Структура доходів перевізника за різної кількості задіяних АТЗ

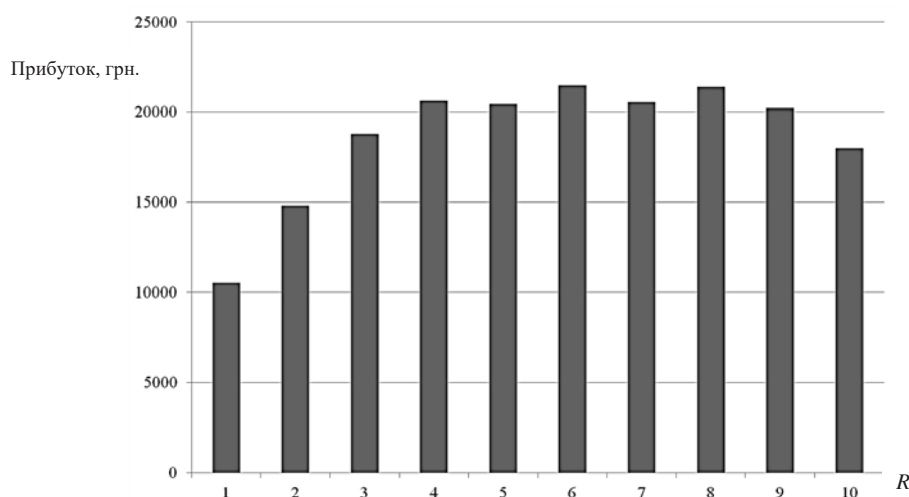


Рис. 3. Залежність прибутку перевізника від кількості задіяних власних та орендованих транспортних засобів за максимальної кількості 10 відомих замовлень

Список літератури:

1. Ma Ke., Pal R., Gustafsson E. What modelling research on supply chain collaboration informs us? Identifying key themes and future directions through a literature review. *International Journal of Production Research*. 2019. № 57 (7). P. 2203–2225. DOI: 10.1080/00207543.2018.1535204
2. Cruijssen F., Cools M., Dullaert W. Horizontal cooperation in logistics: Opportunities and impediments. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2007. № 43 (2). P. 129–142. DOI: 10.1016/j.tre.2005.09.007
3. Gansterer M., Hartl R., Vetschera R. The cost of incentive compatibility in auction-based mechanisms for carrier collaboration. *Networks*. 2019. № 73 (4). P. 490–514. DOI: 10.1002/net.21828
4. Ganstererand M., Hartl R.F. Collaborative vehicle routing: A survey, Eur. J. *Operational Research*. 2018. № 268. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.10.023
5. Wurman P., Walsh W., Wellman M. Flexible double auctions for electronic commerce: Theory and implementation. *Decision Support Systems*. 1998. № 24. P. 17–27. DOI: 10.1016/S0167-9236(98)00060-8
6. Road freight transport statistics. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Road_freight_transport_statistics#Growth_in_EU_road_freight_transport_for_the_fifth_consecutive_year (дата звернення: 01.09.2020).
7. Two genetic algorithms for solving the uncapacitated single allocation p-hub median problem / J. Kratica et al. *European Journal of Operational Research*. 2007. № 182. P. 15–28. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.06.056
8. Yee Ming Ch., Bo-Yuan W. Vehicle-based interactive management with multi-agent approach. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2009. Vol. 2. Iss. 2. P. 360–386. DOI: 10.3926/jiem.v2n2.p360-386
9. Analysis of collaborative savings and cost allocation techniques for the cooperative carrier facility location problem / L. Verdonck et al. *Journal of the Operational Research Society*. 2016. № 67 (6). P. 853–871. DOI: 10.1057/jors.2015.106
10. Improved collaborative transport planning at Dutch logistics service provider Fritom / P. Buijs et al. *Interfaces*. 2016. № 46 (2). P. 119–132. DOI: 10.1287/inte.2015.0838
11. Собкевич О.В., Михайличенко К.М., Ємельянова О.Ю. Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України: аналіт. доп. Київ : НІСД, 2014. 60 с.
12. Oliskevych M. Dynamic scheduling of highway cargo transportation ICCPT 2019 : Proceedings of 1st Internat. Scientific Conference «Current Problems of Transport 2019» (Ternopil. May, 2019). Ternopil, Ukraine, 2019. P. 141–151. DOI: 10.1007/s10489-006-0033-z
13. Прокудін Г.С., Оліскевич М.С. Вплив структури транспортної системи на показники якості доставки вантажів у міжміському сполученні. *Вісник Національного транспортного університету*. 2019. № 1. С. 143–158.

Roi M.P. METHOD OF OPTIMIZATION OF THE INTEGRATED TRANSPORT PROCESS OF CARGO ROAD TRANSPORTATION

The article investigates the problem of decision making by transport companies regarding horizontal cooperation with partners by servicing a given set of orders of road freight. Unitary orders to be executed in one ride are considered. The company can choose, or reject one of the five decisions regarding the lease or rental of vehicles, the exchange of information, or the self-fulfillment of known orders. Execution of orders by own and leased fleet should be carried out in such a sequence that the total costs of the integrated transport process will be minimal. This means that the duration of unproductive downtime of trucks, as well as the duration of unloaded rides will be minimized. Restrictions have been placed on the available fleet of trucks. The criterion for making a set of decisions is the maximum of total profit received in planning horizon. The decisions made by the carrier are contradictory, so the problem is optimizing one. Method formalization in the form of a problem of mathematical programming is offered. Since the constraints on the solution include nonlinear expressions, the problem formed as nonlinear optimization. Variable tasks are integers that determine how to fulfill each of the given orders: independently, by oneself, or by rented transport, or with a help of partners. To obtain a guaranteed solution of the problem, one needs to set boundary conditions, which apply to two extreme cases: the execution of all orders independently when assigning one car to one order; or the return of all orders to partners. The method of optimization of the transport process involves iterative solution of the problem with different initial number of available vehicles. The method was tested on the planned execution of 10 orders and a maximum number of 5 trucks. There are stable solutions that can more than double the profit of a road carrier; depending on market prices for road transport services and the cost of resources. The technique can be used in the operational planning of transport activities of enterprises as an effective tool of justifying their cooperation.

Key words: road freight transportation, horizontal cooperation, nonlinear programming.

Тимченко Н.М.

Херсонська державна морська академія

Кузьменко О.Ю.

Херсонська державна морська академія

ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЧНИХ ОРІЄНТИРІВ РОЗВИТКУ ЛОГІСТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Статтю присвячено дослідженню сучасних проблем та стратегічних напрямів розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств. У сучасних умовах глобалізованого світового простору роль транспорту у функціонуванні суспільного відтворення суттєво зростає. Сучасні засоби комунікації спрощують процеси спілкування, обміну документами та водночас ставлять нові вимоги до оперативності переміщення людей та матеріальних благ. Маючи змогу миттєво замовити необхідний товар у будь-якій точці світу, споживачі очікують максимально швидкої його доставки. Так само поширення міжнародної співпраці в усіх сферах бізнесу вимагає мобільності й від людей: іноді виникає потреба за одну добу побувати у трьох різних точках світу. Всі ці потреби задовольняють транспортні підприємства. Ефективність функціонування транспортних підприємств забезпечується бізнес-середовищем, ключовим елементом котрого виступає інфраструктура, зокрема логістична. Відповідно, саме турбулентність розвитку економіки та суспільства зумовлює актуальність досліджень у сфері розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств. Автором проаналізовано основні типи сучасних транспортних підприємств та складники інфраструктури їх розвитку. Виокремлено логістичну складову частину інфраструктури транспортних підприємств у їх загальній сукупності. У статті обґрунтовано стратегічні орієнтири забезпечення ефективності логістичної інфраструктури транспортних підприємств шляхом окреслення найгостріших проблем, визначення способів їх подолання, характеристики поточного стану та визначення бажаного рівня розвитку. Досягнення окреслених стратегічних орієнтирів дозволить знизити вартість перевезень, поліпшити їх якість та оперативність, створити умови здорової конкуренції перевізників, особливо у сфері пошуку клієнта, а не додаткового заробітку з тих споживачів, які вже вимушено звернулися до певного перевізника. За умови досягнення бажаного рівня розвитку логістичної інфраструктури стає можливою повна інтеграція вітчизняних транспортних підприємств у світовий простір перевезень, збалансування інтересів перевізників та споживачів транспортних послуг, а в результаті – зростання надходжень до бюджету від даної галузі. Звичайно, ефективна транспортно-логістична система потребує значних інвестицій, але при цьому сама виступає компонентом створення сприятливого інвестиційного клімату в країні, тобто здатна буде генерувати приплив інвестицій в інші сфери економіки в майбутньому. Запропоновані заходи дозволять суттєво покращити ефективність функціонування транспортних підприємств, підвищити якість перевезень та створити передумови інтеграції Української транспортної системи у світовий простір.

Ключові слова: інфраструктура, логістика, перевезення, розвиток, стратегія, транспорт.

Постановка проблеми. У сучасних умовах глобалізованого світового простору роль транспорту у функціонуванні суспільного відтворення суттєво зростає. Сучасні засоби комунікації спрощують процеси спілкування, обміну документами та водночас ставлять нові вимоги до оперативності переміщення людей та матеріальних благ. Маючи змогу миттєво замовити необхідний товар у будь-якій точці світу, споживачі очікують максимально швидкої його доставки. Так само поширення міжнародної співпраці в усіх сферах бізнесу вимагає мобільності й від людей: іноді виникає потреба за

одну добу побувати у трьох різних точках світу. Всі ці потреби задовольняють транспортні підприємства.

Ефективність функціонування транспортних підприємств забезпечується бізнес-середовищем, ключовим елементом котрого виступає інфраструктура, зокрема логістична. Відповідно, саме турбулентність розвитку економіки та суспільства зумовлює актуальність досліджень у сфері розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження стратегії розвитку тран-

спортних підприємств в цілому та окремих їх видів присвячено суттєву увагу науковців, зокрема таких, як В.С. Івашкевич, Т.Г. Сухорукова, М.О. Устенко та ін. Особливості розвитку логістичної інфраструктури досліджували С.М. Войт, В.Л. Дикань, К.В. Завгородній, О.М. Зборовська, Я.М. Панчишин тощо. Однак, не применшуючи здобутки дослідників, все ж варто відзначити, що стрімкі модифікації сучасного середовища зумовлюють потребу в перегляді сутності стратегічних орієнтирів розвитку логістичної інфраструктури, забезпеченні їх пластичності та адаптивності, пошуку універсальних інструментів.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є обґрунтування основних елементів та стратегічних орієнтирів розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств у сучасних умовах. Досягнення мети забезпечене виконанням послідовних завдань, основними серед яких є огляд сучасних видів транспортних підприємств, визначення сучасного складу інфраструктури їх розвитку та логістичного її складника, обґрунтування стратегічних орієнтирів забезпечення ефективності логістичної інфраструктури транспортних підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження. До транспортних підприємств традиційно відносять залізничні, авіаційні, автомобільні, водні та трубопровідні. Однак в умовах світової пандемії суттєво зросла роль таких нетипових видів транспортування вантажів, як за допомогою велосипедних та пішохідних кур'єрів. Розвиток техніки і технологій зумовлює посилення уваги до електротранспорту, безпілотних технологій, що зумовлює взаємне проникнення традиційних форм. У відносно близькій перспективі варто буде говорити про новітні форми транспортних підприємств: гіпершвидкісного (наприклад, Hyperloop) та космічного. Нині такі види транспорту виглядають футуристично, але технології розвиваються швидко, пілотні проекти випробовуються, а тому стратегічні орієнтири розвитку повинні враховувати такі перспективи.

Інфраструктура транспортних підприємств покликана забезпечувати умови ефективного, безперебійного їх функціонування, а відповідно, має включати цілий комплекс елементів, зокрема: залізничне полотно, залізничні вузли, станції, депо; автомобільні дороги, автомагістралі, стоянки, автозаправні станції, світлофори, дорожні знаки й розмітку, шляхопроводи й мости; авіаційні коридори, диспетчерські служби, аеропорти, злітно-посадкові смуги й майданчики; навігаційні

шляхи, порти, лоцманські послуги; вантажні термінали, вагові центри, складські й ремонтні установи тощо. Перелік елементів транспортної інфраструктури є безмежним та постійно доповнюється. Так, сьогодні він охоплює такі нові елементи, як станції заряджання електрокарів, систему супутникової навігації, місця відпочинку та побуту пасажирів, окремі елементи рухомого складу, в т.ч. додаткових складових тощо.

У складі елементів інфраструктури транспортних підприємств окремо виділяють логістичну складову частину як сукупність інструментів і методів забезпечення ефективності їх функціонування. Сучасне суспільне відтворення, перерозподіл ресурсів та задоволення потреб споживачів неможливе без транспортування матеріальних благ та пасажирів. Процеси транспортування охоплюють їх підготовку, експедирування, вантажопереробку, пакування, страхування вантажів та пасажирів тощо. Більшість із цих складників реалізує система транспортної логістики, котра оптимізує процеси переміщення вантажів та пасажирів.

Логістичний компонент транспортної інфраструктури покликаний:

- систематизувати транспортні процеси шляхом створення відповідних коридорів і ланцюгів транспортування;
- забезпечувати ефективне перевезення з використанням різних видів транспорту;
- створювати передумови оперативної взаємодії транспортної та складської компоненти перевезень;
- забезпечувати синхронність та ритмічність виробничих і транспортних процесів;
- сприяти вибору найбільш ефективного способу транспортування та вибору виду транспорту і маршруту;
- знизити сукупні транспортні витрати підприємств та фізичних осіб.

Сучасні ринкові умови, особливо глобалізація, зумовлюють активний розвиток транснаціонального бізнесу, в т.ч. у сфері логістики. Так, близько 35% відповідного ринку займають 30 найбільших логістичних підприємств світу [1], котрі у свою чергу значно розширюють географію безперервних перевезень та технічно ускладнюють процес їх організації шляхом масового впровадження новітніх інформаційних технологій та сучасної техніки.

Відповідно, однією зі стратегічних задач розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств в Україні має стати побудова внутрішньої транспортно-логістичної системи, котра буде

повністю інтегрована у світовий простір, однак працюватиме завдяки вітчизняним суб'єктам господарювання. Дана система повинна забезпечити ефективну взаємодію учасників транспортно-розподільного процесу на всіх етапах суспільного відтворення. Ідеальний варіант – це налагоджена робота диспетчерської служби таким чином, що не виробник шукає перевізника своїх товарів, а логістична система сама пропонує виробникам оптимальні способи перевезення. Досягнення такого рівня розвитку транспортно-логістичної системи передбачає: створення умов здорової конкуренції у транспортному сегменті шляхом зниження ролі держави та повної лібералізації; модернізацію додаткових і супутніх елементів транспортної інфраструктури; уніфікацію та універсалізацію транспортних технологій та засобів тощо.

Особливостями транспортних підприємств України, що стримують розвиток логістичної інфраструктури, є застарілість рухомого складу, котра, як ланцюгова реакція, спричиняє високу собівартість перевезень, недостатній рівень конкурентоспроможності вітчизняних транспортних підприємств на тлі високого рівня проникнення іноземних перевізників на вітчизняний ринок, низька якість пасажирських перевезень, низький рівень розвитку шляхів тощо [2]. Відповідно, подолання поточних проблем транспортних підприємств України має стати наступним стратегічним орієнтиром розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств.

Загальновідомо, що Україна вирізняється надзвичайно вигідним географічним положенням, а тому має високий транзитний транспортний потенціал. Однак, виходячи із сучасних реалій, даний потенціал залишається нереалізованим. Значна кількість морських перевізників намагається оминати українські порти через високий рівень коруптованості їхньої адміністрації та органів митниці. Вартість послуг вітчизняної залізниці в рази вища, аніж у країнах Європи. Вітчизняні авіаперевезення забезпечуються застарілими літаками, навантажувачами та терміналами [3]. У результаті дестабілізації політичної ситуації, порушення суверенітету України та її цілісності, масштабної антитерористичної операції та тимчасової анексії значної частини територій суттєво знизилась завантаженість трубопроводів, однак за рахунок альтернативних постачальників її вдалося відновити. Отже, наступним стратегічним орієнтиром розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств має стати забезпечення конкурентоспроможності вітчизня-

них перевізників та реалізація транзитного потенціалу України.

Важливим елементом стратегічного розвитку як транспортних підприємств, так і їхньої логістичної інфраструктури є державна підтримка та стимулювання модернізаційних процесів, зокрема в частині розвитку енергоефективного рухомого складу та ІТ-технологій у сфері логістики, а також державного регулювання цін та тарифів у галузі перевезень [4]. Окрім того, важливим напрямом саме державного сприяння має стати гармонізація вітчизняного законодавства у сфері транспорту із світовими нормативами та міжнародними нормами.

У контексті пошуку стратегічних орієнтирів розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств варто саме поняття логістики розглядати у таких основних напрямках:

- мікрологістика – логістика виробничих процесів;
- транспортна логістика – логістика вантажопотоків та супутніх потоків (інформаційних, фінансових, сервісних, матеріальних тощо);
- макрологістика – логістика руху товарів, включаючи складський її компонент;
- логістика пасажирських перевезень [5].

Стратегічні напрями розвитку можуть різнитися за виокремленими видами логістики, але все ж планові орієнтири та цілі розвитку будуть близькими. Відповідно, наступним стратегічним орієнтиром розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств є диверсифікація та взаємне узгодження перспективних завдань діяльності різних типів елементів логістики.

Транспортний бізнес, як і будь-який інший сучасний вид підприємницької діяльності, має бути відповідальним. У даному контексті йдеться передусім про екологізацію транспортних послуг, адже саме перевезення є одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища. Відповідно, забезпечення екологічності перевезень є наступним стратегічним орієнтиром розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств.

Важливим елементом розвитку логістичної інфраструктури є пошук нових форм термінової доставки (just-in-time delivery), котра натепер, зважаючи на пандемію вірусу у світі, виходить на перший план уваги транспортних підприємств. Така форма доставки створює швидкий вхідний грошовий потік, високу додану вартість, але є організаційно складною та ризикованою. Збій на будь-якому етапі ланцюжку реалізації доставки може звести нанівець усі логістичні заходи та зусилля, відповідно, він має

бути максимально коротким: виробник – кур'єр – споживач [6]. Процеси логістики включаються на етапі прийняття замовлення, підбору кур'єра, вибору маршруту та отримання оплати від споживача. Тому процеси just-in-time delivery забезпечуються засобами мультимодального транспорту (автомобілі, мотоцикли, скутери, велосипеди, електросамокати, ролики, піші кур'єри тощо), сучасними бездротовими платіжними терміналами для різноманітних форм оплати товарів та послуг, системами оперативної супутникової навігації, а відповідно, і постійним швидкісним бездротовим Інтернетом. Слід зазначити, що саме каналами інформаційно-технологічних комунікацій, у порівнянні з розвиненими країнами, вітчизняне населення та автотранспортні підприємства забезпечені на високому рівні. Бездротовий швидкісний Інтернет в Україні доступний, покриття якісне, а тарифи порівняно низькі.

Отже, можемо узагальнити основні стратегічні орієнтири розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств таким чином (рис. 1).

Розвиток логістичної інфраструктури транспортних підприємств дозволить не лише покращити якість роботи транспортних підприємств, зокрема в частині створення передумов розширення комерційної ініціативи, скорочення обігових витрат та зростання рентабельності діяльності, а й може стати поштовхом для розвитку інших галузей економіки. Розвинена транспортна система всередині країни та її інтегрованість у світовий простір забезпечує доступність та мобільність ресурсів для всіх сфер виробництва, оперативність поставок та оптимальні умови для ритмічності виробничих процесів.

Будь-який розвиток потребує інвестицій та державної підтримки відповідної галузі. У такому випадку роль держави полягає в забезпеченні сприятливого інвестиційного клімату шляхом формування урядових гарантій щодо вкладень у пріоритетну галузь, податкових преференцій, ліберальних та рівних умов, інформаційної відкритості тощо. Конкретними державними кроками в напрямі розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств можуть стати такі заходи:

- створення транспортно-логістичних парків, котрі поєднуюватимуть транспортні термінали та складські комплекси з необхідними умовами як короткострокового, так і довгострокового зберігання товарів, що забезпечить високу маневреність оптово-посередницьких ланцюгів торгівлі та транспортування;

- координація транспортних потоків за оптимальними маршрутами, тобто створення обладнаних доріг та залізниць, вагових пунктів, вузлів

перевантаження тощо. Органи місцевого самоврядування повинні брати активну участь у створенні загальнодержавних транспортних маршрутів, визначаючи безпечні їх складники, враховуючи інтереси населення та перевізників;

- розроблення методичних рекомендацій щодо договірних відносин у сфері логістики, алгоритмів укладання угод, їх типового змісту, рекомендацій щодо типів страхування вантажу і транспорту;

- часткове державне регулювання цін і тарифів у сфері транспорту;

- часткова приватизація елементів транспортної інфраструктури, котра перебуває у власності держави сьогодні.

Головним стимулом та умовою розвитку логістичної інфраструктури та транспортних підприємств загалом залишається нарощення обсягів промислового виробництва в країні, товарних потоків, у т.ч. експортно-імпортних. Основною умовою є реальність товарообороту, а не виведення капіталу за межі України.

Висновки. У результаті дослідження вдалося виявити основні складнощі сучасної логістичної інфраструктури та стратегічні орієнтири її розвитку. Запропоновані кроки дозволять створити ефективну логістичну систему, котра дозволить підвищити не лише ефективність процесів надання транспортних послуг, а й забезпечити взаємну координацію різних видів транспорту та відповідних підприємств, сприяючи тим самим економічному розвитку суб'єктів господарювання. Натепер постає гостра необхідність у створенні новітньої системи логістичного управління, котра ґрунтується на використанні супутникових технологій, інформаційних ресурсів та навіть систем Big Data. Досягнення окреслених стратегічних орієнтирів дозволить знизити вартість перевезень, поліпшити їхню якість та оперативність, створити умови здорової конкуренції перевізників, особливо у сфері пошуку клієнта, а не додаткового заробітку з тих споживачів, які вже вимушено звернулися до певного перевізника. За умови досягнення бажаного рівня розвитку логістичної інфраструктури стає можливою повна інтеграція вітчизняних транспортних підприємств у світовий простір перевезень, збалансування інтересів перевізників та споживачів транспортних послуг, а в результаті – зростання надходжень до бюджету від даної галузі. Звичайно, ефективна транспортно-логістична система потребує значних інвестицій, але при цьому сама виступає компонентом створення сприятливого інвестиційного клімату в країні, тобто здатна буде генерувати приплив інвестицій в інші сфери економіки в майбутньому.

Стратегічна ціль	Поточний стан	Бажаний стан (орієнтир)
Побудова внутрішньої транспортно-логістичної системи	Відсутня або зароджується	Логістична система працює на випередження замовлення оптимального перевезення
Подолання поточних проблем транспортних підприємств України	Підприємства долають самостійно	Відсутність перелічених проблем
Забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних перевізників та реалізація транзитного потенціалу України	Конкурентоспроможність дуже низька, потенціал не реалізовано	Україна повертає статус центру перетину транзитних шляхів та перевезень, особливо морських та автомобільних. Маючи літаки Руслан та Мрія, стає лідером вантажних авіаперевезень
Державна підтримка та стимулювання модернізаційних процесів, гармонізація вітчизняного законодавства у сфері транспорту зі світовими нормативами та міжнародними нормами	Перебуває на початковому етапі реалізації	Законодавче поле, нормативи та стандарти гармонізовано. Рухомий склад та логістична інфраструктура максимально технологічні та новітні
Диверсифікація та взаємне узгодження перспективних завдань діяльності різних типів елементів логістики	Кожне підприємство працює автономно	Створено бізнес-пул транспортних підприємств, котрий виконує координуючі функції
Забезпечення екологічності перевезень	Мало-врегульоване	Перевезення максимально екологічні
Розвиток just-in-time delivery	Імплементується закордонний досвід	Досягнуто світового рівня розвитку, в т.ч. із використанням безпілотних технологій

Рис. 1. Основні стратегічні орієнтири розвитку логістичної інфраструктури транспортних підприємств

Список літератури:

1. Войт С.М., Завгородній К.В. Стратегічні орієнтири розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України та її регіонів. *Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського. Економічні науки*. 2015. № 8. С. 730–732.
2. Дикань В.Л., Панчишин Я. М. Основи логістичної інтеграції при формуванні логістичних систем. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2009. № 26. С. 60–63.
3. Зборовська О.М. Актуальність використання логістики у виробничо-господарській діяльності підприємств. *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*. 2010. № 5. С. 36–42.
4. Сухорукова Т.Г. Характеристика класифікаційних ознак транспортної логістики. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2014. № 47. С. 51–57.
5. Устенко М.О. Основні напрямки розвитку та завдання транспортної логістики. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. № 5. URL: <http://global-national.in.ua/issue-5-2015/13-vipusk-5-traven>

2015-р/792-ustenko-m-o-osnovni-napryamki-rozvitku-ta-zavdannya-transportnoji-logistiki (дата звернення: 01.09.2020).

6. Устенко М.О., Івашкевич В.С. Перспективи розвитку транспортно-логістичних систем України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. № 59. С. 84–90.

Tymchenko N.M., Kuzmenko O.Yu. FORMATION OF STRATEGIC GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF LOGISTICS INFRASTRUCTURE OF TRANSPORT ENTERPRISES

The article is devoted to the study of modern problems and strategic directions of overcoming the development of logistics infrastructure of transport enterprises. In the current conditions of the globalized world space, the role of transport in the functioning of social reproduction is growing significantly. Modern means of communication simplify the processes of communication, exchange of documents and, at the same time, set new requirements for the efficiency of movement of people and material goods. Being able to instantly order the necessary product anywhere in the world, consumers expect the fastest possible delivery. Similarly, the spread of international cooperation in all areas of business requires mobility from people: sometimes there is a need to visit three different parts of the world in one day. All these needs are met by transport companies. The efficiency of transport enterprises is ensured by the business environment, a key element of which is the infrastructure, in particular logistics. Accordingly, it is the turbulence in the development of the economy and society that determines the relevance of research in the field of development of logistics infrastructure of transport enterprises. The author analyzes the main types of modern transport enterprises and components of the infrastructure of their development. The logistic component of the infrastructure of transport enterprises in their total population is singled out. The article substantiates the strategic guidelines for ensuring the efficiency of the logistics infrastructure of transport enterprises by outlining the most acute problems, identifying ways to overcome them, characterizing the current situation and determining the desired level of development. Achieving the outlined strategic guidelines will reduce the cost of transportation, improve their quality and efficiency, create conditions for healthy competition of carriers, especially in finding customers, rather than additional earnings from those consumers who have already been forced to turn to a particular carrier. If the desired level of logistics infrastructure development is achieved, full integration of domestic transport enterprises into the world transport space, balancing the interests of carriers and consumers of transport services, and increasing budget revenues from this industry as a result. Of course, an efficient transport and logistics system requires significant investment, but at the same time, it itself is a component of creating a favorable investment climate in the country, till it will be able to generate an influx of investment in other sectors of the economy in the future.

Key words: infrastructure, logistics, transportation, development, strategy, transport.

Український Є.О.

Приазовський державний технічний університет

Українська Т.А.

Приазовський державний технічний університет

Ганжесєв Д.І.

Приазовський державний технічний університет

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В УМОВАХ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

Транспортне управління в умовах вулично-дорожньої мережі міста є складним комплексом операцій, спрямованих на максимально ефективне функціонування транспортної системи та продуктивну взаємодію різних видів транспорту. Сучасна транспортна наука розглядає відмінні за природою та особливостями практичного використання методи оперативного управління транспортними потоками в умовах вулично-дорожньої мережі міста. Систематизація цих підходів і формування загального теоретичного базису, з урахуванням якого будуть розроблятися інновації транспортних процесів, є пріоритетами світових науковців. Саме на аналіз наявних публікацій і праць, як вітчизняних, так й іноземних науковців, повинна спиратися сучасна теоретика планувально-управлінських заходів оперативного характеру. І першим кроком до цього є розробка первинного плану розвитку оперативних управлінських рішень із урахуванням транспортних й інформаційних потоків, змінних часу та відстані, особливостей комунікаційного процесу та стохастичних факторів на транспорті. Для цього доцільно провести комплексний аналіз алгоритмів транспортного планування (у тому числі спираючись на первинні характеристики балансу між точністю вибірки та складністю формування первинних масивів даних). Ці алгоритми у спрощеному вигляді наведено на рис. 1-2. Наступним важливим кроком можна вважати встановлення розгалуженої системи зв'язків між окремими ланками алгоритмів, надання математичних апроксимацій наявних систем оперативного планування. Вони наводяться у вигляді рівнянь 1-7. Кінцевим етапом процесу розробки теоретичних засад модифікації систем оперативного транспортного планування є аналіз переваг і недоліків певних методів і підходів, з'ясування допусків на помилку, створення порівняльних характеристик. На базі зібраної інформації стає можливим надання конкретних рекомендацій щодо практичного використання методів оперативного управління транспортними потоками та можливих напрямків їх подальшого розвитку у вітчизняній науці. Вони узагальнені в блоці висновків до статті і вказують, зокрема, на протиріччя між наявною матеріально-технологічною базою транспортних систем міст і світовими тенденціями до ускладнення методології оперативних планувальних і управлінських заходів.

Ключові слова: транспорт, мережа, місто, методи, управління, оперативне планування.

Постановка проблеми. Швидкий розвиток транспортних мереж на тлі процесів урбанізації та збільшення кількості індивідуального транспорту створив передумови для перегляду наявних методів управління транспортними потоками в цілому та їх оперативного перерозподілу зокрема. Світовий досвід вказує на необхідність комплексних змін у процесах транспортного моделювання, моніторингу роботи вулично-дорожніх мереж (ВДМ) міст, транспортного планування, тощо. Вони є основоположними елементами, від налагодженого функціонування яких залежить зручність і безпека міського транспорту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наявні проблеми та базові перспективи розвитку методів оперативного управління транспортними потоками розглянуті достатньо детально як в іноземній, так й у вітчизняній науковій літературі. Зокрема, ряд теоретичних засад щодо властивостей транспортних потоків і нюансів їх комплексного аналізу наводиться В.І. Гуком та Ю.М. Шкодовським [1], математичні апроксимації методів перерозподілу транспорту надаються О.Ю. Крилатовим й А.П. Широкологовою [2], структуровані дані з моніторингу транспортного процесу та внесення оперативних змін до нього розгляда-

ються С.В. Жанказієвим, О.О. Туром, Р.Ф. Халілевім [3] та іншими.

Практичні особливості управління міським транспортом й наявні підходи до регулювання транспортних потоків розглянуті О.Ю. Крилатовим і В.В. Захаровим [4]. Моделюванню управлінських рішень присвячені роботи Д. Тапліна (Австралія) [5]. Наявний досвід реалізації інтелектуальних систем оперативного перерозподілу транспортних потоків наводиться Д. Барсело (Португалія) та І.А. Орозко [6], а також групою дослідників з Південної Кореї [7]. Проте в більшості досліджень лише поверхнево враховується складність адаптації новітніх теоретичних наробок до реальних умов і проблеми «першого кроку» до впровадження нетипових управлінських методів в умовах ВДМ міста.

Мета та постановка завдання. Виявити актуальні алгоритми оперативного управління транспортом в умовах міста, вказати їхні недоліки та шляхи подолання наявних проблем, запропоновані дослідниками. Сформувані теоретичні засади впровадження інноваційних методів оперативного управління в умовах сформованої структури ВДМ міст.

Виклад основного матеріалу. Сучасна теорія транспортних потоків спрямована на визначення точних закономірностей руху транспорту в різних умовах. Як система знань, вона відрізняється структурованістю та формалізацією взаємовідносин між транспортними засобами, маршрутами та часом [1]. Виходячи із цього, можна сформувані головну задачу розподілу трафіку на ВДМ міста – пошук оптимального маршруту без зворотного пробігу та з мінімальним часом руху [5]. Важливо враховувати й зовнішні умови, які впливають на показники часу. Так, під час виникнення небажаних стохастичних ситуацій або при певних режимах регулювання руху на подолання теоретично оптимального маршруту транспортний засіб витратить більше часу, ніж на подолання альтернативного.

Змінність показників часу на загальній хронологічній прямій потребує максимально швидкого корегування режимів руху, що враховується, зокрема, в системах управління транспортом у реальному часі (real-time fleet rerouting strategies) [6].

При середньо- та довгостроковому плануванні транспортного

процесу на вирішення вищезазначеної задачі спрямовано два методи: вузловий і матричний. Вузловий метод передбачає моніторинг скупчень транспортних засобів на ділянках ВДМ, умовно подібних до «крапок», які вносяться до обчислювальної системи як координовані проблемні вузли. Альтернативною в багатьох випадках стає побудова матриць кореспонденцій, яка лежить в основі матричного методу регулювання. Вона простіша в реалізації, проте ускладнює врахування переміщень індивідуального транспорту, спираючись переважно на вантажний трафік і рух міського пасажирського транспорту [4]. Обидва методи потребують побудови великих масивів похідних даних, що, у свою чергу, призводить до значних витрат розрахункових потужностей. Спрощення аналітичного масиву може стати ключовим елементом для адаптації середньо- та довгострокових алгоритмів до використання в оперативному плануванні. У такому випадку перевірку прийнятих управлінських рішень буде доцільним здійснювати за допомогою динамічних транспортних моделей [6].

Усі підходи перерозподілу транспортних засобів на ВДМ умовно поділяються на дві групи: інфраструктурні та організаційні [4]. У контексті оперативного регулювання доцільно розглядати лише останні, бо інфраструктурний підхід є часом та капіталоемним. Організаційний підхід спирається на фундаментальні характеристики інтенсивності, швидкості та щільності руху [1]. Він базується на формуванні похідного аналітичного масиву з використанням вузлового чи матричного методу. Наступним етапом стає розрахунок оптимальних маршрутів перерозподілу тран-

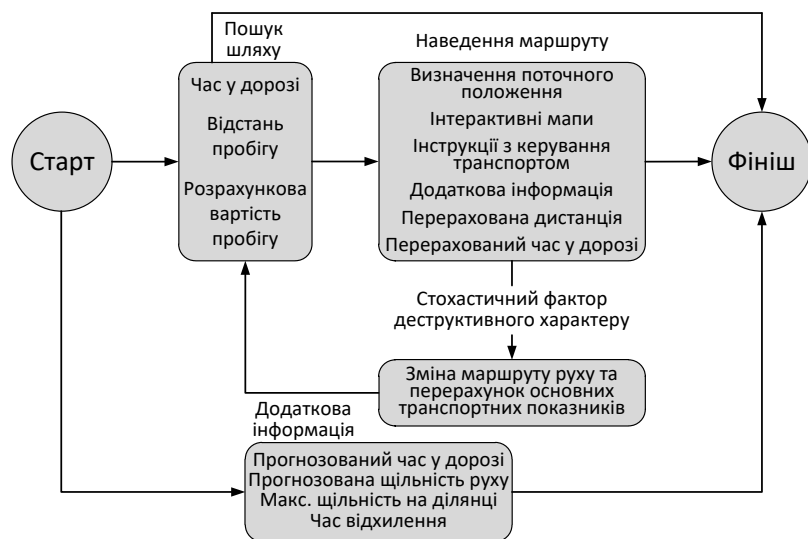


Рис. 1. Інформаційні потоки в системі управління транспортом

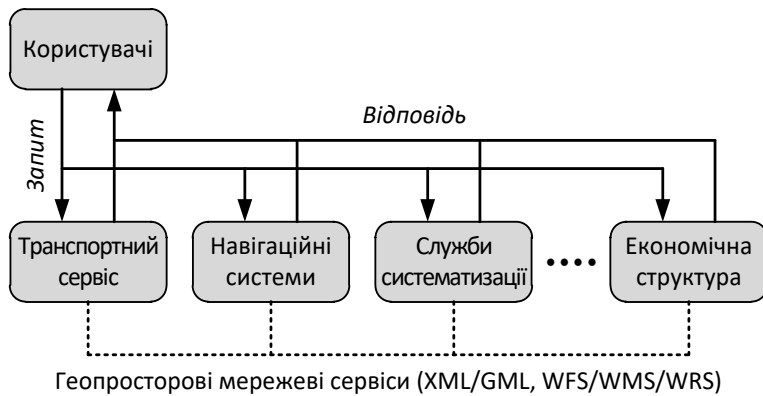


Рис. 2. Базова структура локально-орієнтованої системи управління транспортом у реальному часі



Рис. 3. Концептуальні основи прогнозування часу в дорозі

спортних потоків і проведення організаційних заходів [4]. Важливо пам'ятати, що на будь-якому етапі можливе виникнення помилок, пов'язаних із стохастичністю транспортного процесу. Тому рекомендовано використання так званого «буферного фактору» з коефіцієнтом помилки до 20% [6]. Перевірка отриманих результатів виконується

засобами математичного або імітаційного моделювання.

Прийняті управлінські рішення повинні спиратися на певний характер розподілу транспортних потоків. Він здійснюється за дугами чи маршрутами транспортної мережі. Розподіл за дугами можна формалізувати за допомогою орієнтованого графу $G = V + E$, в якому:

– V – множина послідовно нумерованих вузлів графу G ;

– E – множина послідовно нумерованих дуг графу G .

Таким чином, пошук конкурентної рівноваги може бути представлений рівнянням:

$$f^* = \arg \min(f) \sum_{e \in E} \int_0^{x_e} t_e(u) du \quad (1)$$

за умов:

$$\sum_{r \in R} f_r^w = F^w; \quad \forall w \in W \quad (2)$$

$$f_r^w \geq 0; \quad \forall r \in R^w; \quad w \in W \quad (3)$$

де:

$$x_e = \sum_{w \in W} \sum_{r \in R} f_r^w \delta_{e,r}^w; \quad \forall e \in E. \quad (4)$$

Рішення наведеної задачі є пошуком шляху умовної нелінійної оптимізації.

Алгоритм розподілу потоків за маршрутами транспортної мережі базується на групах паралельних шляхів зі зв'язком «виток-сток». Вважатимемо, що кожен із цих шляхів є комплексом дуг із різними характеристиками. Тоді задача пошуку конкурентної рівноваги прийме наступний вигляд:

$$\min(f) \sum_{r \in R} \sum_{j=1}^{f_r} \int_0^{f_j} t_{ij}(u, h_{ij}) du \quad (5)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{r \in R} f_r = F; \quad (6)$$

$$f_r \geq 0; \quad \forall r \in R. \quad (7)$$

Ці рівняння є достатньо дієвими в сучасних умовах [2].

Практична реалізація оперативного перерозподілу транспортних потоків використовує в якості основного керуючого елементу систему регульованих перехресть, на яких діють жорсткі нескординовані або скоординовані режими. В останньому випадку відзначається зменшення витрат часу на перехрестях та зниження ризику виникнення критичних ситуацій у пікові періоди [8].

Крім того, велику роль відіграють режими руху на ділянках з одностороннім або реверсивним рухом, пріоритетні режими для транспорту загального використання, окреме регулювання руху вантажного транспорту, зміни в паркувальній політиці тощо. Також розповсюджені системи надання переваг певним транспортним одиницям, наприклад, із більшою кількістю пасажирів у салоні або за принципом парних/непарних номерів [9]. При цьому короточасні зміни станів ВДМ повинні миттєво фіксуватися та надаватися до розрахункової системи, де вони будуть використовуватися для перерахунку масиву даних і модифікації прийнятих управлінських рішень.

Висновки. Першим кроком до впровадження чи модернізації систем оперативного управління транспортними потоками в умовах ВДМ міста

є формування масивів похідних даних із зазначенням критичних точок (вузловий метод) чи зон (матричний метод). Перспективним напрямом на цьому етапі є пошук шляхів поєднання переваг кожного із зазначених підходів в одному методі, а також його адаптації до математичного або імітаційного моделювання. Перерозподіл транспортних потоків повинен здійснюватися з урахуванням характеру кореспонденції та після комплексного аналізу наявних технічних засобів розподілу та регулювання. У реальних умовах застарілість або недостатня кількість цих засобів стають значною перешкодою на етапі практичної реалізації систем. Перегляд режимів роботи елементів транспортної інфраструктури, що управляються, а також збір й аналіз результатів управління є перспективним напрямом для подальших досліджень.

Список літератури:

1. Гук В.І., Шкодовський Ю.М. Транспортні потоки: теорія та її застосування в урбаністиці. Харків : Золоті Сторінки. 2009. 231 с.
2. Крылатов А.Ю., Широколобова А.П. Равновесное распределение потоков по маршрутам линейной транспортной сети как решение системы алгебраических уравнений. *Вестник Санкт-Петербургского университета*. 2018. Т. 14. Вып. 2. С. 103–115.
3. Жанказиев С.В., Тур А.А., Халилев Р.Ф. Интеллектуальные дороги – современный взгляд. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2010. Вып. 2. С. 1–7.
4. Крылатов А.Ю., Захаров В.В. Управление транспортными потоками мегаполисов. *Гибкость и адаптивность глобальных цепей поставок*: сб. ст. 7-й российско-немец. конф. по логистике и SCM DR-LOG. 2012. Санкт-Петербург. С. 305–310.
5. Taplin J. Simulation models of traffic flow. *Operational Research Society of New Zealand, 34th Annual Conference, ORSNZ'99*. 1999. N/A. P. 175–184.
6. Barcelo J., Orozco J. Fleet rerouting strategies with real-time traffic information. *12th World Conference on Transportation Research WCTR*. Lisbon, 2010. 25 p.
7. Park D. Location-based dynamic route guidance system of Korea: system design, algorithms and initial results. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2010. Vol. 14. P. 51–59.
8. Витолин С.В. Современные методы регулирования транспортных потоков на светофорных объектах и оценка их эффективности. *Вестник Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та*. 2015. Вып. 39. С. 132–139.
9. Зырянов В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения. *Транспорт Российской Федерации*. 2011. Вып. 1. С. 54–59.

Ukrainskyi Ye.O., Ukrainka T.A., Ganzheev D.I. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF OPERATIONAL MANAGEMENT OF TRAFFIC FLOWS IN THE CONDITIONS OF THE CITY'S ROAD NETWORK

Transport management in the street and road network of the city is a complex set of operations aimed at the most efficient operation of the transport system and productive interaction of different modes of transport. Modern transport science considers different in nature and features of practical use methods of operational management of traffic flows in the street and road network of the city. Systematization of these approaches and the formation of a common theoretical basis, taking into account which will be developed innovations in transport processes, are the priorities of world scientists. It is on the analysis of existing publications and works of both domestic and foreign scientists that the modern theory of operational planning and management measures should be based. And the first step to this is the development of a primary plan for the development of operational management decisions, taking into account transport and information flows, time and distance variables, the peculiarities of the communication process and stochastic factors in transport. To do this, it is advisable to conduct a comprehensive analysis of transport planning algorithms (including based on the primary characteristics of the balance between sampling accuracy and the complexity of the formation of

primary data sets). These algorithms are shown in a simplified form in Fig. 1-2. The next important step can be considered the establishment of an extensive system of connections between the individual parts of the algorithms, providing mathematical approximations of existing operational planning systems. They are given in the form of equations 1-7. The final stage of the process of developing the theoretical foundations of modification of operational transport planning systems is the analysis of the advantages and disadvantages of certain methods and approaches, clarification of tolerances, the creation of comparative characteristics. Based on the collected information, it becomes possible to provide specific recommendations for the practical use of methods of operational management of transport flows and possible directions for their further development in domestic science. They are summarized in the block of conclusions to the article and indicate, in particular, the contradictions between the existing material and technological base of urban transport systems and global trends to complicate the methodology of operational planning and management activities.

Key words: *transport, network, city, methods, management, operational planning.*

Хаврук В.О.

Національний транспортний університет

АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І СУЧАСНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ОБОВ'ЯЗКОВОГО ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ В УКРАЇНІ

У статті аналізується рівень безпеки автотранспортних засобів на основі кількості дорожньо-транспортних пригод через технічні несправності, а також обґрунтовується доцільність запровадження в Україні обов'язкового технічного контролю для всіх автотранспортних засобів на основі досвіду країн Європейського Союзу.

Здійснено аналіз та порівняння статистичних даних щодо аварійності автотранспортних засобів через технічні несправності та з'ясовано, що офіційна статистика є заниженою і не відображає об'єктивну ситуацію в Україні, адже частка ДТП через несправності становить 0,12–0,2%, що в 100 разів менше, ніж у країнах Європейського Союзу. Встановлено, що в структурі ДТП через технічні несправності частка ДТП з несправностями гальмівної системи становить 50%, частка ДТП з несправностями системи освітлення та сигналізації, рульового керування, шини, колеса – відповідно 16%; 14%; 10%.

Обґрунтовується доцільність щодо вдосконалення державного регулювання у сфері автотранспорту як одного з основних механізмів підвищення дорожньої безпеки. Виконаний загальний аналіз основних нормативно-правових актів України, якими регулюється обов'язковий технічний контроль транспортних засобів.

Наведено кількість та розподіл суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів в областях України.

Вказано способи підвищення точності методики визначення необхідної кількості за їх пропускною спроможністю за рахунок уточнення тривалості діагностування транспортних засобів різних типів.

Для комплексної методики визначення виробничих потужностей суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів обґрунтовано необхідність урахувати фактори, що впливають на їх функціонування в регіоні та поєднання методик визначення необхідної кількості діагностичних ліній обов'язкового технічного контролю транспортних засобів, виходячи з їх пропускної спроможності та оптимізації комплексу діагностичного обладнання.

Результати статті можуть бути використані на початкових етапах розроблення методики визначення виробничих потужностей суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів.

Ключові слова: діагностична лінія, дорожньо-транспортна пригода, методика, суб'єкт проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів, технічна несправність, транспортний засіб.

Постановка проблеми. За даними ВООЗ [1], ситуація з дорожньо-транспортними пригодами (далі – ДТП) погіршується. Смертність унаслідок аварій на дорогах зросла до 1,35 млн людей на рік, а це в середньому близько 3700 летальних випадків щодня, до 50 млн людей отримують травми, а сумарні економічні втрати перевищують 500 млрд доларів. Величезний збиток, який наносить державам дорожньо-транспортний травматизм, дозволяє віднести його до одних з основних загроз сучасності. Автомобільний транспорт становить певний рівень небезпеки як безпосередньо для автовласників (водіїв), так і для інших учасників дорожнього руху. В Україні, починаючи з 2016 р., спостерігається інтенсивне завезення вживаних автомобілів, що у свою чергу

призводить до «старіння» автопарку, при цьому проблема належного технічного стану завезених автомобілів постає однією з тих, яку необхідно вирішувати для забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні.

З огляду на дані обставини дослідження питання забезпечення технічного стану автотранспорту через проведення обов'язкового технічного контролю (далі – ОТК) транспортних засобів та визначення спроможності суб'єктів забезпечити проведення ОТК у контексті підвищення безпеки транспортних засобів є необхідним та важливим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що окремі проблеми технічного контролю автотранспортних засобів відображені в роботах

таких дослідників: Є.В. Бондаренка, В.І. Васильєва, М.І. Веревкіна, В.П. Волкова, П.Б. Комова, В.О. Корчагіна, П.О. Кравченка, М.В. Кулева, М.Є. Молодих, С.М. Мороза, А.М. Новікова, Р.М. Петряєва, П.П. Сергуна, І.О. Черняєва, В.М. Шабурова та ін.

У роботах цих авторів дослідження проблеми технічного контролю автотранспортних засобів здійснюється за такими основними напрямками: забезпечення якості ОТК; оптимізація номенклатури технологічного обладнання для ОТК за рахунок системи технічного обслуговування; оптимізація загальних виробничих потужностей для проведення ОТК.

Зважаючи на прагнення України слідувати досвіду країн Європейського Союзу (ЄС), де з 1 січня 2015 року було введено техконтроль на всі автомобілі з метою підвищення безпеки автотранспорту, перспективним напрямом для дослідження проблеми технічного контролю автотранспортних засобів в Україні, де рівень травматизму в дорожньо-транспортних пригодах є одним із найвищих в Європі, є аналіз та оцінка методики визначення загальних виробничих для проведення ОТК автомобільного парку.

Постановка завдання. Мета статті – здійснити аналіз статистики ДТП в Україні через технічні несправності автотранспортних засобів і з'ясувати методологічні підходи у визначенні загальних виробничих потужностей для проведення ОТК автотранспортних засобів (АТЗ).

Виклад основного матеріалу дослідження. У складі автопарку України переважають транспортні засоби, що мають низький початковий технічний рівень і незадовільний технічний стан протягом експлуатації. Оцінити аварійність автотранспортних засобів через їхній

технічний стан досить проблематично. Згідно зі статистикою до 2010 року в Україні частка ДТП через технічний стан становила 4% усіх подій, а в 10% випадків технічний стан істотно збільшує тяжкість ДТП [2, с. 6]. Хоча, як стверджують автори [2, с. 6], така статистика відчутно відрізняється від спеціальних досліджень в інших країнах. Так, у Німеччині через технічний стан причиною ДТП є 10...25% від усіх ДТП, у США – 15...25%, у Франції – 20%, в Угорщині – 18...20%, в Данії – 11...12%.

Але вже у 2017–2020 рр. згідно з даними Національної поліції України незадовільний технічний стан транспортних засобів є причиною лише 0,1–0,2% дорожньо-транспортних подій [3; 4] (рис. 1).

Найнебезпечними несправностями, які найчастіше спричиняють ДТП, є несправності гальмівної системи (до 50%), системи освітлення та сигналізації (16%), рульового керування (14%), шини, колеса (10%) [5] (рис. 2).

Основні показники, що характеризують ДТП через технічну несправність транспортних засобів, не можна визнати такими, що об'єктивно відбивають реальне положення. Це пов'язано з неможливістю в ряді випадків визначити реальний технічний стан автомобіля в момент здійснення ДТП, а також із певними недоліками існуючої практики їх документування і аналізу. З урахуванням щорічного приросту автомобільного парку очікується збільшення вказаних вище цифр.

Для підвищення ефективності управління забезпеченням безпеки дорожнього руху необхідно налагодити чітку координацію дій місцевих і регіональних органів управління під час рішення ними задач по забезпеченню безпеки дорожнього руху. Для досягнення даної мети необхідне ство-



Рис. 1. Аварійність в Україні через технічні несправності

Примітка: 2020* – орієнтовні дані

рення правових, фінансово-економічних і організаційних механізмів взаємодії місцевих і регіональних органів управління. Одним з основних механізмів підвищення дорожньої безпеки засобів є вдосконалення державного регулювання у сфері автотранспорту. Підвищення дорожньої безпеки автотранспорту і скорочення кількості ДТП пов'язане з вдосконаленням системи організації і проведення технічного контролю транспортних засобів з широким використанням засобів технічного діагностування.

До 2011 року технічний контроль в Україні називався державним технічним оглядом і був, власне, загальнообов'язковим для переважної більшості транспортних засобів, що беруть участь у дорожньому русі. За інформацією журналістів, близько 90% власників автомобілів отримували талони про техогляд корупційним шляхом, без будь-яких перевірок. За висновками експертів обсяг корупційних платежів на рік становив близько 1 млрд грн. Між тим ДТП в Україні відбуваються здебільшого внаслідок порушень правил дорожнього руху, а несправність автомобілів становить у таких випадках менше 1% [6].

Під час державного технічному огляду вирішуються такі основні завдання:

1) перевірка відповідності технічного стану й устаткування транспортних засобів вимогам нормативних правових актів, правил, стандартів і технічних норм в області забезпечення безпеки дорожнього руху, а також технічних нормативів викидів, шкідливих (забруднюючих) речовин в атмосферне повітря;

2) контроль-допуск водіїв до участі в дорожньому русі;

3) попередження і припинення злочинів і адміністративних правопорушень, пов'язаних з експлуатацією транспортних засобів;

4) виявлення викрадених транспортних засобів, а також транспортних засобів учасників дорожнього руху, що зникли з місць ДТП;

5) державний облік показників стану безпеки дорожнього руху.

5 липня 2011 року Верховна Рада внесла зміни до Закону «Про дорожній рух», якими скасувала обов'язковий техогляд для легкових автомобілів, які використовуються не в комерційних цілях [7]. Однак після підписання Угоди про асоціацію з Європейським союзом Україна взяла на себе зобов'язання про повернення технічного огляду. В ЄС з 1 січня 2015 року було введено техконтроль на всі автомобілі. Україна зобов'язалась це зробити до 1 січня 2017 року – обов'язковий технічний контроль для вантажних автомобілів повернули у 2015 році, для автобусів – у 2017. Поетапне повернення техконтролю в Україні стало проходити за такою схемою:

– першими під ОТК потрапили ті перевізники, які спеціалізуються на міжнародних пасажирських перевезеннях. Свої транспортні засоби вони повинні були в обов'язковому порядку оснастити пристроями, що лімітують швидкісний режим, а також тахографами;

– наступними на черзі стали внутрішньодержавні пасажирські перевізники. По відношенню до них зараз висуваються такі ж вимоги щодо монтажу додаткових приладів і проходження ОТК, які необхідно реалізувати, починаючи з 1 січня 2019 року;

– якщо законопроект про приведення внутрішньодержавних стандартів до норм ЄС отримає (все ж таки) юридичну силу (коли буде прийнятий), то для власників легкових автомобілів ОТК стане актуальним з 1 січня 2021 р.

Повернення техконтролю в Україні пов'язане з двома основними причинами: по-перше, це

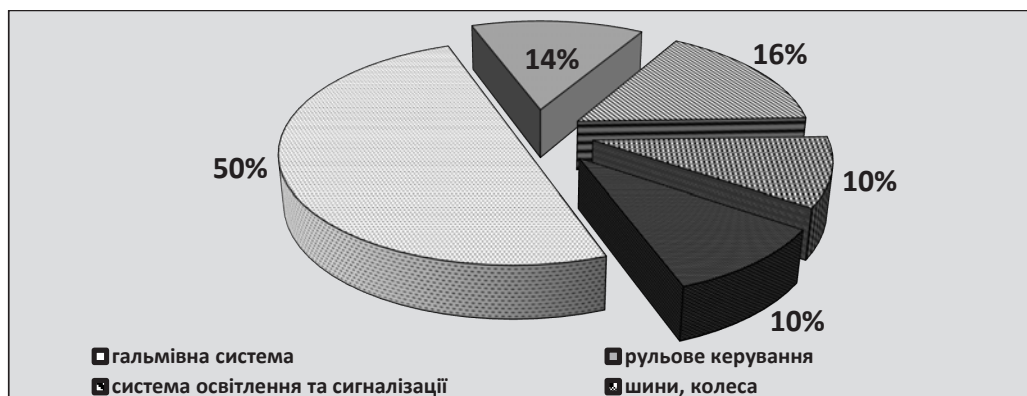


Рис. 2. Розподіл ДТП за технічними несправностями автомобілів

кількість ДТП (яка постійно збільшується), пов'язаних з незадовільним технічним станом автомобілів; по-друге, Україна прийняла на себе зобов'язання після підписання в 2014 році Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, на підставі яких в нашій країні повинні повернути обов'язковий техогляд легкових і вантажних автомобілів. У зв'язку з цим 08.12.2017 р. у Верховній Раді зареєстровано законопроект «Про приведення законодавства України у сфері автомобільного транспорту відповідно до актів Європейського Союзу», прийняття якого передбачає нові правила проходження техогляду, в тому числі й обов'язковий техогляд для легкових автомобілів некомерційного призначення. Законом передбачено поступовий перехід на обов'язкове проходження техогляду до 2022 р.

Насправді, в тексті Угоди про асоціацію з ЄС техконтроль не згадується взагалі. Він регламентується Директивою 2014/45/ЄС, яка є обов'язковою для виконання лише державами-членами ЄС. У травні 2019 р. Мінінфраструктури оприлюднило законопроект про відновлення з 2022 р. обов'язкового техконтролю приватних автомобілів (такі вимоги запроваджуються відповідно до Директиви 2014/45/ЄС).

Наразі правовими підставами здійснення ОТК в Україні є такі нормативно-правові акти:

- Закон України «Про дорожній рух» (стаття 35);
- Постанова Кабінету Міністрів України від 30 січня 2012 року № 137 «Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу»;

- Постанова Кабінету Міністрів України від 10 березня 2017 року № 141 «Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 30 січня 2012 р. № 137 і від 31 травня 2012 р. № 512»;

- Постанова Кабінету Міністрів України від 31 травня 2012 року № 512 «Про затвердження Порядку формування загальнодержавної бази даних про результати обов'язкового технічного контролю транспортних засобів, доступу до неї та встановлення розміру плати за надання таких послуг».

Порядок проведення обов'язкового технічного контролю та обсяги перевірки технічного стану транспортних засобів безпосередньо визначається постановою Кабінету Міністрів України [8].

Транспортні засоби (далі – ТЗ), які не підлягають обов'язковому технічному контролю [8–10]:

- 1) легкові автомобілі всіх типів, марок і моделей, причепа (напівпричепа) до них (крім таксі

та автомобілів, що використовуються для перевезення пасажирів або вантажів з метою отримання прибутку), мотоцикли, мопеди, мотоколяски та інші прирівняні до них транспортні засоби – незалежно від строку експлуатації;

- 2) легкові автомобілі, що використовуються для перевезення пасажирів або вантажів з метою отримання прибутку, вантажні автомобілі незалежно від форми власності вантажопідйомністю до 3,5 т, причепа до них – зі строком експлуатації до 2-х років;

- 3) технічні засоби для агропромислового комплексу, визначені Законом України «Про систему інженерно-технічного забезпечення агропромислового комплексу України».

Станом на 2020 р. в Україні підлягають обов'язковому техконтролю такі види транспортних засобів:

- 1) легкові автомобілі, що використовуються для перевезення пасажирів або вантажів з метою отримання прибутку, зі строком експлуатації більше двох років – періодичність кожні два роки;

- 2) вантажні автомобілі вантажопідйомністю до 3,5 т, причепа до них зі строком експлуатації більше двох років – періодичність кожні два роки;

- 3) вантажні автомобілі вантажопідйомністю більше 3,5 т, причепа до них і таксі незалежно від строку експлуатації – періодичність щороку;

- 4) автобуси та спеціалізовані ТЗ, що перевозять небезпечні вантажі, незалежно від строку експлуатації – періодичність двічі на рік.

Обов'язковий технічний контроль транспортного засобу передбачає перевірку технічного стану транспортного засобу, а саме [8–10] системи: гальмового і рульового керування; зовнішніх світлових приладів; пневматичних шин та коліс; світлопропускання скла; газобалонного обладнання (за наявності); інших елементів у частині, що безпосередньо стосується безпеки дорожнього руху та охорони навколишнього природного середовища.

Обов'язковий технічний контроль транспортних засобів, призначених для експлуатації на вулично-дорожній мережі загального користування та зареєстрованих територіальними органами Міністерства внутрішніх справ України, здійснюють суб'єкти проведення обов'язкового технічного контролю, які мають на правах власності або користування обладнання, що дає змогу перевіряти технічний стан транспортних засобів на відповідність вимогам безпеки дорожнього руху та охорони навколишнього середовища. Суб'єкти проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів – юри-

дичні або фізичні особи – підприємці, інформація про яких внесена до реєстру суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів, та які мають на правах власності або користування обладнання, що дає змогу перевіряти технічний стан транспортних засобів на відповідність вимогам безпеки дорожнього руху та охорони навколишнього природного середовища [8; 9]. Станом на кінець травня 2020 р. в Україні діяло 742 суб'єкти проведення ОТК (СП ОТК) (табл. 1).

Основною умовою ефективності функціонування суб'єктів проведення ОТК транспортних засобів є рівновага попиту і пропозиції на послуги з діагностування технічного стану транспортних засобів. Це ситуація на ринку, за якої кількість послуг, яку хочуть придбати споживачі (власники транспортних засобів), ідентична кількості послуг, яку можуть запропонувати СП ОТК. Засобом забезпечення цієї рівноваги є планування адекватної завантаженості пунктів технічного огляду транспортних засобів.

Незабезпеченість СП ОТК виробничою програмою, яка гарантує окупність і економічний ефект

їхньої діяльності на рівні, що забезпечує перевищення доходів СП ОТК над витратами, повинна розглядатися як дія, спрямована проти статутних інтересів притягнених у систему суб'єктів, а отже, проти ефективного виконання робіт і, загалом, проти зниження кількості ДТП. Крім того, систематичне перевищення витрат над доходами організації призведе до неплатоспроможності підприємства і, як наслідок, до банкрутства [13; 14].

Програма ОТК є фіксованою величиною, яка безпосередньо пов'язана з кількістю зареєстрованих транспортних засобів. У зв'язку з цим будь-які чинники, що викликають зростання кількості СП ОТК, а отже, і їх сукупного виробничого потенціалу з випередженням росту кількості транспортних засобів, створюють передумови до скорочення фактичного завантаження СП ОТК, зменшення їхніх доходів, втрати комерційного інтересу участі в системі ОТК. Тобто надмірне зростання кількості СП ОТК може змінитися інтенсивним виходом СП ОТК із системи ОТК, що ставить під загрозу її стабільність і стійкість функціонування.

Таблиця 1

Кількість суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів в Україні (станом на 25.05.2020 р.) [11; 12]

Область	Кількість СП ОТК		
	в обласному центрі	по області	всього
Вінницька	12	24	36
Волинська	7	38	45
Дніпропетровська	21	40	61
Донецька	–	16	16
Житомирська	9	18	27
Закарпатська	1	19	20
Запорізька	11	20	31
Івано-Франківська	8	23	31
Київська	42	41	83
Кіровоградська	9	16	25
Луганська	–	7	7
Львівська	20	33	53
Миколаївська	12	8	20
Одеська	15	47	62
Полтавська	7	20	27
Рівненська	12	14	26
Сумська	10	17	27
Тернопільська	3	24	27
Харківська	15	23	38
Херсонська	7	7	14
Хмельницька	6	11	17
Черкаська	6	9	15
Чернівецька	7	6	13
Чернігівська	8	13	21
Разом	248	494	742

З іншого боку, може виникнути ситуація, коли виробнича програма ОТК значно перевищує виробничі потужності СП ОТК. Це призведе до нерегламентованого скорочення часу діагностування технічного стану транспортних засобів, порушення технології контрольно-діагностичних робіт і зниження ефективності системи ОТК в цілому.

Згідно з методикою, запропонованою С.М. Морозом, найбільш простий метод визначення необхідної кількості діагностичних ліній ОТК полягає в тому, що кількість ліній визначається, виходячи з їх пропускної спроможності [15]:

$$L = \frac{A}{D \times N}, \quad (1)$$

де A – кількість АТЗ, що діагностуються, за розрахунковий період, од.; D – кількість робочих днів лінії в році, день; N – середньоденна пропускна спроможність діагностичної лінії, од.

Основною проблемою є отримання даних про кількість АТЗ, що діагностуються, за розрахунковий період і середньоденну пропускну спроможність діагностичної лінії. Дані про кількість АТЗ, що діагностуються, за розрахунковий період автор пропонує отримати, взявши середнє значення кількості транспортних засобів, що діагностуються, дані ж про пропускну спроможність діагностичної лінії отримати, використовуючи метод хронометражу.

Проте дані, отримані таким шляхом, є неточними і вимагають коригування. Точніше визначити значення кількості транспортних засобів, що діагностуються, можна виходячи з їх кількості, структури і віку. Крім того, необхідно враховувати, що час, який витрачається на діагностування ТЗ різних типів, є різним [16, с. 24].

Згідно з Порядком проведення ОТК [8] розрахунковий оперативний час обов'язкового технічного контролю транспортного засобу загального призначення максимально становить: 30 (40) хвилин – для причепів (напівпричепів); 40 хвилин – для легкових автомобілів; 60 хвилин – для вантажних автомобілів; 65 хвилин – для автобусів. Для спеціальних та спеціалізованих транспортних засобів або транспортних засобів, обладнаних додатковим устаткуванням, оперативний час може бути змінено.

І.О. Черняєв у своїх дослідженнях розробив методику забезпечення якості контролю технічного стану ТЗ у регіональних системах державного технічного огляду [17]. Проведений ним аналіз роботи міської системи техконтролю і її нормативного складника показав, що рівень якості процедури техконтролю в системі зада-

ється шляхом пред'явлення до пунктів технічного контролю (далі – ПТК) масиву вимог, що підлягають обов'язковому виконанню. У рамках масиву вимоги згруповані по основних напрямках забезпечення якості. Ними є: нормативно-правове забезпечення; нормативно-технічне забезпечення; кадрове забезпечення; виробничо-технічна база; метрологічне забезпечення; технологія проведення робіт. У роботі детально розглянутий кожний із позначених напрямів. Інформація по кожному напрямку узагальнена і систематизована. Під час аналізу напрямів забезпечення якості були виявлені невідповідності й недоліки в структурі та змісті нормативної бази і надані рекомендації щодо їх усунення. Також визначені основні вимоги, що підлягають виконанню і контролю для підтримки якості процедури техогляду на заданому рівні. Рівень регіональної системи техконтролю в цілому дозволив виявити два рівні забезпечення якості – елементарний і системний: На основі аналізу роботи системи техогляду визначена структура кожного рівня і виявлені основні недоліки існуючих елементів системи якості, що потребують усунення [17]: відсутність механізму оптимального розподілу техконтролю по території регіону; суб'єктивність результатів заходів, що проводяться в підсистемі управління якістю – щоденних перевірок роботи ПТК; перевірка виконання переважної кількості вимог у рамках підсистеми, забезпечення якості – планових перевірок тих, що проводяться раз на рік – за існування необхідності постійного контролю виконання даних вимог у режимі «реального часу»; відсутність автоматизації, що різко підвищує трудомісткість робіт, збільшує суб'єктивність результатів, тоді як застосування автоматизованих систем за необхідності обліку й обробки значної кількості однотипних параметрів є очевидним. Під час аналізу системного рівня забезпечення якості І.О. Черняєвим була виявлена необхідність розроблення методики визначення раціонального розміщення ПТК по території регіону. Для оцінки системи якості (далі – СЯ) або її існуючих елементів ним розроблена система показників, що дозволяють оцінити СЯ, порівняти їх між собою та «ідеальною» СЯ, наочно ілюструючи результати оцінки.

В.М. Шабуров у ході проведених їм досліджень дійшов висновку про відсутність методики формування оптимального комплексу діагностичного обладнання для багатоканальних ПТК і відповідних практичних рекомендацій [18]. У результаті нарощування потужності ПТК відбувається

шляхом додавання повнокомплектних діагностичних ліній, що призводить до нерівномірного завантаження обладнання по різних операціях і зайвих витрат на проведення техконтролю і, відповідно, зменшує ефективність роботи ПТК.

Крім того, автор вказує на те, що існуючі методики не враховують реальну експлуатаційну надійність самого діагностичного обладнання, яка значною мірою визначає пропускну спроможність ПТК по відповідних діагностичних операціях [18]. В.М. Шабуровим запропоновано математичну модель оптимізації комплексу діагностичного обладнання ПТК:

$$\begin{cases} \alpha(K_i, X_i) \rightarrow \min \\ 0 < \rho(K_i, X_i) \leq \rho_{\text{норм}} \\ K_i \geq K_{\text{min}} \end{cases} \quad (2)$$

де α – інтегральний показник оцінки ефективності використовуваного комплексу обладнання; K – комплект обладнання; X – технічне рішення, ρ – рентабельність ПТК, %; $\rho_{\text{норм}}$ – нормативне значення рентабельності ПТК, %; K_{min} – мінімально необхідний комплект обладнання для проведення техконтролю, що регламентується нормативними документами.

Експериментальні дослідження, проведені автором, показали ефективність розробленої методики.

У роботі Р.П. Петряєва розглядається управління технічним станом під час річного технічного огляду транспортних засобів [19]. Для отримання достовірної оцінки впливу різного роду факторів на функціонування в регіоні контролю автотранспорту з використанням інструментальних засобів у ході технічного контролю був підготовлений список факторів (табл. 2) ПТК ТЗ [16, с. 27].

Виявлення найбільш вагомих факторів було проведено з використанням методу апіорного ранжирування. На основі отриманих даних створена спрощена методика первинного вибору підприємства або організації для подальшого здійснення на його базі ОТК ТЗ з використанням інструментальних засобів.

Висновки. Отже, офіційні статистичні дані щодо аварійності автотранспортних засобів через несправності (у межах 0,12–0,2%) в Україні, з одного боку, можуть бути підставою для незапровадження ОТК для всіх автотранспортних засобів, але, з іншого боку, ці дані в 100 разів є меншими за аналогічні дані (в межах 10–25%) у країнах ЄС, що дає підстави стверджувати про неналежний облік таких ДТП у нашій державі. Крім того, прагнення України переймати досвід ЄС сприятиме запровадженню ОТК для всіх АТЗ, яке може відбутись протягом 2021–2022 рр. За таких умов розробка методики визначення необхідних

Таблиця 2

Фактори, що впливають на функціонування в регіоні ОТК ТЗ

	Фактор	Ранг
1	Наявність виробничо-технічної бази і території для здійснення інструментального контролю	18
2	Рівень взаємодії з регіональним сервісним центром ГСЦ МВС	38
3	Пристосованість адміністративних і побутових будівель і споруд для розміщення клієнтів і роботи персоналу	47
4	Пристосованість ВТБ ПТК до перевірки переважаючих типів ТЗ в регіоні	53
5	Рівень взаємодії з регіональною виконавчою владою	54
6	Кількість ПТК ТЗ у регіоні	71
7	Наявність на підприємстві кваліфікованого персоналу	82
8	Віддаленість від найближчих станцій технічного обслуговування	89
9	Кількість підрозділів МВС, що здійснюють річний технічний контроль	98
10	Питома вага сіл і селищ у регіоні	109
11	Наявність органу управління автотранспортом у регіоні	112
12	Кількість ТЗ, що припадає на один підрозділ дорожньої поліції	125
13	Площа території регіону	130
14	Рентабельність вантажних автоперевезень	135
15	Відносна кількість прибуткових автотранспортних організацій у регіоні	143
16	Можливість для проведення контролю спеціальних і спеціалізованих ТЗ	148
17	Річна кількість ДТП на одиницю автотранспорту	155
18	Середня заробітна плата в регіоні	160
19	Кліматичні умови в регіоні	162
20	Можливість для проведення контролю газобалонних автомобілів	171

для ОТК виробничих потужностей СП ОТК має велике практичне значення, оскільки автовласники зацікавлені як у найшвидшому проходженні ОТК, а для ПТК важливим фактором виробничої діяльності є завантаженість і зменшення простою.

У контексті розробки методики визначення виробничих потужностей СП ОТК транспортних засобів необхідно враховувати, що:

1) застосування сучасного обладнання, оптимізація і контроль якості робіт з визначення технічного стану транспортних засобів дозволяє скоротити час контрольно-діагностичних операцій. Таким чином, виникає необхідність коригування нормативів трудомісткостей робіт, що виконуються в рамках процедури ОТК;

2) відсутня теоретично обґрунтована методика визначення необхідної кількості діагностичних ліній, що є серйозною перешкодою на шляху ефективного функціонування системи ОТК;

3) залишається відкритим питання оптимізації кількості діагностичних ліній у довгостроковій перспективі. Ні в одному з розглянутих досліджень не проводилося прогнозування зміни кількості ТЗ, а використання статистичних даних дозволяє зробити висновок про відповідність кількості діагностичних ліній оптимальному значенню тільки на кінець звітної періоду і не дає можливості планувати попит на послуги ОТК.

У зв'язку з цим для комплексної методики визначення виробничих потужностей СП ОТК доцільно врахувати фактори, що впливають на їх функціонування в регіоні, поєднати та вдосконалити дві методики:

1) визначення необхідної кількості діагностичних ліній ОТК виходячи з їх пропускнуої спроможності;

2) оптимізація комплексу діагностичного обладнання СП ОТК.

Список літератури:

1. Кількість ДТП у світі зростає – ВООЗ. URL: <https://phc.org.ua/news/kilkist-dtp-u-sviti-zrostaе-vooz> (дата звернення: 11.09.2020).
2. Волков В.П., Комов П.Б., Комов Е.А. Организация ежедневного контроля безопасности транспортных машин в автохозяйствах автомобильного транспорта. *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. Донецьк, 2010. № 21. С. 5–22.
3. Скільки ДТП в Україні виникає через технічні несправності. URL: https://auto.24tv.ua/skilky_dtp_v_ukraini_vunukaе_cherez_tekhnichni_nespravnosti_n16227 (дата звернення: 11.09.2020).
4. Патрульна поліція України. Статистика. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 11.09.2020).
5. Еннанов В. Дослідження МВС щодо основних причин ДТП. *АвтоЦентр*. 2005. № 5.
6. Техогляд скасували. Кому і скільки доведеться платити. URL: <https://www.unian.ua/economics/transport/515193-tehogyad-skasuvati-komu-i-skilki-dovedetsya-platiti.html> (дата звернення: 11.09.2020).
7. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо усунення надмірного державного регулювання у сфері автомобільних перевезень : Закон України від 5.07.2011 р. № 3565-VI. *Відомості Верховної Ради України*. 2012. № 5. С. 34.
8. Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу : Постанова Кабінету Міністрів України від 30.01.2012 р. № 137. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/137-2012-%D0%BF#Text> (дата звернення: 11.09.2020).
9. Головний сервісний центр МВС. Обов'язковий технічний контроль. URL: <https://hsc.gov.ua/index/poslugi/faq/obov-yazkovij-tehnichnij-kontrol-shho-tse-ta-dlya-kogo/obov-yazkovij-tehnichnij-kontrol/> (дата звернення: 11.09.2020).
10. Про дорожній рух : Закон України від 30.06.1993 р. №3353-XII. *Відомості Верховної Ради України*. 1993. № 31. С. 338.
11. Реєстр суб'єктів проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів. URL: <https://data.gov.ua/dataset/b081b611-e14f-485b-8bbb-00555859a36d> (дата звернення: 11.09.2020).
12. Мапа суб'єктів ОТК. URL: <https://hsc.gov.ua/map-otk/> (дата звернення: 11.09.2020).
13. Анисимов А.П. Экономика, планирование и анализ деятельности автотранспортных предприятий : учебник. Москва : Транспорт, 2004. 245 с.
14. Генкин Б.М. Экономика и социология труда : учеб. Москва : НОРМА-ИНФРА М, 2008. 125 с.
15. Мороз С.М. Диагностирование при государственном техническом осмотре и техническом обслуживании автомобилей. Новгород : НГТУ, 2002. 330 с.
16. Кулев М.В. Повышение эффективности функционирования диагностических линий технического осмотра транспортных средств : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 ; Орловский государственный технический университет. Орел, 2010. 140 с.

17. Черняев И.О. Методика обеспечения качества контроля технического состояния автотранспортных средств в региональных системах государственного технического контроля : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Санкт-Петербург, 2006. 220 с.

18. Шабуров В.Н. Оптимизация комплекта оборудования для предприятий, проводящих государственный технический осмотр автотранспорта с применением средств технического диагностирования : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. Тюмень, 2005. 151 с.

19. Петряев Р.М. Управление техническим состоянием при годовом техническом осмотре автотранспортных средств : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 ; Московский автомобильно-дорожный институт. Москва, 2001. 150 с.

Khavruk V.O. ANALYSIS OF THE SAFETY OF MOTOR VEHICLES AND THE CURRENT STATE OF THE MANDATORY TECHNICAL CONTROL OF MOTOR VEHICLES IN UKRAINE

The article analyzes the safety level of vehicles based on the number of road accidents due to technical malfunctions, and also substantiates the feasibility of introducing compulsory technical control for all vehicles in Ukraine based on the experience in the countries of the European Union.

The analysis and comparison of statistical data on the accident rate of vehicles due to technical malfunctions was carried out and it was found that the official statistics are underestimated and do not reflect the objective situation in Ukraine - the share of road traffic accidents due to malfunctions is 0,12–0,2%, which is 100 times less than in the countries of the European Union. It was found that in the structure of road accidents due to technical malfunctions, the share of road accidents with malfunctions of the brake system is 50%, the share of road accidents with malfunctions of the lighting and alarm systems; steering control; tires, wheels, respectively 16%; 14%; 10%.

The expediency of improving state regulation in the field of motor transport as one of the main mechanisms for increasing road safety is substantiated. A general analysis of the main normative legal acts of Ukraine governing mandatory technical control of vehicles has been carried out.

The given number and distribution of subjects of compulsory technical control of vehicles in the regions of Ukraine.

The indicated methods of increasing the accuracy of the method for determining the required quantity by their throughput by specifying the duration of diagnosing vehicles of various types.

For a comprehensive methodology for determining the production capacity of subjects of compulsory technical control of vehicles, the need to take into account the factors affecting their functioning in the region and a combination of methods for determining the required number of diagnostic lines for compulsory technical control of vehicles, based on their throughput and optimization of a set of diagnostic equipment, is justified.

The results of the article can be used at the initial stages of developing a methodology for determining the production capacity of the subjects of compulsory technical control of vehicles.

Key words: diagnostic line, road traffic accident, methodology, subject of mandatory technical control of vehicles, technical malfunction, vehicle.

Шапенко Є.М.

Національний транспортний університет

Гульчак О.Д.

Національний транспортний університет

Білановська Л.П.

Національний транспортний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНОСТІ РОБОТИ ВОДІЇВ НА МІСЬКИХ АВТОБУСНИХ МАРШРУТАХ

Статтю присвячено встановленню теоретичних передумов підвищення ефективності процесу організації переміщення транспортних засобів у системі міського пасажирського транспорту, а також сформульовано підхід до визначення величини напруженості роботи водіїв на міських автобусних маршрутах.

Аналіз методів оцінки величини напруженості роботи водіїв виявив певну особливість, яка полягає в необхідності відображення в них двох різних видів навантажень (фізичних і психічних), що діють на водіїв, а також специфіки складу їхнього трудового процесу, визначення величини складності маршруту та розподілення маршрутів за їх складністю між водіями з урахуванням їхньої кваліфікації, формування змінно-добових маршрутних режимів праці та відпочинку, з обмеженням через напруженість трудової діяльності, врахування відмінностей у напруженості роботи водіїв під час організації індивідуальної і колективної оплати їхньої праці.

Для кількісної оцінки величини напруженості роботи водіїв на міських автобусних маршрутах в алгоритмічному аналізі використовуються показники логічної складності, показник стереотипності, показник загальної фізичної складності виконання алгоритму, що вказує на те, що необхідно виміряти ступінь функціональної напруги організму в трудовому процесі або величину напруженості роботи водіїв міських автобусів.

У результаті проведеної обробки отриманих даних методом кластерного аналізу визначено ранжування факторів, які впливають на величину напруженості роботи водіїв на міських автобусних маршрутах.

На основі проведеної кластеризації та зібраної інформації про міські автобусні маршрути проведено розрахунок величини напруженості роботи водіїв на досліджуваних маршрутах, що дозволяє порівняти величину напруженості роботи водіїв під час виконання різних операцій з управління автобусом на міських автобусних маршрутах.

Встановлено, що для розрахунку енерговитрат водія на управління міським автобусом необхідно виділити транспортні ситуації, що характеризують кожен маршрут. На основі проведених досліджень було розраховано показники сумарної фізичної роботи та енерговитрати водіїв на досліджуваних маршрутах, що необхідно витратити на управління автобусом.

Ключові слова: автобусні перевезення, категорія складності міського автобусного маршруту, кластерний аналіз, міський автобусний маршрут, міський пасажирський транспорт, напруженість роботи водія.

Постановка проблеми. Організація перевезень пасажирів повинна забезпечувати найменший час поїздки пасажирів, регулярність руху транспортних засобів на всьому шляху прямування, раціональне використання рухомого складу, безпеку й високу культуру обслуговування пасажирів з найменшими витратами. Удосконалення методів організації перевезень пасажирів збільшує роль водія як суб'єкта праці й управління. Водій несе відповідальність за ефективність виконання операцій транспортного процесу, і його помилки

можуть призвести в деяких випадках до дуже важких наслідків [1, с. 112–114].

Ефективність виконання водієм головних завдань визначається напруженістю роботи. Для дослідження напруженості праці водіїв на міських автобусних маршрутах необхідно визначити складність міського автобусного маршруту. На основі цього стане можливим удосконалення методів раціональної організації роботи водіїв міських автобусів, що є важливою і актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Виконанню даного дослідження сприяли наукові праці А.І. Воркута [2, с. 127], О.С. Ігнатенка [3, с. 153], Ю.О. Давідіча [4, с. 119–124; 5, с. 39–48], В.П. Поліщука [6, с. 34–49] та інших учених. У цих фундаментальних працях розглянуто питання теорії транспортних процесів і систем, установлені основні закономірності функціонування транспортних систем, розроблені принципи формування систем і методи управління транспортними процесами.

Особливостям безпеки дорожнього руху, ролі людського фактору в дорожньому русі, психології та психофізіології в роботі водіїв, розкриттю закономірностей їхньої роботи в системі «автомобіль-водій-дорога» приділена увага таких відомих науковців, як А.І. Вайсман [7, с. 56–71], Е.В. Гаврилов [9, с. 60], Н.У. Гюлев [5, с. 46], В.П. Поліщук [11, с. 13] та ін.

Теоретичним основам і практичним методам керування автомобілем як транспортним засобом щодо функціонування в ергатичній системі «автомобіль-водій-дорога» у завданні підвищення ефективності використання транспорту та безпеки його руху присвячено наукову працю С.А. Осташевського [10, с. 9–10].

Раніше проведені дослідження визначили перелік рекомендацій з планування режимів праці та відпочинку водіїв міських автобусів. Однак вони не враховують величину напруженості роботи водія на маршруті.

Постановка завдання. Встановлення величини напруженості роботи водія міського автобусного маршруту дасть змогу вирішити проблему забезпечення міських автобусних перевезень відповідними трудовими ресурсами, значно скоротити плинність кадрів, закріпити працівників на підприємстві, а також удосконалити соціально-

економічні методи на основі більш глибокого вивчення роботи водіїв міських автобусів та підвищити безпеку руху.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Діяльність водія – це взаємодія водія із середовищем, у результаті чого він досягає свідомо поставлених цілей, які можуть бути віддаленими і близькими, кінцевими і проміжними. Тому термін «діяльність» досить широкий, що включає як управління рухом автомобіля, так і підготовчо-заклучні, допоміжні та інші роботи, відпочинок – увесь уклад життя водія [6, с. 105–117]. Вербальний опис діяльності водія наведено на рисунку 1.

Проведений аналіз проблеми організації роботи водіїв міських автобусів виявив, що для забезпечення ефективності діяльності водія важливе значення мають такі фактори, як стомлення, умови праці, фізичні параметри навколишнього середовища, біомеханічні й фізіологічні характеристики. Раціоналізація трудової діяльності, створюючи необхідні передумови для збереження здоров'я і розвитку особистості працівника, дозволяє досягти значного підвищення ефективності й надійності діяльності людини. Для встановлення залежності працездатності водія від конкретних умов роботи на маршруті була прийнята гіпотеза про те, що величина напруженості роботи водія залежить від категорії складності маршруту.

Для отримання вихідної інформації було проведено натурне обстеження маршрутної мережі КП «Київпастранс». В основу дослідження були покладені натурні спостереження та метод експертних оцінок. Респондентами виступали водії міських автобусів різних вікових категорій у відповідності до їх кількісного співвідношення.

Встановлено, що основними групами факторів, які впливають на роботу водіїв міських автобусів, є фактори, наведені на рис. 2.

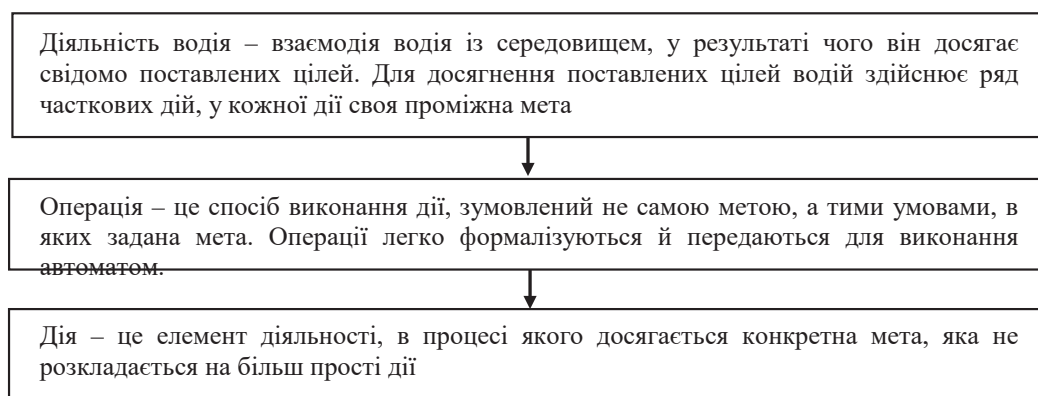


Рис. 1. Вербальний опис діяльності водія міського автобусного транспорту

Блок-схема алгоритму визначення складності експлуатації міського автобусного маршруту (рис. 3).

У результаті проведеної обробки отриманих даних методом кластерного аналізу [12, с. 23–35] було визначено ранжування факторів, які впли-

вають на величину напруженості роботи водіїв на міських автобусних маршрутах (рис. 4.)

Дендрограма ієрархічної кластеризації зображує, що в даному випадку на першому кроці були поєднані в один кластер пункти, що мають найменшу відстань і мають найбільший вплив на

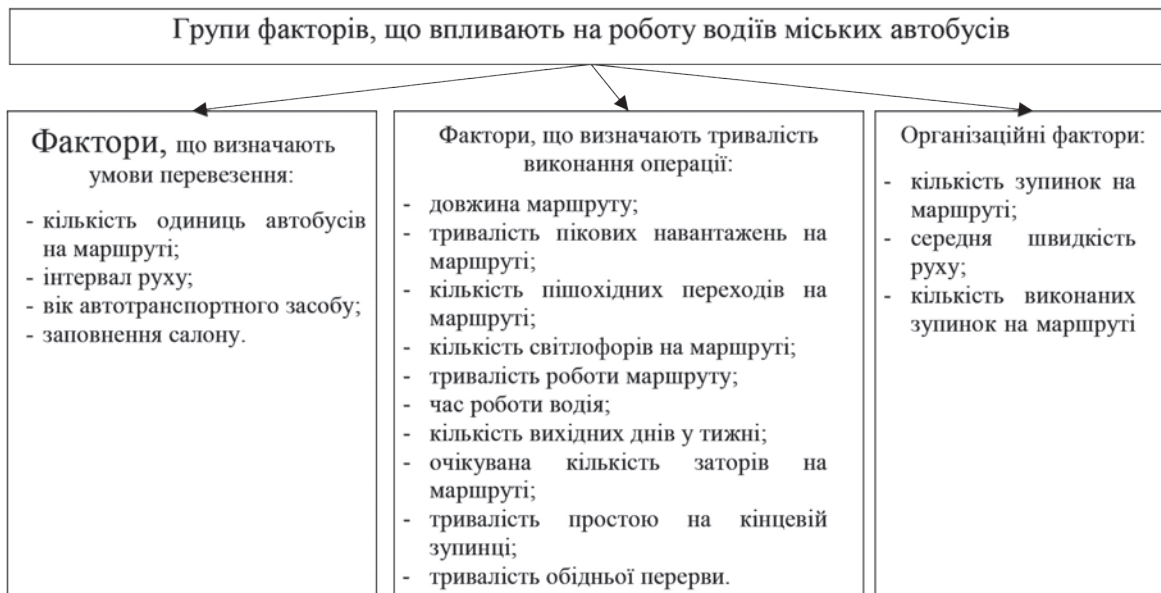


Рис. 2. Групи факторів, що впливають на роботу водіїв міських автобусів

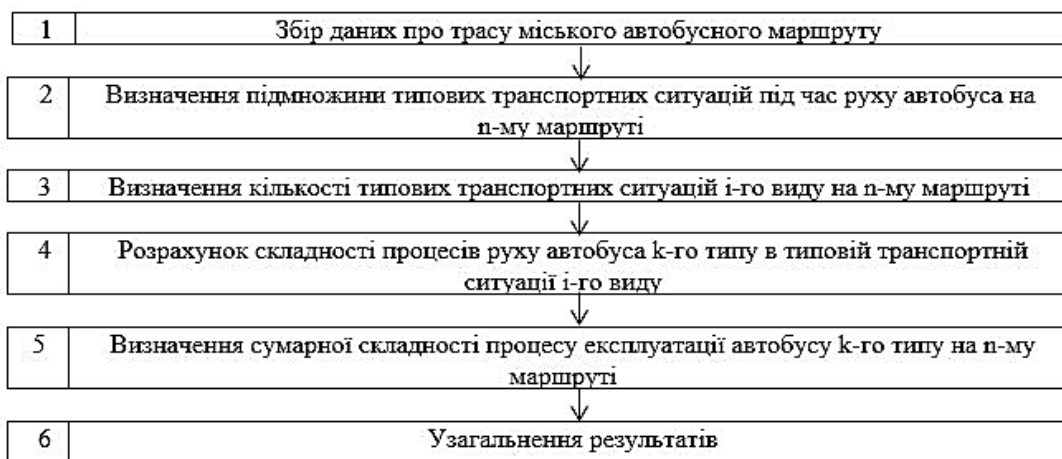


Рис. 3. Алгоритм визначення складності експлуатації міського автобусного маршруту

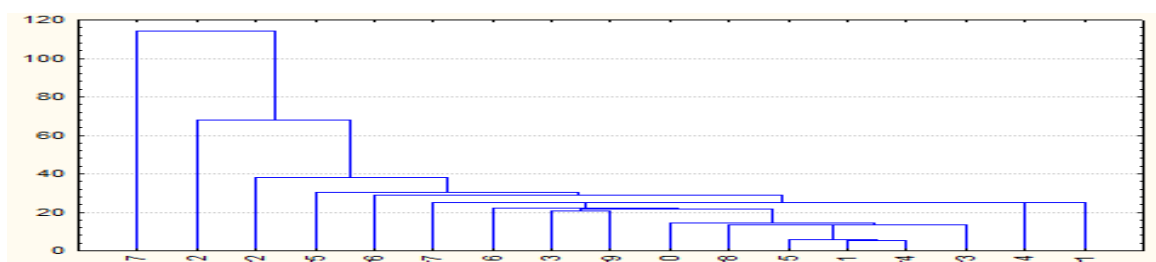


Рис. 4. Дендрограма об'єднання кластерів методом «одиночного зв'язку»

напруженість роботи водіїв на міських автобусних маршрутах.

Перший кластер – це поєднання пункту 1 – кількість вихідних днів у тижні та пункту 4 – час пікових навантажень на маршруті.

Другий кластер – пункти 13 і 9 – заповнення салону (міжпікові години) та тривалість роботи маршруту.

До найбільш віддалених кластерів можна віднести пункти 17 і 12 – кількість годин обідньої перерви та середня швидкість руху на маршруті відповідно.

На основі проведеної кластеризації та зібраної інформації про міські автобусні маршрути проведено розрахунок величини напруженості роботи водіїв на досліджуваних маршрутах, що дозволяє порівняти величину напруженості роботи водіїв під час виконання різних операцій з управління автобусом на міських автобусних маршрутах.

До подальшого опрацювання було вибрано маршрути, що мають мінімальні та максимальні значення головних кластерів.

Визначення напруженості праці за допомогою логіко-дослідницьких методів базується на запропонованому в інженерній психології алгоритмічному опису процесу трудової діяльності людини-оператора. Сутність операційно-структурного опису трудової діяльності, який часто називають алгоритмічним аналізом, передбачає виявлення в трудовій діяльності якісно різних складників, визначення логічного зв'язку між ними, порядку виконання і обчислення ряду показників, що мають визначений психофізіологічний зміст.

По кожній операції з управління автобусом на основі їх алгоритмічного опису можна провести кількісну оцінку. Необхідно оцінювати трасу маршруту за весь рейс, оскільки в одну сторону

можуть бути одні транспортні умови, а в іншу сторону може змінитися траса проходження маршруту, інтенсивність руху тощо. Сумарна оцінка складності за один оборотний рейс кожного з досліджуваних маршрутів представлено в таблиці 2.

Але для врахування величини фізичних зусиль під час виконання трудових дій потрібно також виміряти необхідні енерговитрати водіїв.

У процесі роботи водіїв під час взаємодії їх з компонентами середовища, що пов'язані із трудовим процесом, витрачається його нервова та м'язова енергія, що може визначати напруженість роботи й мати вплив на продуктивність праці та здоров'я людини.

Якщо представити енергетичну діяльність людини у вигляді набору різних елементарних дій, то можна отримати енерговитрати на виконання трудового процесу як суму витрат на елементарні дії.

Сумарна величина фізичної роботи водія на міських автобусних маршрутах наведена на рисунку 5.

Енерговитрати водія на маршруті, що необхідно витратити на управління автобусом, представлено на рисунку 6.

Висновки. Отже, все вищенаведене дозволяє використовувати даний метод для виявлення величини складності маршруту та напруженості роботи водіїв, а також розподілити маршрути за їхньою складністю між водіями з урахуванням їхньої кваліфікації, для формування змінно-добових маршрутних режимів праці та відпочинку, з обмеженням за величиною напруженості роботи, врахування відмінностей в напруженості роботи водіїв міського автобусного транспорту під час організації індивідуальної та колективної оплати їхньої праці.

Таблиця 1

Групи кластерів

1	Довжина маршруту	10	Час роботи водія
2	Кількість одиниць рухомого складу	11	Кількість вихідних днів у тижні
3	Інтервал руху (міжпікові години)	12	Середня швидкість руху на маршруті
4	Час пікових навантажень на маршруті	13	Заповнення салону (міжпікові години)
5	Кількість зупинок на маршруті	14	Кількість виконаних зупинок на маршруті (міжпікові години)
6	Кількість пішохідних переходів на маршруті	15	Кількість заторів на маршруті (міжпікові години)
7	Кількість світлофорів на маршруті	16	Кількість годин простою на кінцевій зупинці
8	Вік автотранспортного засобу	17	Кількість годин обідньої перерви
9	Час роботи на маршруті		

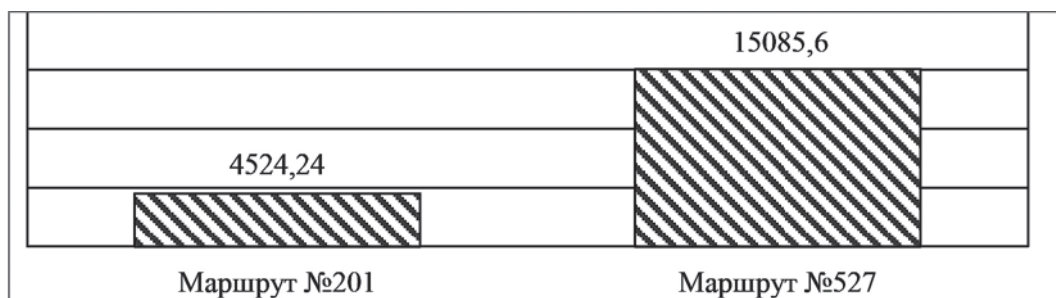


Рис. 5. Сумарна величина фізичної роботи, необхідної для управління автобусом, кг·м

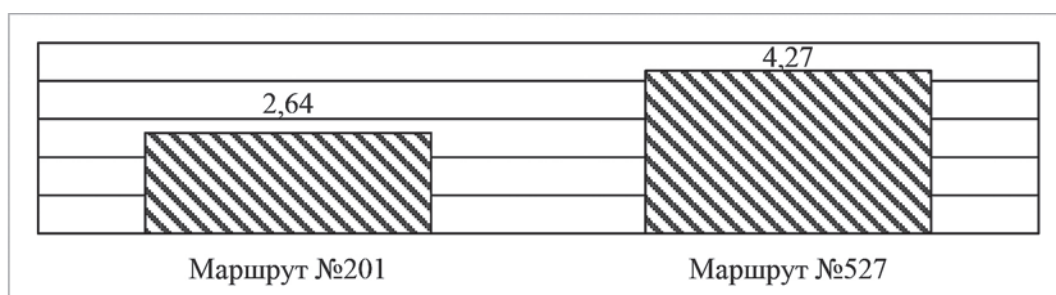


Рис. 6. Енерговитрати, необхідні для управління автобусом, ккал/хв

Таблиця 2

Сумарна оцінка величини напруженості за один оборотний рейс маршруту

№ п/п	Типова транспортна ситуація	Оцінка величини напруженості за один оборотний рейс маршруту	
		Маршрут 201	Маршрут 527
1	Зупиночний пункт з «кишенею»	460,00	1610,98
2	Зупиночний пункт без «кишені»	1383,46	3724,70
3	Перегін	2205,84	6459,96
4	Рух на дозвільний сигнал світлофора	234,08	1989,68
5	Рух на заборонний сигнал світлофора	168,76	1434,46
6	Поворот праворуч на дозвільний сигнал світлофора	0	99,40
7	Поворот праворуч на заборонний сигнал світлофора	0	143,26
8	Поворот ліворуч без зупинки на дозвільний сигнал світлофора	0	298,20
9	Поворот ліворуч без зупинки на перехресті на заборонний сигнал світлофора	99,40	298,20
10	Поворот праворуч без світлофора та із зупинкою на повороті	964,92	321,64
11	Поворот праворуч без світлофора, без зупинки на повороті	233,92	584,80
12	Поворот ліворуч без світлофора із зупинкою на повороті	80,41	160,82
13	Поворот ліворуч без світлофора без зупинки на повороті	0	0
14	Пересічення з головною дорогою без світлофора без зупинки перед головною дорогою	0	0
15	Пересічення з головною дорогою без світлофора із зупинкою перед головною дорогою	305,82	0
16	Плавний поворот праворуч	244,16	1831,20
17	Плавний поворот ліворуч	244,16	1098,72
18	Рух по колу	0	245,10
	Сумарна оцінка величини напруженості за один оборотний рейс	6625,23	20301,12

Список літератури:

1. Вольпер Г.И. Физиологическое обоснование режимов труда водителей автомобилей, занятых перевозками пассажиров. *Медико-биологические проблемы трудовой деятельности водителей автомобилей*. Москва, 1979. С. 112–114.
2. Афанасьев Л.Л., Воркут А.И., Дьяков А.Б. Пассажи́рские автомобильные перевозки. Москва : Транспорт, 1986. 220 с.
3. Ігнатенко О.С., Маруніч В.С. Організація автобусних перевезень у містах. Київ : УТУ, 1998. 196 с.
4. Давідіч Ю.О. Розробка розкладу руху транспортних засобів при організації пасажирських перевезень. Харків : ХНАМГ, 2010. 345 с.
5. Давідіч Ю.О., Куш Є.І., Понкратов Д.П. Ергономічне забезпечення транспортних процесів : навч. посібник. Харків : ХНАМГ, 2011. 392 с.
6. Дмитриченко М.Ф., Лановий О.Т., Поліщук В.П. Системологія на транспорті. Ергономіка. Київ : Знання України, 2008. Книга V. 267 с.
7. Вайсман А.И. Гигиена труда водителей. Москва : Медицина, 1988. 192 с.
8. Гюлев, Н.У. Особливості ергономіки та психофізіології в діяльності водія. Харків : ХНАМГ, 2012. 185 с.
9. Гаврилов Э.В. Эргономика на автомобильном транспорте. Київ : Техника, 1976. 152 с.
10. Осташевский С.А. Теоретические основы и практические методы оценки и повышения эффективности системы «автомобиль-водитель-дорога» : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2015. 43 с.
11. Поліщук В.П., Дзюба О.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху. Київ : Знання України, 2008. 175 с.
12. Дюран Б., Одел П. Кластерный анализ. Москва : Статистика, 1977. 128 с.

Shapenko Ye.M., Hulchak O.D., Bilanovska L.P. RESEARCH OF METHODS OF EVALUATION OF DRIVERS' TENSION ON CITY BUS ROUTES

The article is devoted to the establishment of theoretical prerequisites for improving the efficiency of the process of organizing the movement of vehicles in the system of urban passenger transport, as well as formulates an approach to determining the magnitude of the work of drivers on city bus routes.

Analysis of methods for assessing the intensity of drivers revealed the following feature, which is the need to reflect in them two different types of loads (physical and mental) acting on drivers, as well as the specifics of their work process, determining the complexity of the route and distribute routes for them complexity between drivers taking into account their qualifications, the formation of shift-daily route modes of work and rest, with restrictions due to the intensity of work, taking into account differences in the intensity of drivers in the organization of individual and collective pay for their work.

To quantify the intensity of drivers on city bus routes in the algorithmic analysis uses indicators of logical complexity, stereotypes, indicators of the overall physical complexity of the algorithm, which indicates that it is necessary to measure the degree of functional stress in the work process or the intensity of drivers buses.

As a result of processing of the received data by a method of the cluster analysis the ranking of the factors influencing majestic intensity of work of drivers on city bus routes is defined.

Based on the clustering and collected information about city bus routes, the value of drivers' workload on the studied routes was calculated, which allows to compare the value of drivers' work intensity when performing various bus management operations on city bus routes.

It is established that for calculation of energy consumption of the driver on management of the city bus it is necessary to allocate the transport situations characterizing each route. Based on the research, the indicators of total physical work and energy consumption of drivers on the studied routes were calculated, which must be spent on bus management.

Key words: bus transportation, category of complexity of city bus route, cluster analysis, city bus route, city passenger transport, intensity of driver's work.

Шевчук Д.О.

Національний авіаційний університет

Мединський Д.В.

Національний авіаційний університет

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ЗБІЙНИХ СИТУАЦІЙ В АЕРОПОРТУ

Однією з основних проблем повітряного транспорту є забезпечення безпеки та регулярності польотів. Так, для виконання робіт, пов'язаних з підготовкою ПК до польоту в аеропортах цивільної авіації (ЦА), формується система наземного обслуговування повітряних кораблів (ПК). Основною вимогою, що пред'являється до даної системи, є забезпечення виконання добового плану польотів ПК та відповідності показника ефективності функціонування аеропорту за Key Performance Indicator (KPI).

Оператор наземного обслуговування повітряних кораблів відповідно до своїх посадових обов'язків безпосередньо впливає на регулярність польотів. Для авіакомпаній регулярність та своєчасність виконаних рейсів є важливим фактором, який впливає на рейтинг учасника перевезень в авіаційному середовищі. Через аналіз діяльності операторів з наземного обслуговування повітряних кораблів встановлено, що основним завданням співробітників служби спецтранспорту в разі затримки рейсу на виліт або ж технологічного обслуговування по прильоту є мінімізація часу затримки. Для ефективного прийняття рішень у збійних ситуаціях оператор з наземного обслуговування повітряних кораблів повинен мати певний рівень кваліфікації, бути обізнаним і вміти працювати з програмними засобами планування та контролю за технологічним обслуговуванням літаків. Виявлено, що на тепер засобами навчання не моделюються ситуації в прийнятті рішень у збійних ситуаціях, що у свою чергу призводить до порушення регулярності польотів.

Оператор з наземного обслуговування повітряних кораблів опосередковано бере участь як спостерігач, контролер, для нього характерна різноманітність інформаційних та концептуальних моделей стану в контурі управління аеропорту, він може працювати в режимі негайного або відкладеного прийняття рішень [1]. Функція оператора НОПК полягає в контролі за функціонуванням необхідних для виконання польотів технічних засобів та обладнання, які впливають на безпеку і можливість виконання рейсу, оцінку та аналіз усіх обмежень, які можуть впливати на регулярність рейсу. Оператор у разі виникнення затримки рейсу аналізує дану збійну ситуацію з точки зору тривалості та зміни інформації в плані польоту і в залежності від тривалості затримки виконує дії, пов'язані з координацією з різними відділами та службами аеропорту. Основним завданням оператора НОПК є мінімізація часу затримки та швидкість у прийнятті рішень у разі збійних, позаштатних ситуацій.

У статті розкриваються проблемні питання виникнення позаштатних ситуацій (ПШС) в аеропорту. Проаналізовано основні причини виникнення ПШС у системі наземного обслуговування повітряних кораблів. Дано визначення штатної, позаштатної та збійної ситуації. Розкрито вплив ПШС на показники ефективності функціонування КРІ в аеропорту [2].

Ключові слова: прийняття рішень, наземне обслуговування, типова ситуація, збійна ситуація, позаштатна ситуація, добовий план польотів.

Постановка проблеми. Розвиток інтелектуальних автоматизованих технологій підтримки рішень стає однією з необхідних умов забезпечення регулярності польотів, а також підвищення якості наземного обслуговування повітряних суден та виконання добового плану польотів [5].

Аеропорт – це складна, параметрична система, яка призначена для приймання, відправлення та технічного забезпечення повітряних кораблів, а також обслуговування пасажирів і вантажу.

Регулярність виконання польотів в умовах виникнення збійних ситуацій в аеропорту оцінюється комплексним показником КРІ (Key Performance Indicator), який враховує такі кількісні характеристики, як: безпека польотів, якість обслуговування, продуктивність, рентабельність та регулярність виконання польотів. У статті наведено вибірку порушень, які призводять до виникнення збійних ситуацій в аеропорту та проведено їх порівняльний аналіз. Однією з основних

систем аеропорту є система наземного обслуговування повітряних кораблів (далі – НОПК) в аеропорту. Процес функціонування системи НОПК носить стохастичний характер, що викликано впливом різних випадкових факторів, які умовно можна розділити на дві основні групи: зовнішні, пов'язані зі зміною характеру вхідного потоку повітряних кораблів (далі – ПК) для перонного обслуговування, і внутрішні, які залежать від поточного стану наземного обладнання та наявної спецтехніки в аеропорту. У результаті впливу дестабілізуючих зовнішніх та внутрішніх факторів виникають збійні ситуації, які можуть призвести до зниження рівня регулярності та безпеки польотів ПК в аеропорту.

Тому для забезпечення безперебійності роботи в аеропорту, виконання добового плану польотів і підвищення рівня регулярності польотів необхідно впроваджувати сучасні інтелектуальні технології в процес прийняття рішень службою планування та оперативного контролю системи НОПК, що функціонує в умовах невизначеності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Аналізу причин виникнення позаштатних ситуацій [9] приділено багато уваги як вітчизняних, так і закордонних науковців, а саме таких, як: А.М. Андронов, В.В. Андріанов, В.І. Васил'єв, В.М. Венєвцев, Г.В. Головченко, І.С. Голубєв, Є.В. Конікова, Х.Б. Кордонський, Г.А. Крижановський, В.Н. Лівшиц, М.С. Максим, В.А. Романенко, Р.В. Сакач, Ю.А. Слущинська, В.К. Солуянов, В.Г. Староселець, А.А. Тамаргазін, Ю.М. Чинючин.

Так, К.Н. Додонов і Ю.М. Чинючин [11] пропонують імітаційну модель процесу оперативного обслуговування ПК у позаштатних та збійних ситуаціях з урахуванням «комплексів ресурсів» аеропорту, що дозволить забезпечити безперебійну роботу системи наземного обслуговування повітряних кораблів.

У своїй роботі І.І. Алешков [13] розглядає комплексний підхід до вирішення поставлених задач наземного обслуговування в аеропорту за допомогою математичної моделі ресурсно-часового розподілу динамічних та статичних ресурсів аеропорту в черговості вильоту ПК.

Авторка дисертаційної роботи Є.В. Конікова [12] досліджувала модель оперативного планування в управлінні НОПК у штатній ситуації, але завдяки алгоритму вирішення поставленої задачі імітаційного моделювання процесів НОПК було поліпшено регулярність відправлення ПК.

Постановка завдання. Мета статті – проведення порівняльного аналізу причин виникнення

позаштатних і збійних ситуацій, що виникають в аеропорту.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Нагепер роль повітряного транспорту значно збільшилася, оскільки він є найшвидшим засобом переміщення на великі відстані. У транспортній системі України авіаційні перевезення посідають ключове місце серед пасажирського транспорту. Так, за останні роки (2015–2019 рр.) стався значний розвиток цивільної авіації, який характеризується стабільним зростом пасажирських перевезень, модернізацією та реконструкцією існуючих аеропортів. Збільшення пасажирських перевезень призводить до підвищення інтенсивності виконання авіаційних рейсів та скорочення наземного обслуговування. Більшість авіакомпаній, які виконують польоти до близького зарубіжжя, вимагають більш жорстких умов до якості та часу виконання наземного обслуговування.

Так, авіакомпанією «Wind Rose» у 2017 році було здійснено аварійну посадку та оголошено тривогу через поламку передньої стійки шасі літака А 321 в аеропорту «Бориспіль», що призвело до збільшення ризиків виникнення збійної ситуації [6].

У результаті невірних дій начальника служби планування і оперативного управління та неспланованих дій персоналу відбулася затримка з розвантажуванням ПК, що спричинило незадоволення пасажирів у зв'язку з несвоєчасним отриманням багажу (пасажирів очікували багаж 42 хвилини), а також у затримці на 5 хвилин постановки літака на місце стоянки D5 рейсу з Мінська. Тобто авіакомпанія зазнала значних фінансових та репутаційних збитків.

У роботі над збійною ситуацією розуміють порушення добового плану польотів (далі – ДПП), за якою створюється масове накопичення пасажирів в аеропорту у двох основних випадках: закриття аеропорту призначення, для якого аеропорт відправлення є запасним, і прибуття до нього рейсів «на запасний»; закриття аеропорту на виліт із затримкою рейсів. Порушення ДПП у свою чергу призводить до порушення регулярності польотів та містить у собі поняття регулярності відправлення повітряних суден, регулярності виконання рейсів та характеризує роботу аеропортів до виконання перевезень [7].

Об'єктами інфраструктури аеропорту є споруди та обладнання, виробничо-технологічні комплекси, які знаходяться на території аеропорту і безпосередньо використовуються споживачами послуг в аеропорту. Об'єкти, засоби створюють

ресурси, які розділяють на статичні (нерухомі) та динамічні (ті, які переміщуються, включаючи персонал) ресурси. Одним з основних показників якості функціонування аеропорту є забезпечення регулярності польотів.

Регулярність польотів характеризує роботу авіапідприємств та територіальних управлінь [2] цивільної авіації (далі – ЦА), галузі в цілому з обслуговуванням пасажирів, багажу та вантажів у відповідності до договору про перевезення. Регулярність польотів характеризується двома складниками: регулярністю відправлень ПК і регулярністю виконання рейсів. Регулярність відправлення ПК визначається у відсотках як відношення регулярних відправлень ПК до загальної кількості відправлень ПК, які зазначені планами польотів, де затримкою відправлення ПК (слотом) з аеропорту є час пізніше зазначеного часу, встановленого розкладом плану польотів.

Регулярність виконання польотів також оцінюється за параметрами: посадка рейсу, прибуття рейсу, відправлення рейсу, виліт рейсів [8].

Відправлення вважається регулярним, якщо:

- злет ПК виконано не пізніше розрахункового часу злету;
- злет ПК виконано пізніше розрахункового часу, але в перший пункт приземлення за маршрутом польоту ПК прибуло своєчасно в час, який встановлено розкладом (планом польоту).

Регулярність відправлення ПК тісно пов'язана з роботою аеропорту, стан якого визначається такими ситуаціями:

- штатна ситуація;
- позаштатна ситуація;
- збійна ситуація.

Так, штатна ситуація (ШС) – нормальна робота аеропорту та всіх його служб у певній відповідності з добовим планом польотів (ДПП), розробленим на підставі розкладу руху повітряних кораблів РРПК.

Позаштатна ситуація (ПШС) – робота аеропорту з відхиленнями від ДПП, викликана нестачею ресурсів або внесенням до ДПП непередбачених рейсів. Позаштатна ситуація не призводить до зупинки роботи аеропорту за відправленнями ПК, але потребує внесення оперативного коригування та підвищеного рівня контролю діяльності всіх служб аеропорту з метою забезпечення максимально можливої відповідності до ДПП.

Збійна ситуація в аеропорту (ЗСА) – це порушення ДПП, за якого створюється масове накопичення пасажирів в аеропорту. ДПП є наслідком двох варіантів розвитку подій: закриття аеропор-

тів призначення, для яких аеропорт відправлення є запасним, і прибуття в нього рейсів «на запасний»; закриття аеропорту на виліт та затримка рейсів.

З позиції авіакомпанії збійною є та ситуація, яка призвела до незапланованого погіршення умов перевезення пасажирів по відношенню до прийнятих авіакомпанією зобов'язань.

Розглянемо більш детально причини виникнення збійних ситуацій в аеропорту [4].

До таких випадків відносяться:

- випадкова зміна природних явищ або інші обставини, які неможливо передбачити або попередити, наприклад, метеоумови (грозова діяльність, посилені зливи, опади, підвищена електрична активність атмосфери, буревії, поривчасті вітри), ускладнена орнітологічна обставина;
- громадські прояви (народні волевиявлення, пікети);
- терористичні акти;
- режим офіційних церемоній, зустрічей;
- технічні причини;
- відсутність вільних місць для стоянки літаків, інциденти на пероні.

У деяких випадках ЗСА можуть бути зумовлені недоліками в координації роботи служб аеропорту, підрозділів, системними недоліками в діяльності підрозділів наземного обслуговування аеропорту, недостатньою ефективністю застосування існуючих процедур, невірних дій начальника служби планування та оперативного управління. Види порушень регулярності польотів ПК та особи, які винні в цих порушеннях, установлені класифікатором порушень регулярності польотів ПК ЦА [2; 3].

Найбільш значущі причини, які впливають на виникнення збійних ситуацій в аеропорту з вини різних суб'єктів аеропорту, авіаперевізників, наведено в Таблиці 1.

Як показує аналіз статистичних даних [10], збійні ситуації в аеропорту призводять до зменшення показника ефективності КРІ (Key Performance Indicator).

Показник КРІ є кількісним виміром фактичної, попередньої та очікуваної в майбутньому ефективності функціонування аеропорту, який визначається такими характеристиками:

- безпека польотів;
- якість обслуговування;
- продуктивність;
- рентабельність;
- регулярність виконання польотів.

Безпека польотів – властивість авіаційної транспортної системи здійснювати перевезення пасажирів і вантажу, а також інші види авіаційної

Вибірка порушень, які призводять до виникнення збійних ситуацій в аеропорту

Код	Служба	Порушення
I	Інженерно-авіаційна	I05. Помилки в плануванні ТО, які призвели до небезпечності ДПП I13. Авіаційна подія або інцидент з вини служби
П	Обслуговування пасажирів	П13. Відмова пасажира від польоту після закінчення посадки П22. Несвоєчасне внесення змін у розклад
Ш	Головного механіка	Ш03. Відмова та несправності стаціонарних, рухомих, внутрішньо аеропортових засобів механізації
А	Аеродромна	A03. Позаплановий ремонт ЗПС, РД, перонів, місць стоянок A04. Пошкодження ПС та наземних світлотехнічних засобів з вини служби A05. Недотримання встановлених планів ремонту елементів льотного поля
Г	Паливно-мастильна	G01. Відмова та несправності в роботі стаціонарних засобів заправки палива G04. Несвоєчасне забезпечення постачань ПММ G05. Несвоєчасна доставка ПММ від прирельсового складу ПММ аеропорту до ємності складу системи централізованої заправки ПС паливом G06. Подача на заправку некондиційних ПММ та спецрідин
Л	Льотна	L13. Евакуація ПС із льотного поля, якщо його зайнятість сталася з вини екіпажу ПС
Д	Руху	D04. Непогодженість зі службою руху прийняття рішень на прийняття ПС або планування ПС на виліт без урахування пропускної здатності аеропорту D07. Евакуація ПС з летовища, якщо його зайнятість сталася з вини служби руху D11. Часові режими (які містять у собі час офіційних церемоній)
Я	Електро- радіотехнічного обслуговування	Я01. Відмова та несправності засобів радіотехнічного забезпечення польотів
Е	Електро- світлотехнічного обслуговування	E01. Відмова та несправності електро- світлотехнічного забезпечення польотів E02. Відмова та несправності резервних джерел електрозабезпечення E03. Відмова та несправності внутрішнього аеропортового електрозабезпечення E04. Відмова та несправності світлосигнального забезпечення польотів
У	Диспетчерського контролю	У07. Несвоєчасне внесення змін у розклад
Р	Режиму	Р03. Обмеження прийому та випуску ПС за сигналом «набат»
Ж	Метеослужба	Ж01. Відмови метеорологічного обладнання, встановленого на аеродромі для забезпечення посадки ПС за метеомінімумів I, II, III категорій
Н	Метеоумови	M02. На аеродромі вильоту фактична погода нижче мінімуму, який встановлено для зльоту M06. Прогноз та фактична погода в пункті посадки ПС, на запасних аеродромах та за маршрутом не дозволяє прийняти рішення на виліт M07. Збійна ситуація через накопичення ПС у аеропорту за метеоумовами або зайнятість повітряного простору зони управління повітряним рухом за метеоумовами M10. Затримки від початку небезпечного для авіації метеорологічного явища до усунення його причин (прибирання снігу, ожеледиці)
Х	Затримки з вини відомчої авіації за конфліктних ситуацій	X01. Зайнятість летовища з вини відомчої авіації у зв'язку зі стихійним лихом X02. Часове закриття аеропорту у зв'язку з конфліктними ситуаціями

діяльності з прийнятним рівнем ризиків для життя і здоров'я людей, заподіяння шкоди навколишньому середовищу та спричинення матеріальних втрат.

Якість обслуговування – постійна діяльність, спрямована на підвищення технічного рівня послуг, якості їх надання, вдосконалення елементів наданих послуг авіаексплуатанту та авіаперевізнику.

Продуктивність визначається відношенням вартості послуг без вартості матеріальних витрат на їх надання за певний період до середньооблікової чисельності персоналу аеропорту за цей же період.

Рентабельність – прибуток, отриманий аеропортом до сплати податків, поділений на вартість використуваних активів аеропорту.

Регулярність виконання польотів визначається у відсотках як відношення регулярних відправлень ПК до загальної кількості відправлень ПК, передбачених добовим планом польотів. Відправлення ПК вважається регулярним, якщо ПК почав рух з місця стоянки без затримки.

Деталізація цих видів показників для функціонування діяльності аеропорту пов'язана з якістю обслуговування та регулярністю рейсів, які в найбільшій мірі характеризують збійні ситуації та наслідки їх вирішення.

До показників КРІ за якістю обслуговування ПК в аеропорту відносять:

- середню щоденну пропускну здатність аеропорту (кількість щоденних злітно-посадкових операцій);
- кількість обґрунтованих затримок рейсів;
- середню тривалість затримок на один рейс.

Пасажири оцінюють якість аеропортового обслуговування за такими параметрами:

- час знаходження в черзі під час догляду службою безпеки аеропорту;
- відсоток часу, який витрачається на оформлення та отримання багажу;
- точність екранної інформації;
- загальна якість обслуговування пасажирів.

КРІ «Регулярність виконання польотів» оцінюють за такими параметрами:

- посадка рейсів;
- прибуття рейсів;
- відправлення рейсів;
- виліт рейсів.

Проблеми регулярності польотів, методи аналізу затримок у відправленні ПК та їх розподіл за часом доби взаємопов'язані. Також слід зауважити, що в процесі функціонування

системи НОПК зазвичай не враховується: час, необхідний для переміщення персоналу, а також час подачі автомобільного транспорту та засобів механізації на перони; час на видавлення обледеніння; час буксирування ПК; час на обігрів салону ПК; час на підігрів санвузлів; запуск авіадвигунів; час на реєстрацію пасажирів та багажу; час на передпольотний обшук; кількість робітників у зміні. Таким чином, слід вважати, що навіть у штатних ситуаціях НОПК підлягає оперативному коригуванню, а в умовах ЗСА такі коригування є масовими.

Збитки для пасажирів та вантажовідправників, які зумовлені ЗСА, несуть цілком фінансовий та репутаційний характер. Тому для забезпечення безперебійності роботи системи НОПК та виконання добового плану польотів у відповідності до показника ефективності функціонування аеропорту – КРІ необхідно скорочувати тривалість часу виходу зі збійної ситуації. Причини виникнення збійних ситуацій в аеропорту загальнопропонується поділити на зовнішні та внутрішні. У результаті цих факторів виникають ситуації, розвиток яких призводить до зменшення рівня регулярності та безпеки польотів.

Висновки. У роботі акцентовано увагу на необхідності забезпечення ефективного планування наземного обслуговування ПК для скорочення часу затримки рейсів у збійних ситуаціях в аеропорту.

Забезпечення безперебійної роботи в аеропорту, виконання добового плану польотів та підвищення рівня регулярності польотів в умовах позаштатних ситуацій можливо досягти лише за рахунок впровадження в контур управління системи НОПК – інтелектуальної автоматизованої системи підтримки прийняття рішень, які будуть урахувати позитивний досвід дій операторів у типових, позаштатних, збійних ситуаціях.

Забезпечення високого рівня КРІ у збійних ситуаціях в аеропорту та зменшення часу виходу зі збійної ситуації можливе лише за рахунок оптимального оперативного планування наземного обслуговування повітряних кораблів з урахуванням наявного обладнання та спецтехніки. Вирішенню проблеми усунення та виникнення наслідків ЗСА потрібно приділити важливе значення на всіх етапах складання та оперативного коригування ДПП; порядку черговості наземного обслуговування ПК, роботі з накопиченнями пасажирів в аеропорту. Динаміка статичних показників регулярності відправлення ПК має бути регульована з урахуванням добового плану польотів.

Список літератури:

1. Руководство по аэропортовому обслуживанию (Airport Handling Manual), IATA, 25th edition. 2005. January. С. 33–54.
2. Повітряний кодекс України. 2018. С. 30–31. URL: https://urist-ua.net/кодекси/повітряний_кодекс_України/ (дата звернення: 07.09.2020).
3. Каталог судових рішень/Рішення № 74584573, 21.05.2018, Номер справи 359/8275/17. URL: <https://www.google.com/amp/s/youcontrol.com.ua/catalog/amp/court-document/74584573/> (дата звернення: 01.09.2020).
4. Наставление по производству полётов НПП ГА-85. URL: http://www.tosnoaero.ru/library/documents/appendix/NPP_GA-85.pdf (дата звернення: 03.09.2020).
5. Васильев В.И. Моделирование систем гражданской авиации / под ред. В.И. Васильева, А.И. Иванюк, В.А. Свириденко. Москва : Наука, 2001. 295 с.
6. Волкова Л.П. Взаимодействие аэропорта и авиакомпаний при наземном обслуживании воздушных перевозок. *Научный вестник*. 2001. МГТУ ГА. № 41. С. 32–35.
7. Романенко В.А. Имитационная модель технологических процессов наземного обслуживания в аэропорту. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки*. 2011. Выпуск № 1 (17). С. 79–95.
8. Малышева Т.А. Анализ распределения задержек рейсов в авиапредприятиях элиминированием по интервалам времени суток, продолжительности и кодам. *Научный вестник МГТУ ГА*. 2006. № 109. С. 144–147.
9. Харченко М.В. Модель технологічних процесів наземного обслуговування та перевезень в аеропорту. URL: <http://global-national.in.ua/vipusk-3-2015/413-kharchenko-m-v-model-tekhnologichnik-protsses> (дата звернення: 02.09.2020).
10. Статистика міжнародного аеропорту «Київ». Підсумки 2019 року. URL: <https://iev.aero/press-centre/news/323> (дата звернення: 03.09.2020).
11. Додонов К.Н., Чинючин Ю.М. Разработка общей схемы алгоритма имитационного моделирования процесса наземного обслуживания воздушных судов. URL: <http://ifmstuca.ru/site/images/Doc.../confet.../Dodonov.pdf> (дата звернення: 04.09.2020).
12. Коникина Е.В. Диссертация на тему «Совершенствование методов принятия решений в интерактивном режиме диспетчером системы комплексного оперативного управления наземным обслуживанием воздушных судов». URL: <http://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-metodov-prinyatiya-reshenii-v-interaktivnom-rezhime-dispatcherom-sistemy-#ixzz4Xc6DgCIJ> (дата звернення: 05.09.2020).
13. Алешков И.И. Исследования возможностей повышения эксплуатационной эффективности воздушных судов на основе методов многофакторного анализа систем : автореф. дисс. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2002. 27 с.
14. Бідюк П.І., Коршевнік Л.О. Проектування комп'ютерних інформаційних систем підтримки прийняття рішень : навчальний посібник. Київ : ННК «ПСА» НТТУ «КПІ», 2010. 340 с.

Shevchuk D.O., Medynskiy D.V. COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CAUSE OF FAILURE SITUATIONS AT THE AIRPORT

One of the main problems of air transport is the safety and regularity of flights. Therefore to carry out work on preparing an aircraft for flight at civil aviation airports a ground handling system for aircraft has been formed. The main requirement for this system is to ensure the implementation of the aircraft's daily flight plan in accordance with the airport's efficiency indicator.

The aircraft ground handling operator in accordance with his job description, directly affects the regularity of flights. For airlines the regularity and timeliness of flight is an important factor affecting the rating of a transportation participant in the aviation industry. After analyzed the activities of operators in the ground handling of aircraft it turned out that the main task of the employees of the special transport service in the event of a flight delay for departure or the technological service upon arrival is to minimize the delay time. For effective decision-making in emergency situations the aircraft ground handling operator must have a certain level of qualification, education and be able to work with software and tools for planning and controlling aircraft maintenance. It was found that at present the training tools do not simulate decision-making situations in the event of emergency situations, which in turn leads to a violation of the regularity of flights.

The aircraft ground handling operator is directly involved as an observer, dispatcher, is distinguished by the versatility of information and conceptual state models in the airport control loop, can work in the mode of immediate or remote decision-making [1]. The function of the aircraft ground handling operator is to monitor the functioning of technical means and equipment necessary for the flight that affect the safety and flight

capability, assess and analyze all the restrictions that may affect the regularity of the flight. The operator when a flight delay occurs analyzed this failure situation in terms of delay and changes in information in the flight plan and depending on the delay time, performs actions related to coordination with different departments and services of the airport. The main task of the aircraft ground handling operator is to minimize the delay time and the speed of decision-making in case of failure, emergency situations.

The article reveals the problematic issues of emergency situations in the aircraft ground handling system. Analyzed the main causes of emergencies in the aircraft ground handling system. Definitions are given: routine, non-staff and emergency situations. Related to the regulation of the activities of the operator of ground handling of aircraft when making decisions in complex, faulty emergency situations. Disclosed the impact of an emergency situation and performance indicators of functioning at the airport.

Key words: *decision making, ground handling, typical situations, failure situations, emergency situations, daily flight plan.*

УДК 528.4:332.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/42>**В'яткін Р.С.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ОБ'ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ РЕГІОНІВ

У роботі досліджено сучасні проблеми використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів України. Актуальність даного дослідження полягає в необхідності визначення стратегічних перспектив розвитку природно-заповідницького фонду в Україні, особливо в умовах зміни нормативно-правової бази, пов'язаної із управлінням земельними ресурсами. Особливої уваги потребують питання формування напрямів використання земель на регіональному рівні, їх вплив на життєдіяльність населення, що залежить від створення та застосування об'єктів природно-заповідного фонду, враховуючи екологічні чинники. На сучасному етапі не вирішені задачі розвитку земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів, не побудована система інформаційно-аналітичного та просторового забезпечення їх визначення, що знижує рівень ефективності їх використання.

Запропонована у статті схема реалізації геоінформаційного аналізу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду передбачає представлення результатів інтегрального чинника за регіонами, яка характеризується сукупністю взаємопов'язаних напрямів. Інтегральний чинник визначений на основі аналізу параметричних характеристик функціонування об'єктів земель природно-заповідницького фонду. У результаті розроблена геоінформаційна карта, яка дозволяє візуалізувати рівень використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, а також здійснювати моніторинг використання земель об'єктів природно-заповідного фонду окремого регіону.

За результатами геоінформаційного аналізу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду встановлено, що більшість регіонів країни мають несуттєвий рівень інтегрального чинника. Дані результати вказують на відсутність дій щодо формування та використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, на недосконалість системи моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду, що потребує розробки науково обґрунтованих рекомендацій з розробки моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів.

Ключові слова: моніторинг, геоінформаційні системи, використання земель, об'єкти природно-заповідного фонду, системні чинники, інтегральний чинник, геоінформаційна карта.

Постановка проблеми. Формування напрямів використання земель на регіональному рівні, їх вплив на життєдіяльність населення залежить від створення та застосування об'єктів природно-заповідного фонду, враховуючи екологічні чинники. На сучасному етапі не вирішені задачі розвитку земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів, не побудована система інформаційно-аналітичного та просторового забезпечення їх визначення, що знижує рівень ефективності їх використання. У таких умовах виникає необхідність здійснення моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду на основі інформаційно-аналітичного забезпечення, застосовуючи інструментарій геоінформаційних систем.

Вирішенням питань використання земель займаються вчені [1–9].

Метою даної статті є дослідження сучасних проблем використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів України та розробити пропозиції зі здійснення їх моніторингу з використанням геоінформаційних технологій.

Для досягнення мети в статті вирішено наступні завдання: розробити схему реалізації геоінформаційного аналізу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів; розробити геоінформаційну карту, яка дозволяє візуалізувати рівень використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, а також здійснювати моніторинг

використання земель об'єктів природно-заповідного фонду окремого регіону.

Виклад основного матеріалу. Для розробки системи моніторингу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду та представлення даних за регіонами запропоновано здійснити геоінформаційний аналіз використання земель об'єктів природно-заповідного фонду шляхом побудови відповідної геоінформаційної карти значень показників інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, геоінформаційної моніторингової карти. Схема побудови геоінформаційної карти представлена на рис. 1.

Запропонована схема реалізації геоінформаційного аналізу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду передбачає представлення результатів інтегрального чинника за регіонами. Для її здійснення виконується завантаження вхідних даних інтегральних чинників рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду в середовище ArcGis. Після цього виконується формування картографічної просторової інформації у вигляді shp файлу. За завершенням даних етапів виконується встановлення зв'язків між базою геоданих інтегральних чинників рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду та картографічними даними регіонів України.

За встановленими зв'язками виконується аналіз інтегральних чинників рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами. Після здійснення аналізу виконується отримання результатів аналізу та формування шкали впливу чинників рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами. На завершальному етапі виконується формування геоінформаційної карти інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами.

Аналіз стану екомережі здійснюється з урахуванням фіксованих значень вхідних даних. Для проведення моніторингу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду під час зміни фіксованих показників чинника, дані відображатимуться безпосередньо у відповідності з регіонами.

Як показують дані геоінформаційного аналізу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду, за результатами оцінки інтегральних чинників рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду є можливість здійснювати моніторинг та виконувати візуалізацію його змін. Вказані дані забезпечать створення інформаційної платформи для виявлення критичних значень рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду та забезпечать його підвищення через здійснення відповідних заходів.



Рис. 1. Схема побудови геоінформаційної карти інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами

Отже, отримані значення оцінки інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду надають можливість здійснити геоінформаційний аналіз та розробити геоінформаційну карту моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду, яка представлена на рис. 2.

У результаті розроблена геоінформаційна карта, яка дозволяє візуалізувати рівень використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, а також здійснювати моніторинг використання земель об'єктів природно-заповідного фонду окремого регіону.

Розроблено шкалу інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду I_{EL} , яка деталізована в інтервалі змін його значень (див. рис. 2). Встановлено, що більш високий рівень інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду мають західні регіони України: Волинський (2,605), Рівненський (2,611), Хмельницький (2,613), Чернівецький (2,604), Івано-Франківський (2,607) та Закарпатський (2,605). При цьому, більш низькі значення мають Львівський (2,594) та Тернопільський (2,598), значення яких за рівнем використання земель об'єктів природно-заповідного фонду не суттєво відрізняються від інших регіонів України.

Для розробки системи моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду на регіональному рівні побудовані геоінформаційні моніторингові карти зміни інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду I_{EL} залежно від зростання системного чинника розробки інформаційно-аналітичного забезпечення щодо формування і реалізації моніторингу земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів (EL_2) (рис. 3 (а, б), 4 (а, б)). Вони побудовані на основі результатів математичного моделювання та прогнозування змін інтегрального показника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів.

У результаті дослідження визначено, що зростання інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду забезпечується при збільшенні системного чинника розробки інформаційно-аналітичного забезпечення щодо формування і реалізації моніторингу земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів на 10% (див. рис. 4 (б)). Слід зазначити, красним кольором у геоінформаційній моніторинговій карті відображено від'ємні значення інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду на

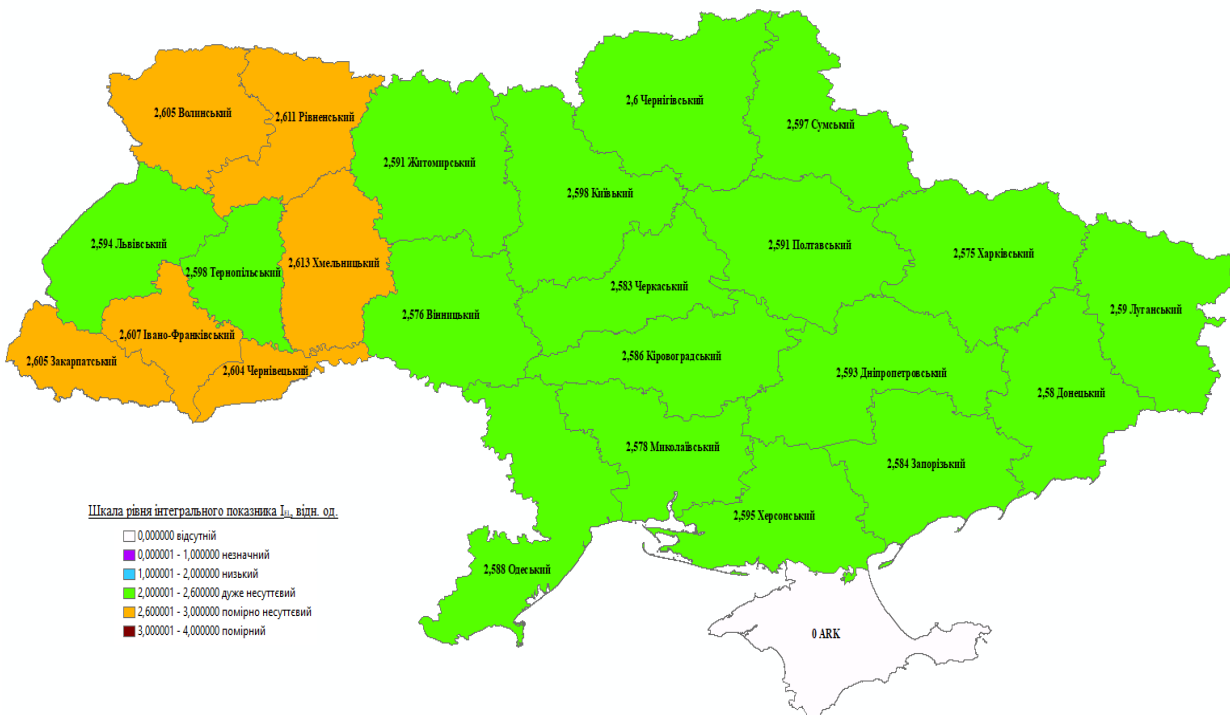


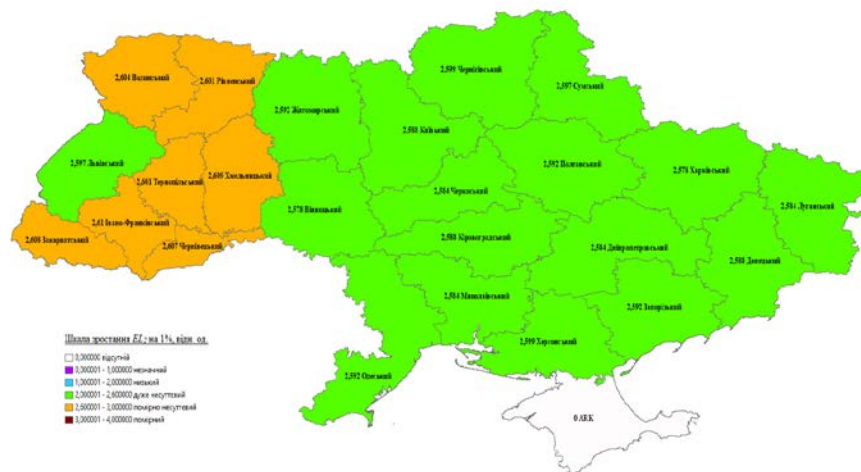
Рис. 2. Геоінформаційна карта інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, відн. од.

регіональному рівні (див. рис. 4 (а)). Це підтверджує висновок про те, що забезпечення зростання системного чинника розробки.

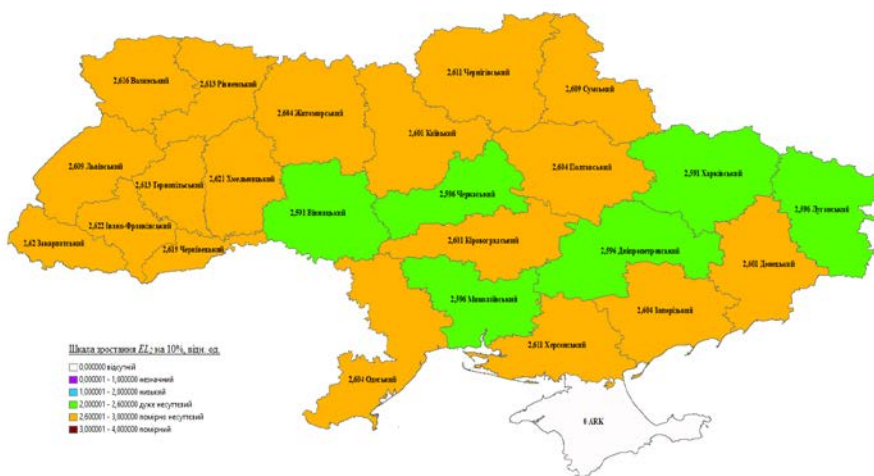
Встановлено, що зростання інтегрального чинника рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду залежно від збільшення системного чинника рівня раціонального використання та охорони природних ресурсів забезпечено у всіх регіонах при рівні зростання на 10%.

Висновки. Таким чином, проаналізовано сучасні проблем використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів України та розроблено пропозиції зі здійснення їх моніторингу з використанням геоінформаційних технологій.

За результатами геоінформаційного аналізу рівня використання земель об'єктів природно-заповідного фонду зроблено висновок про те, що більшість регіонів країни мають несуттєвий рівень інтегрального чинника. При цьому інші регіони мають помірно несуттєвий рівень інтегрального чинника. Дані результати вказують на відсутність дій щодо формування та використання земель об'єктів природно-заповідного фонду за регіонами, на недосконалість системи моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду, що потребує розробки науково обґрунтованих рекомендацій з розробки моніторингу використання земель об'єктів природно-заповідного фонду регіонів.



а)



б)

Рис. 3. Зміни інтегрального чинника I_{EL} залежно від зростання системного чинника (EL_2): а) на 1%, б) на 10%, відн. од.



а)



б)

Рис. 4. Геоінформаційні моніторингові карти зміни інтегрального чинника I_{EL} залежно від зростання системного чинника (EL_2): а) на 1%, б) на 10%, відн. од.

Список літератури:

1. Мамонов К.А., Нестеренко С.Г., Вяткін К.І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. *Науковий вісник будівництва. Харківський національний університет будівництва та архітектури*. Харків. 2016. Том 86 № 4. 323 с.
2. Корнієць А.В., Мамонов К.А. Визначення геоecологічного моніторингу використання земель міст. *Матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції «Геоінформаційні технології у територіальному управлінні та експертних дослідженнях: правові, організаційні, технічні проблеми» (Одеса, 4-6 жовтня 2017 р.)*. Львів : Вид-во Львівської політехніки 2017. С. 75–76.
3. Гірний Б.М. Сучасний стан і перспективи розвитку природно-заповідного фонду України. *Продуктивні сили і регіональна економіка: Зб. наук. пр.: У 2 ч. / РВПС України НАН України*. Київ : РВПС України НАН України, 2004. Ч. 1. 245 с. С. 91–98.
4. Вишиванюк М.В., Брус В.Х., Баланюк І.Ф., Матковський П.Є. Моніторинг земель сільськогосподарського призначення. URL : <http://personal.pu.if.ua/depart/petro.matkovsky/resource/file/pdf/Monitoring%20of%20land.pdf>.

5. Палеха Ю.Н., Олещенко А.В., Соломаха И.В. Применение ГИС-технологий в градостроительных проектах на государственном и региональном уровнях. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. География*. 2012. 25(64). № 1. С. 155–166.

6. Мамонов К., Корнієць А. Застосування геоінформаційних систем для моніторингу використання земель міст / Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «GeoTerrese-2017» (14-16 грудня 2017 р.): збірник матеріалів. Львів : Видавництво Львівської політехники, 2017. С. 216–218.

7. Enemark, S. (1998) Updating digital cadastral maps. The Danish experience. FIGcongress, Brighton.

8. Land Code of Ukraine of October 25, 2001, No. 2768-III. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14 - 02.06.2019>.

9. Law of Ukraine. On Land Management of May 22, 2003 No. 858-IV. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/858-15 - 02.06.2019>.

Viatkin R.S. GEOINFORMATION SUPPORT OF MONITORING OF LAND USE OF OBJECTS OF NATURE RESERVE FUND OF REGIONS

The paper examines the current problems of land use of nature reserves of the regions of Ukraine. The relevance of this study lies in the need to determine the strategic prospects for the development of nature reserves in Ukraine, especially in the context of changes in the regulatory framework related to land management. Particular attention needs to be paid to the formation of land use at the regional level, their impact on the lives of the population, which depends on the creation and use of nature reserves, taking into account environmental factors. At the present stage, the tasks of land development of the objects of the nature reserve fund of the regions have not been solved, the system of information-analytical and spatial support of their definition has not been built, which reduces the level of efficiency of their use.

The scheme of realization of the geoinformation analysis of level of use of lands of objects of nature reserve fund offered in article assumes representation of results of the integrated factor on regions which is characterized by set of interconnected directions. The integral factor is determined on the basis of the analysis of parametric characteristics of functioning of objects of lands of nature reserve fund. As a result, a geoinformation map has been developed, which allows to visualize the level of land use of nature reserve facilities by region, as well as to monitor the land use of nature reserve facilities in a particular region.

According to the results of the geoinformation analysis of the level of land use of the objects of the nature reserve fund, it has been established that most regions of the country have an insignificant level of the integrated factor. These results indicate the lack of action on the formation and use of land of nature reserves by region, the imperfection of the monitoring system of land use of nature reserves, which requires the development of scientifically sound recommendations for the development of monitoring of land use of natural resources -reserved fund of regions.

Key words: *monitoring, geoinformation systems, land use, objects of nature reserve fund, system factors, integral factor, geoinformation map.*

УДК 349.27:349
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/43>

Музика Н.М.

Національний університет «Львівська політехніка»

Маланчук М.С.

Національний університет «Львівська політехніка»

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ МЕХАНІЗМИ ФУНКЦІОНУВАННЯ 3D-КАДАСТРУ В УКРАЇНІ

Кадастр виступає ядром інформації про землю як незалежна система. Дані про права на землю й обмеження, будь то право власності, обтяження або право на землекористування й обмеження, повинні бути доступними. Дані про громадян і підприємства, тобто соціально-економічні дані, повинні бути доступні та забезпечені можливою інтеграцією з інформацією про землю. Ця інформація інфраструктури є вирішальним фактором розвитку кадастру на регіональному рівні та взаємозв'язку усіх видів кадастрів між собою в просторі та часі, що поліпшить шляхи функціонування кадастрів між собою в системі 3D.

Кадастр завжди пов'язаний із землею. У великих містах землекористування стає інтенсивним, оскільки з'являються різні типи використання землі, інакше кажучи, земельні ділянки розташовуються одні під одними та над ними. Це виклик для теперішньої кадастрової системи, яка без введення третього виміру не здатна вирішити поставлене питання.

Основна мета тривимірного кадастру – це гарантування правової безпеки нерухомості, тобто земельні ділянки й розташовані на них об'єкти повинні бути зареєстровані в системі 3D, гарантуючи власнику повноту інформації та її доступність.

Формування земельної ділянки у 3D забезпечує зонування і детальні плани, що надалі впливає на процеси її формування.

Розглянуто теоретично можливі за умов функціонування земельного кадастру в системі 3D-кадастру, а саме у правовій площині, діяння 3D-К у площинах прав власності, суперфіцію, довгострокової оренди, сервітуту, квартирної та спільної власності.

Обґрунтовано логічний контакт тривимірного кадастру й об'єкта функціонування, які відіграють значну роль стабільного функціонування третього виміру, адже два елементи цілком пов'язані, і неможливе існування окремого елемента без врахування одного з них. Земельно-кадастрова інформація слугує базовою складовою частиною 3D-кадастру, з повним переліком інформації, що відображатиметься при функціонуванні 3D-кадастру – площина, висота, координати, картографічний і цифровий матеріал.

Ключові слова: 3D-кадастр, 3D-власність, земельний кадастр, 3D-оренда, 3D-сканування, реєстрація.

Постановка проблеми. У ході економічного розвитку потреба в більш різноманітних інформаційних матеріалах стає дедалі актуальнішою. Дані, що зберігаються у традиційних кадастрових системах, не відповідають вимогам, пов'язаним із наглядом, управлінням, прийняттям рішень, прогнозуванням і плануванням розвитку. Найбільш значними проблемами є недостатня точність геометричних даних, якість і швидкість доступу до даних, розходження між планом і реєстром. Інший вид проблеми – це здатність виконувати аналізи та звітності. Використовуючи традиційний аналоговий реєстр, власник не може легко вказати базовий параметр, наприклад, кількість описаних ділянок.

Одним із основних факторів 3D-кадастру, який не враховується в сучасному розумінні земельно-кадастрової інформації, є об'ємність об'єкта

та врахування структури рельєфу, що зумовлює некоректне функціонування 3D-кадастру. Крім цього, існує ще не менш затребуваний фактор, такий як врахування часу, тобто історична інформація про об'єкт у проміжку часу. При функціонуванні 3D-кадастру уся кадастрова інформація повинна мати інтегрований характер, тобто зв'язаність усіх даних, які при накладанні створюють єдину кадастрову інформацію у тривимірному просторі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Країни всього світу мають справу зі складністю кадастрової реєстрації 3D-одиниць.

Тривимірна одиниця власності – це певний обмежений простір із чітко вказаним власником, який має речові права на цю власність, оскільки реєстрація залишається важливою складовою час-

тиною. Запровадження 3D-кадастру залежить від національної правової системи та рівня сучасного розвитку кадастрової реєстрації в конкретній країні. У таких країнах, як Норвегія, Швеція, Австралія існує безперервне функціонування тривимірного кадастру. Однак у жодній із країн тривимірні властивості не включені до базової кадастрової карти. Хоча у різних державах є помітні відмінності, їхні кадастрові системи можуть бути взяті за основу для подальшого функціонування Українського тривимірного кадастру, із залученням основних переваг тої чи іншої кадастрової системи.

Запровадження тривимірного кадастру в Україні – доволі актуальне питання, у цій сфері працюють Ю. Дума, І. Снежка, А.Е. Антинов та інші фахівці.

Взявши до уваги досвід країн, де успішно функціонує 3D-кадастр, слід запровадити функціонування 3D-кадастру в Україні з урахуванням усіх умов та акцентувати увагу на чітко визначених теоретичних відомостях функціонування 3D-кадастру у правовій площині, а також у площинах прав власності, суперфіцію, довгострокової оренди, сервітуту, квартирної та спільно-сумісної власності.

Постановка завдання. Нами були запропоновані шляхи функціонування 3D-К в Україні з урахуванням усіх умов земельного кадастру. Основну увагу звернено на чітко визначені теоретичні відомості функціонування 3D-кадастру у правовій площині, діяння 3D-К у площинах прав власності, суперфіцію, довгострокової оренди, сервітуту, квартирної власності, спільної власності.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо основні шляхи можливого запровадження функціонування 3D-кадастру.

Право 3D-власності. Основним правилом власності, яке випливає з римського права, є те, що будівлі та споруди, закріплені за земельною ділянкою, є частиною тієї землі, а саме підземною або надземною конструкцією і належать ї власнику. Згідно з українським законодавством власник будівель чи споруд (земельних поліпшень) під поверхнею або над нею – не завжди одна і та сама людина, як і власник земельної ділянки.

Найвагоміше право, яке може мати суб'єкт – це повне право власності, тобто власник може вільно користуватися земельною ділянкою за чинними умовами її використання, не порушуючи права й обмеження, закріплені у законодавчих актах. При функціонуванні 3D-кадастру з усіма правами право володіння на ділянками має 3D-компонент. Це стає очевидним, коли верхня та нижня межа має

спірні частини, тобто коли більше ніж один власник використовує земельну ділянку. Саме право 3D-власності завжди стосується простору, інакше використання ділянок було б неможливим.

Право 3D-власності включає:

– повне використання простору над земельною ділянкою;

– право власності на об'єкти нерухомості, що існують на ділянці (безпосередньо або за допомогою інших конструкцій). Це свідчить про неоднозначність способу володіння у третьому вимірі: третя координата не є обмеженою. Право власності на ділянку включає користування нею, що складається з простору над і під нею, висоти та глибини, до якої користувач має (можливий) інтерес.

Користування площею над і під ділянкою може бути дозволене третім особам, якщо це достатньо високий або низький рівень і його власник не може обґрунтовано заперечити таке використання, або коли це використання регулюється законодавчою базою України щодо прав використання.

Оскільки право власності не є явно обмеженим у третьому вимірі, це право на землю поширюється під і над землею. Горизонтальний поділ цього обсягу можливий лише шляхом встановлення прав і їх обмежень на поверхню ділянки. Горизонтальний поділ об'єму, що охоплює весь простір земельної ділянки, призводить до 3D-одиниці власності, які є обмеженими у просторі та мають визначене речове право.

Обмеження відповідно до публічного права й обмеження, накладені регіональними та місцевими планами використання земель (наприклад, не більше п'яти поверхів на одну будівлю), також можуть обмежувати власника щодо використання ділянки, обмеження та плани зонування не зареєстровані в кадастровій реєстрації [1].

Право 3D-суперфіцію. Право суперфіцій – це право будувати та володіти будівлею над землею або під землею, що належить іншій особі. Оскільки право суперфіцію є платним і передається, воно ставить під сумнів компенсацію наданого права суперфіцій, а також його вартість при передачі. Тобто це право може бути використане, коли власник будівництва не той самий, що власник ділянки, що тягне за собою горизонтальний поділ власності. Іншими словами, встановлення права суперфіцію дає можливість диктувати обмеження власнику 3D, щоб уникнути псування будівлі [2].

Права на довгострокову 3D-оренду. Правовий статус споруд під поверхнею або над нею також може бути встановлений із правом довгострокової оренди (емфітевзисом), яке розглядається як юри-

дичний інструмент, що в Україні іноді використовується як 3D-ситуація, однак таке право може бути не призначене для 3D-ситуацій.

Право довгострокової оренди дає власнику довгострокової оренди дозвіл на утримання та користування ділянкою, ніби він власник. Акт про встановлення може накладати зобов'язання на орендодавця сплатити грошову суму власнику щороку. Цей акт також містить дату закінчення договору оренди [3].

Право 3D-сервітуту. Крім сервітутів без домінуючих 3D, сервітуту не реєструються як обмеження речового права, яке також просторово не може бути визначене в наборі кадастрових географічних даних, хоча до акта додається креслення із зазначенням площі сервітуту. Однак у разі сервітутів, пов'язаних із ділянками, схеми не будуть доступні безпосередньо через кадастрову базу даних (наявність сервітуту не відоме як обмежене речове право в кадастровій базі даних). Вертикальний розмір права сервітуту може бути невідповідним, наприклад, коли право сервітуту встановлюється для мосту над обслуговуючою земельною ділянкою або для трубопроводу, що перетинає її. Також встановлюється право сервітуту на наявність будівлі, що знаходиться на ділянці. У всіх цих випадках реєстрація була б удосконалена, по-перше, шляхом реєстрації існування сервітуту як обмеженого реального права в кадастровій базі даних, а по-друге, за допомогою 3D-візуалізації простору, де застосовується це право [4].

Право на квартирний комплекс. Найчастіше трапляються 3D-ситуації квартирних комплексів. Більшість країн запровадили юридичні документи для встановлення права власності на квартирні одиниці. У Німеччині, Франції та більшості інших європейських країн законодавство щодо власності на квартири формується на так званій «подвійній системі».

У кожного власника квартири є повне право власності на частину будинку (квартири). Комунальні зони будівлі, такі як сходи та ліфти, знаходяться у загальній власності. Деякі європейські країни прийняли «унітарну систему», наприклад, Норвегія, Австрія, Швейцарія та Нідерланди. Важливо зауважити, що в цій системі право власності на квартиру ґрунтується на співвласності над усім комплексом (що складається із земельних ділянок) і будівель на них [5].

Спільна власність. Ця власність виникає тоді, коли нерухоме майно перебуває у спільній власності двох або більше власників об'єктів нерухомості, які мають бути укладені нотаріальним

актом між ними, що потім фіксується в Державних реєстрах.

Спільна власність включає обов'язок кожного власника надати іншим спільним власникам доступ до об'єкта, який перебуває у спільній власності. Спільний власник об'єкта може передавати свою частку в майно іншим спільним власникам окремо від його власності. Ця характеристика полягає в тому, що в деяких випадках спільна власність віддається перевазі реєстрації за допомогою організації системи банку даних, за допомогою якої не можна передавати частки окремо від власності (квартири).

Конкретна кадастрова характеристика спільної власності полягає в тому, що вона зареєстрована лише на земельній ділянці та не пов'язана із предметом. 3D-характеристика нерухомої речі, що перебуває у спільній власності, може мати важливе значення при кадастровій реєстрації, коли не вся ділянка перебуває у співвласності, наприклад, підземні паркувальні місця, басейни, тощо.

Отже, підводячи підсумки щодо теоретично механізму 3D, для початку стабільного функціонування 3D-К необхідно вести поправки до правової бази, а саме у площині спільної власності, права на квартирний комплекс, сервітут, довгострокової оренди заради першочергового етапу втілення 3D-кадастру, який пов'язаний із законодавчою базою.

Що стосується практичного застосування, то це також значущий етап для створення 3D-К. Дозволимо припустити, що на перших етапах практичного використання необхідно починати із найменшої складової частини, а саме функціонування 3D у межах земельної ділянки.

Під час проведеного дослідження було розроблено схему, яка найкраще адаптована в систему державного земельного кадастру із мізерними змінами, котрі стосуються лише законодавства.

Ця схема є прогресивною, тобто починає функціонувати на найменшій одиниці – земельній ділянці, яка забезпечує поступовий вплив на інші рівні державного земельного кадастру, і слугує як база 3D, що наведено на рис. 1.



Рис. 1. Схема містоформуючого 3D-К

Така схема базується на трьох етапах розвитку:

- основа як топографічна карта (план, схема об'єкта на локальному рівні);
- електронна карта;
- електронна карта із базою даних;
- цифрова карта.

Перший етап. Маючи земельну ділянку, необхідно детермінувати її у просторовій системі, тобто визначити необхідні елементи для подальшого відображення на картографічній основі. Маючи визначений об'єкт із координатами та висотою, необхідно включити реєстрацію меж ділянки та реєстрацію правового її статусу. На першому етапі кадастрова реєстрація вносить інформацію в актах (права й обмеження).

Другий етап. Наповнення інформацією об'єкта, тобто перехід від зображення, яке не несе жодної інформації, лише контури об'єкта, до картографічного матеріалу із вмістом даних про кожний об'єкт, розташований на цьому матеріалі.

Якщо йдеться про інформацію, слід вдаватися до приєднання системи управління базою даних, яка збиратиме, систематизуватиме, управлятиме та найголовніше – зберігатиме дані. Процедура наведено на рис. 3.

Третій етап. На фінальному етапі необхідно додати 3D-модуль до растрового зображення. 3D-модуль базується на створенні комп'ютерного моделювання 3D-сканування, що може бути двотипне (рис. 4). Для найпершого методу необхідно мати зв'язок 3D-сканера з об'єктом.

Безконтактний метод ділиться на два типи:

- активний сканер, коли до спостерігаючого об'єкта відображаються хвилі, які відбиваються від нерухомості та візуються у сканері;
- пасивний сканер за допомогою світла фіксує відбиття від конкретного об'єкта.

Наступним етапом є практичне застосування 3D-кадастру.

Важливою залишається реєстрація 3D-кадастру.

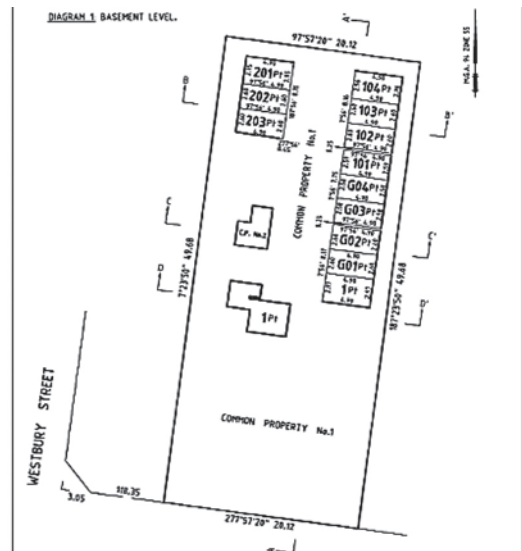


Рис. 2. Топографічна основа об'єкта

Проаналізувавши тривимірні ринки іноземних країн, можна припустити, що значний прогрес був досягнутий модернізацією правової бази, тобто забезпеченням правових положень для реєстрації 3D-кадастру. Німеччина, Австралія, Голландія почали відображати 3D-інформацію про кадастрові плани, такі як: ізометричні зображення, вертикальні профілі та деяку текстову частину для полегшення збору і реєстрації даних. Так само в цих країнах для збору й оперування даними використовується: BIM, файли IFC CityGML, IndoorGML, InfraGML і LandXML. Використовуючи ці розширенні файли для майбутньої тривимірної реєстрації, можливо створити 3D кадастрову базу даних і об'єднання з даними, що містяться у XML файлі. Тобто використання цих файлів – це дешеве вирішення одного з найбільш затратних етапів втілення 3D-кадастру.



Рис. 3. Набір інформації про об'єкт

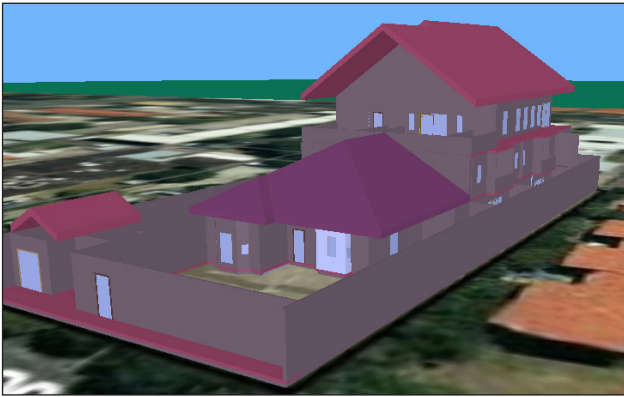


Рис. 4. 3D-об'єкт

Отже, основний потенціал тривимірної кадастрової системи полягає в реєстрації простору як окремого об'єкта в кадастровій системі. Це є невидима (над землею і під землею) 3D-власність, яка при реєстрації просторового 3D-об'єкта відображається і в основу якої буде покладено:

– офіційне джерело інформації 3D-кадастрової зйомки;

– формат із відкритим вихідним кодом для обміну і розповсюдження даних;
– світові стандарти в моделюванні та структуризації даних.

Застосувавши світовий досвід 3D-кадастру у системі земельно-кадастрових даних, Україна покращить прозорість і достовірність інформації щодо використання земельних ділянок у 3D-системі та їхню прив'язаність до власників чи користувачів.

Висновки. Отже, зміни в системі кадастру неминучі, оскільки відбувається зміна у правовій базі. Разом зі змінами необхідно поставити довгострокові цілі для швидкого впровадження 3D-кадастру через створення 3D-моделі з урахуванням системи права власності, опрацювання процесу запровадження визначення «тривимірна нерухомість», розробки механізмів формування нерухомості та реєстрації, окреслення пропозиції щодо оновлення та внесення змін до законодавчої бази.

Список літератури:

1. Dutch Government. Dutch Civil Code (Burgerlijk Wetboek), Boek 5: Zakelijke rechten (in Dutch). The Hague, 1992.
2. P. van der Molen. De kadastrale registratie van ondergrondse bouwwerken (in Dutch). VI Matrix, February 1998.
3. De Jong. Juridische aspecten van ondergronds bouwen (in Dutch). Bouwrecht. № 35 (6). 1998. P. 453–459.
4. Dutch Government. Dutch Civil Code (Burgerlijk Wetboek), Boek 5: Zakelijke rechten (in Dutch). The Hague, 1992.
5. T.M. Aldridge and A. van Velten. Apartment Ownership in the European Union. *Notarius International*. 1997. P. 17–30.
6. Wang, Chen. 3D visualization of cadastre: assessing the suitability of visual variables and enhancement techniques in the 3D model of condominium property units. URL: https://www.researchgate.net/publication/339800649_Visualisation_3D_de_donnees_cadastrales_bilan_et_perspectives.
7. Інтегрований багатофункціональний 3D-кадастр: управління, ефективність, підтримка прийняття рішень. URL: <http://sight-power.com/uk/solutions/land-cadastre/>.
8. Boss H.Å. and Streilein Guo, R. Ying S. Li, L. Luo, R. van Oosterom, P. A Multi-jurisdiction Case Study of 3D Cadastre in Shenzhen, China: as Experiment using the LADM. 2nd International Workshop on 3D Cadastres. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/workshop2011/documents/003_presentation.pdf.
9. 3D Data Management – Relevance for a 3D Cadastre Position Paper 3. In: Proceedings of the 4th International Workshop on 3D Cadastres. November 2014. P. 9–11.
10. Jantien E. Stoter, Peter J.M. van Oosterom, Hendrik D. Ploeger and Henri Aalders. Appropriate Technologies for Good Land Administration II – 3D Cadastre TS25.1 Conceptual 3D Cadastral Model Applied in Several Countries. FIG Working Week. Athens. – Greece – May. 2004. P. 22–27.
11. Stoter J., Ploeger H., Roes, R., van der Riet E., Biljecki F., Ledoux H. First 3D Cadastral Registration of Multi-level Ownerships Rights in the Netherlands. 5th International FIG Workshop on 3D Cadastres, Athens, Greece, 2016. P. 491–504.
12. Oosterom P. 2018. Best Practices 3D Cadastres (extended version). FIG Publication, International Federation of Surveyors, Copenhagen, Denmark, March 2018. URL: http://www.gdmc.nl/3DCadastres/FIG_3DCad.pdf.

Muzyka N.M., Malanchuk M.S. THE THEORETICAL AND PRACTICAL MECHANISMS OF THE 3D-CADASTRE FUNCTIONING IN UKRAINE

The cadastre is the core of information about the land as an independent system, its importance is not so significant. Data on the land rights and restrictions, whether it concerns ownership, encumbrances or land use rights and restrictions, should be available. Data on citizens and enterprises, namely socio-economic data, should

be available and provided with possible integration with the land information. This infrastructure information is a crucial factor in the development of cadastre at the regional level and the interconnection of all cadastre types in space and time, which in turn will improve the ways in which cadastral systems operate in the 3D system.

The cadastre is always related to land. In large cities, land use is becoming more intense as different types of land use emerge. In other words, land plots are located below and above other land plots. This is a significant challenge for the current cadastral system, which is unable to solve the problem without the introduction of the third dimension.

The primary purpose of a three-dimensional cadastre is to ensure the legal security of real estate, in other words, this means that land plots and objects that are located must be registered in the 3D system, and thereby guarantee the owner the completeness of the information and its availability.

The formation of a land plot in 3D provides zoning and detailed plans, which further affects the processes of its formation.

The 3D cadastre process in the planes of property rights, superficies, long-term lease, easement, apartment and joint ownership, which are theoretically possible in the conditions of the functioning of the land cadastre in the 3D cadastre system, namely in the legal plane are considered. The study is based on approaches and solutions to the procedures for registration of three-dimensional land plots in the world.

We substantiate the logical contact of the three-dimensional cadastre and the object of functioning, which play a significant role in the stable functioning of the third dimension, because the two elements are completely connected, and it is impossible to have a separate element without taking into account one of them. Land cadastral information serves as a basic component of the 3D-cadastre, with a complete list of information that will be displayed during the operation of the 3D-cadastre – plane, height, coordinates, cartographic and digital material.

Key words: 3D Cadastre, 3D property, land cadastre, 3D-lease, 3D-scanning, registration.

Савчук Л.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

Доскіч С.В.

Національний університет «Львівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТІВ І КОМПЛЕКСІВ У БАСЕЙНІ Р. ВІСЛА

Чільне місце серед природних ресурсів належить водним. Важливою складовою частиною природних вод є підземні. На їх формування визначальний вплив має стан водоносних горизонтів і комплексів. Територія басейну р. Вісла знаходиться в межах Волино-Подільської регіональної гідрогеологічної системи. За морфоструктурними та гідрогеологічними особливостями тут виокремлюють такі гідрогеологічні райони: Волинський, Малополянський та Подільський. Волино-Подільська регіональна гідрогеологічна система включає відклади: четвертинної системи; баденські міоцену; туронсько-маастрихтського ярусів; нижньої крейди; верхньої юри; кам'яновугільної системи; девону, силурійські. Відклади четвертинної системи включають велику кількість водоносних горизонтів з різними генетичними утвореннями. Тут води безнапірні, гідрокарбонатні кальцієві з мінералізацією від 0,2 до 1 г/дм³, використовуються для водопостачання. У баденських відкладах міоцену водовмісними є вапняки, пісковики, піски опільської світи. Цей водоносний комплекс поширений у Подільському районі, де він є основним і використовується для водопостачання. Рідше тут зустрічаються мінеральні лікувальні води з підвищеною мінералізацією і значним вмістом сірководню (курорти Немирів і Шкло). Водоносний комплекс у відкладах туронсько-маастрихтського ярусів верхньої крейди пов'язаний з тріщинуватою зоною в мергелях, крейді і вапняках та є основним у Волинському, Малополянському і частково Подільському районах. Це відклади зі значною водоносністю, у більшості випадків з високою якістю підземних вод, які використовуються для централізованого водопостачання. Це переважно гідрокарбонатні кальцієві води із загальною мінералізацією до 0,5...0,8 г/дм³. У зонах тектонічних порушень та районів вуглевидобутку утворюються гідрокарбонатні натрієві, хлоридно-гідрокарбонатні натрієві води з підвищеною загальною мінералізацією 1,5–2,4 г/дм³ та деяким перевищенням вмісту окремих мікроелементів, зокрема фтору. У відкладах нижньої крейди підземні води напірні, переважають сульфатно-хлоридні натрієві з мінералізацією від 6,0 до 24,0 г/дм³. У відкладах верхньої юри водоносний комплекс поширений, переважно в центральній та західній частинах басейну. Водовмісними породами є сильно тріщинуваті вапняки й мергелі. Горизонт напірний, води гідрокарбонатно-хлоридні натрієві й сульфатні кальцієві з мінералізацією до 5,0 г/дм³. У районі Нестерівського підняття знаходиться Брюховицьке родовище мінеральних термальних вод із сульфатно-хлоридними натрієвими розсолами з мінералізацією 16...29 г/дм³ і температурою 34...40 °С. Ці води містять специфічні компоненти: бром, йод, метаборну кислоту. Слабко водоносний комплекс у відкладах кам'яновугільної системи поширений у центральній та західній частинах басейну та є основним, що заводить поклади кам'яного вугілля в басейні. Водоносність кам'яновугільних відкладів незначна. Водовмісними породами є пісковики, вапняки, глинисті сланці, вугілля. Вода переважно сульфатно-хлоридна натрієва, хлоридна натрієва, гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна натрієва з мінералізацією від 0,5–2,5 до 5–10 г/дм³. У відкладах девону водовмісними породами є девонські тріщинуваті вапняки та доломіти, іноді пісковики. Спостерігається коливання мінералізації в дуже широкому діапазоні – від 0,5 до 180 г/дм³. Сильно мінералізовані розсоли характеризуються значним вмістом йоду, бром, амонію. Водовмісний горизонт у силурійських відкладах утворений кристалічними вапняками, з перешаруванням аргілітами, пісковиками і алевролітами. Води силурійських відкладів висококонцентровані та сильно метаморфзовані (Na/Cl = 0,62), з незначним вмістом сульфатів і загальною мінералізацією від 75 до 190 г/дм³. Крім того, вони містять (мг/дм³): бром – 690, йод – 21, ортоборні кислоти – 21. Значна частина вод басейну р. Вісла придатна для господарсько-питного водопостачання і забезпечення населення якісною питною водою.

Ключові слова: регіональна гідрогеологічна система, водоносний комплекс, водовмісні породи, водоносний горизонт, зони тектонічних порушень, загальна мінералізація.

Постановка проблеми. Одним із найважливіших складників економічного розвитку суспільства є ефективне управління природними ресурсами, що забезпечується створенням інтегрованих систем управління. Сучасні інтегровані системи управління – це різнопланові багатоцільові інформаційні системи, які дають змогу прийняти управлінські рішення щодо раціонального використання та охорони природних ресурсів. Чільне місце серед природних ресурсів належить водним. Ефективне управління водними ресурсами можливе за аналізу, систематизації і прогнозування не тільки водних, але й зв'язаних з ними природних ресурсів у їх взаємодії. Такий підхід дасть змогу забезпечити гармонізацію управління водними, земельними та зв'язаними з ними ресурсами, оптимізувати умови довготривалого функціонування життєво важливих екосистем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підписання Угоди про асоціацію між Україною та державами Європейського Союзу відкриває нові можливості та створює нові стандарти в різних сферах суспільного життя, включаючи сферу охорони довкілля. Питання, що стосуються сектору «Якість води та управління водними ресурсами», в Європейському Союзі регламентується 6-ма основними водними директивами. Базовим принципом Водної рамкової директиви ЄС є визнання району річкового басейну основною гідрографічною одиницею управління водними ресурсами як цілісного природного гідрографічного об'єкту, який не може обмежуватися адміністративними чи державними кордонами. Управління виділеним річковим басейном здійснюється на основі «Плану управління річковим басейном», який містить аналіз стану басейну й чітку програму заходів для досягнення у встановлені терміни основної мети – доброго стану водних об'єктів, як поверхневих, так і підземних, що містяться на його території. З позиції основних водних директив базовий термін «басейновий принцип управління» є комплексним (інтегрованим) управлінням водними ресурсами в межах району річкового басейну, який охоплює використання, охорону та відтворення водних ресурсів, річкового басейну та пов'язаних з ним прибережних і підземних вод. У статті 13¹ Водного кодексу України визначено, що основною гідрографічною одиницею є район річкового басейну. В Україні встановлено 9 районів річкових басейнів, серед яких важливе місце займає район басейну річки Вісла, що належить до транскордонних [1, ст. 3–5]. Води р. Вісла на 80% забезпечують питною водою Варшаву і впадають в Балтійське море, що харак-

теризується низькою здатністю до самоочищення через низьку температуру води. Тому постійне відслідковування стану водних ресурсів на території басейну р. Вісла є питанням не тільки екологічної безпеки України, але й держав Європейської співдружності. Перехід на інтегроване управління водними ресурсами і плани управління річковими басейнами дасть змогу враховувати всі ті загрози, які виникають під дією природних і антропогенних чинників та негативно впливають на якість води.

Отже, на якість води впливає велика кількість факторів, серед яких – територіальне розташування, категорія водного об'єкту, площа водозабору, площа водного дзеркала, об'єм води, вид річкової мережі, параметри і властивості рельєфу, гідрологічні умови. Не менш важливим є вплив антропогенних чинників, який корелюється ступенем освоєння території, структурою угідь, кількістю населення та населених пунктів, техногенним навантаженням тощо. Урахування всіх цих факторів дасть змогу визначити оптимальні екологічні умови функціонування території басейну р. Вісла.

Постановка завдання. Вода є стратегічним, життєво важливим природним ресурсом, що має особливе значення і є визначальним фактором здоров'я населення. З огляду на зміни клімату у світі взагалі й в Україні зокрема проблема забезпечення якісними водними ресурсами стає все гострішою. Тому ретельний аналіз стану природних водних джерел та дослідження чинників, які впливають на якість води, є актуальним. Важливою складовою частиною природних вод є підземні, які формуються під впливом величезної кількості різноманітних факторів. Серед природних факторів важливим є стан водоносних горизонтів і комплексів. Тому нашою метою було дослідження стану водоносних горизонтів і комплексів та їхній вплив на якість природних підземних вод басейну р. Вісла.

Виклад основного матеріалу дослідження. Відповідно до районування, з урахуванням структурно-гідрогеологічної основи, досліджували басейн р. Вісла у Львівській області, що знаходиться в межах Волино-Подільської регіональної гідрогеологічної системи (далі – РГС) [2, ст. 17]. Територія характеризується сприятливими умовами формування ресурсів підземних вод, тому тут виділено велику кількість водоносних горизонтів (далі – ВГ) і комплексів, приурочених до потужної товщі кайнозойських, мезозойських і палеозойських відкладів. За морфоструктурними та гідрогеологічними особливостями у Волино-Подільській РГС виокремлюють такі гідро-

геологічні райони: Волинський, Малополіський і Подільський.

Водоносні горизонти і комплекси Волино-Подільської РГС включають відклади: четвертинної системи; баденські міоцену; туронсько-маастрихтського ярусів; нижньої крейди; верхньої юри; кам'яновугільної системи; девон, силурійські.

Водоносний комплекс у відкладах четвертинної системи включає велику кількість ВГ, пов'язаних з різними генетичними утвореннями. Серед основних, які відграють важливу роль для водопостачання, виділяють ВГ у відкладах заплав, 1–2 терас голоцену та неоплейстоцену, частково в алювіально-озерних, льодовикових і водно-льодовикових відкладах нижнього неоплейстоцену. Вони поширені у Волинському й Малополіському районах, їх товщина 8–10 м. Води безнапірні, глибина залягання від 1 до 7 м. Дебіти свердловин змінюються від 0,05 до 1,8 $\text{дм}^3/\text{с}$, коефіцієнти фільтрації – від 0,5 до 11 м/добу. Води гідрокарбонатні кальцієві з мінералізацією від 0,2 до 1 $\text{г}/\text{дм}^3$, твердість – 2,2–8,7 $\text{мг-екв}/\text{дм}^3$, рН – 7,3–9,5. Використовується для індивідуального водопозабезпечення. Води в інших утвореннях переважно мають локальне поширення та використовуються дрібними водоспоживачами. За санітарно-хімічними показниками ці води часто не відповідають нормам для господарсько-питних потреб, особливо в межах великих поселень та промислових регіонів, зокрема в Червоноградському.

Водоносний комплекс у баденських відкладах міоцену дуже поширений у Подільському районі. Він є першим від поверхні та основним ВГ. Найбільш водовмісними є вапняки, пісковики, піски опільської світи. Цей водоносний горизонт широко використовують для водопостачання населення Львівщини та м. Львова. У баденських відкладах також часто зустрічаються води з підвищеною мінералізацією і значним вмістом сірководню. Це мінеральні води курортів Немирів і Шкло. Прісні води Опільського ВГ експлуатуються кількома родовищами, які складаються з двох і більше ділянок. Це практично самостійні родовища: Новояворівське з ділянками Шклівська та Новояворівська; Верещицьке з ділянками Воля-Добростанівська, Великопільська, Кам'янобродська, Мальчицька, Будзеньська та інші. За хімічним складом води більшості ділянок усіх цих родовищ мають дуже збалансований макрокомпонентний склад та є придатними для господарсько-питних потреб.

Водоносний комплекс у відкладах туронсько-маастрихтського ярусів верхньої крейди пов'язаний з тріщинуватою зоною в мергелях,

крейді і вапняках та є основним і першим від поверхні у Волинському, Малополіському і частково Подільському районах. Тріщинуватість водовмісних порід розвинута нерівномірно, переважно до глибини 60–100 м. Значна водоносність і, в більшості випадків, висока якість підземних вод мергельно-крейдових відкладів зумовлює важливе їх значення для централізованого водопостачання майже всієї території басейну. У цьому ВГ розвідано 17 родовищ підземних вод, які складаються з 36 ділянок і експлуатуються великою кількістю свердловин, колодязів, водозаборів. На водах цього горизонту працюють водозабори Зарудцівський, Мокротинський, Магерівський, Радехівський, Рава-Руський, Крехівський та інші. Вони забезпечують водою м. Львів; також здійснюють централізоване водопостачання районних центрів, шахт і селищ Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Води тут переважно гідрокарбонатні кальцієві із загальною мінералізацією до 0,5–0,8 $\text{г}/\text{дм}^3$ і сухим залишком 0,25–0,7 $\text{мг}/\text{дм}^3$. Зони тектонічних порушень та райони вуглевидобутку впливають на формування хімічного складу зони активного водообміну і спричиняють утворення ділянок гідрокарбонатних натрієвих, хлоридно-гідрокарбонатних натрієвих та інших типів вод з підвищеною загальною мінералізацією до 1,5–2,4 $\text{г}/\text{дм}^3$, а в деяких випадках – з перевищенням вмісту окремих мікрокомпонентів, наприклад фтору. У крайній південно-західній частині басейну біля межі з Передкарпатським передовим прогином мінералізація підземних хлоридно-натрієвих вод верхньокрейдових відкладів сягає $\geq 5 \text{ г}/\text{дм}^3$, спостерігається підвищений вміст йоду та бромю. Це пояснюється розвантаженням глибших високонапірних водоносних горизонтів.

Водоносність мергельно-крейдової товщі зумовлена тріщинуватістю та закарстованістю порід, інтенсивність якої у вертикальному й горизонтальному напрямках є дуже різною. Найбільша тріщинуватість спостерігається вздовж річкових долин та глибоких балок, де сприятливі умови для формування та промивання тріщин. Інтенсивність утворення порожнин пов'язана зі ступенем ВГ. Наприклад, у східній частині басейну, яка збігається з областю живлення, вона незначна. Питомі дебіти свердловин тут коливаються в межах 0,1–6,0 $\text{дм}^3/\text{с}$, витрати джерел становлять 0,1–5,0 $\text{дм}^3/\text{с}$. Найбільш водні ділянки лежать у межах інтенсивного розвитку річкової та яружно-балкової систем. Витрати свердловин та джерел тут у середньому становлять 2–5 $\text{дм}^3/\text{с}$, а в окремих випадках – 10–27 $\text{дм}^3/\text{с}$, за фонта-

нування іноді сягають 50 дм³/с. Продуктивність свердловин залежить від місця розташування. Так, продуктивність свердловин, закладених на вододілах, різко падає, а в деяких випадках взагалі щезає.

Коефіцієнти фільтрації водовмісних порід залежать від інтенсивності тріщинуватості й коливаються в межах 0,02...190 м/добу, за середніх значень – 3...15 м/добу. На більшій частині басейну води напірні, величина напорів у Львівській мульдї становить 20–25 м, у східній частині басейну – до 10 м. На окремих понижених ділянках рельєфу вода зі свердловин іноді переливає.

Аналогічні слабководоносні породи залягають у нижній крейді, в карбонічних породах. ВГ у відкладах нижньої крейди поширений повсюдно. Товщина обводнених шарів змінюється від 4–6 до 20–25 м, глибина залягання покрівлі горизонту – від 61 до 477 м. Підземні води горизонту напірні, висота напору становить до 470 м. Рівні води встановлюються на відмітках від +5,6 до 24,0 м відносно поверхні землі. Дебіт свердловин становить 0,008–0,4 дм³/с за зниження рівнів підземних вод до 50,0–102,0 м. Питомі дебїти дуже малі. За хімічним складом переважають сульфатно-хлоридні натрієві води з мінералізацією від 6,0 до 24,0 г/дм³ [3, ст. 177].

Водоносний комплекс у відкладах верхньої юри поширений в центральній та західній частинах досліджуваної території. Водовмісними переважно є пласти тріщинуватих пісковиків, які залягають у верхній частині розрізу, потужністю 5–8 м, сумарна може сягнути 55 м. У районі Сокальського і Великомоствівського родовищ вугілля покрівля залягає в інтервалах 283–405 м, підошва – 296–447,5 м, потужність – 13–55 м. Горизонт напірний, рівні знаходяться на відмітках (+1,3)–(+9,0) м над поверхнею землі. Дебіти свердловин – 0,04–1,5 дм³/с зі зниженням рівня підземних вод на 5–166 м, питомі дебїти – 0,0005–0,2 дм³/с. За хімічним складом води гідрокарбонатно-хлоридні натрієві й сульфатні кальцієві з мінералізацією до 5,0 г/дм³.

Північніше м. Львова, в районі Нестерівського підняття, з відкладами юрської системи пов'язане Брюховицьке родовище мінеральних термальних вод. В інтервалі глибин 1110–1450 м розкрито декілька водоносних зон із сульфатно-хлоридними натрієвими розсолами. Водовмісні породи – інтенсивно тріщинуваті вапняки, мергелі. Максимальні притоки води відмічені в інтервалі 1110–1090 м. Дебіт свердловини – 2,7 дм³/с за зниження рівня на 19,2 м. Сталий рівень на гли-

бині 92 м. За хімічним складом вода з інтервалу 1110–1090 м сульфатно-хлоридна натрієва, високо мінералізована – 16,6 г/дм³, за температурою субтермальна – в гирлі 34 °С. За хімічним складом вода сульфатно-хлоридна натрієва, з мінералізацією 27–29 г/дм³, термальна – температурою в гирлі свердловини 40 °С. Зі специфічних бальнеологічних активних компонентів відмічено вміст (мг/дм³): бром – 38, йоду – 4–5, метаборної кислоти – 60.

Слабоводоносний комплекс у відкладах кам'яновугільної системи поширений теж у центральній та західній частинах та є основним, що заводнює поклади кам'яного вугілля в басейні. Глибина залягання відкладів від 200 м на сході до ≥ 700 м на заході. Водовмісні породи представлені пісковиками, вапняками, глинистими сланцями, вугіллям. Водоносність кам'яновугільних відкладів незначна. Питомі дебїти свердловин становлять від 0,001 до 0,0085 дм³/с, а в зонах тектонічних порушень, де збагачені водою відклади безпосередньо залягають під крейдовою товщею, змінюються від 0,005–0,07 до 0,32 дм³/с. За хімічним складом вода переважно сульфатно-хлоридна натрієва, хлоридна натрієва, гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна натрієва з мінералізацією від 0,5–2,5 до 5–10 г/дм³, загальна твердість – 5,5–19,3 мг-екв/дм³, вміст загального заліза – до 2,4 мг/дм³ [3, ст. 178].

Водоносний комплекс у відкладах девону поширений повсюдно. Водовмісними породами є девонські тріщинуваті вапняки та доломіти, іноді пісковики. Глибина залягання покрівлі верхньодевонських відкладів (вапняки фаменського ярусу) змінюється від 176 м на крайньому сході палеозойського прогину (сmt. Олесько) до 1000–1300 м у центральній частині Львівського палеозойського прогину (м. Дубляни).

У разі збільшення глибини водоносних шарів девонських відкладів у напрямку центральної частини Львівського палеозойського прогину поступово зростає мінералізація підземних вод та змінюється їхній компонентний склад. На крайньому сході басейну девонські породи знаходяться в зоні вільного водообміну, мінералізація вод – 0,5 г/дм³. За хімічним складом це гідрокарбонатні кальцієві води.

У районі сmt. Олесько на глибині 650–756 м у тріщинуватих вапняках та доломітах франського ярусу верхнього девону знаходяться мінералізовані (2,3–2,6 г/дм³) сульфатні магнієво-кальцієві води з незначним вмістом сірководню (1,2–1,4 мг/дм³). Дебіт самовиливу свердловин становив > 7,5 дм³/с

(за надлишкового тиску в усті свердловини 3,10–3,15 атм.).

У центральній частині Львівського палеозойського прогину (площа Дубляни) девонські відклади залягають на глибинах $> 1000\text{--}1300$ м і за результатами гідрогеологічних випробувань в інтервалах 1400–1505 м виявилися безводними. На площі Нестерів у цих же інтервалах розкриті хлоридні натрієві солоні води (мінералізація 32 г/дм³) із вмістом йоду – $8,5$ мг/дм³ і бромю – 35 мг/дм³. Під час випробування свердловини її дебіт складав $0,21$ дм³/с.

Для вертикального розрізу девонського водоносного комплексу спостерігається гідрохімічна зональність. Аналізуючи схему розподілу мінералізації підземних вод, слід зазначити, що верхньо- і середньодевонські відклади Кам'яно-Бузької структури перебувають у гідродинамічній зоні сповільненого водообміну, а нижньодевонські – у зоні застійного режиму. На Куликівській структурі до першої зони належать тільки верхньодевонські відклади і лише на деяких ділянках – верхня частина відкладів середньодевонського віку. Перша зона охоплює верхньодевонські відклади, друга – середньодевонські, третя – нижньолопушанську підсвіту середнього девону, нижній девон і верхню частину силуру. Води нижньодевонських відкладів обох структур практично не відрізняються за мінералізацією. Це розсоли з мінералізацією від 135 до 180 г/дм³ значним вмістом йоду, бромю, амонію. Верхня частина нижньодевонських відкладів ($200\text{--}300$ м) є єдиним гідродинамічним горизонтом, який має однакову мінералізацію і п'єзометричну поверхню [3, ст. 178].

Водоносний горизонт є у силурійських відкладах. Підземні води з кристалічних вапняків верхнього силуру були виведені Олеською опорною свердловиною з інтервалу глибин $1510\text{--}1820$ м: отримано хлоридний натрієвий розсіл з мінералізацією 75 г/дм³.

У центральній частині Львівського палеозойського прогину в інтервалі глибин $2850\text{--}3212$ м, складеного перешаруванням аргілітів, пісковиків і алевролітів, виведені сульфатні натрієво-кальцієві міцні розсоли з мінералізацією 190 г/дм³, вміст бромю 690 мг/дм³, йоду 21 мг/дм³, ортоборної кислоти 21 мг/дм³. Води силурійських відкладів висококонцентровані та сильно метаморфізовані ($\text{Na/Cl} = 0,62$) з незначним вмістом сульфатів.

Висновки. Територія басейну р. Вісла знаходиться у межах Волино-Подільської регіональної гідрогеологічної системи, в ній за морфоструктурними та гідрогеологічними особливостями виділяють Волинський, Малопопільський та Подільський гідрогеологічні райони.

Досліджувана територія характеризується сприятливими умовами формування ресурсів підземних вод через наявність великої кількості водоносних горизонтів і комплексів, які забезпечують водою високої якості міста, села, промислові центри та окремі об'єкти. На формування хімічного складу підземних вод впливають тектонічні та неотектонічні умови території, що спричиняє до утворення зон із підвищеною мінералізацією та вмістом таких мікроелементів, як фтор, бром, йод, що шкодять здоров'ю людей.

Список літератури:

1. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом», прийнятий Верховною Радою України 4 жовтня 2016 р. (№ 1641-VIII). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/en/1641-19>
2. Стратегія використання ресурсів питних підземних вод для водопостачання : у 2 т. / Е.А. Ставицький та ін. Чернівці : Букрек, 2011. Т. 1 348 с.
3. Бучацька Г.М. Гідрогеологічні умови та гідрохімічна зональність Львівсько-Волинського вугільного басейну. *Вісник Львів. ун-ту. Серія геол.* 2009. Вип. 23. С. 175–183.

Savchuk L.V., Doskich S.V. RESEARCH OF THE AQUIFERS AND COMPLEXES CONDITIONS IN THE VISLA BASIN

A prominent place among natural resources belongs to water. An important component of natural waters is groundwater. Their formation has a decisive influence state of aquifers and complexes. The territory of the Vistula River basin is located within the Volyn-Podilsk regional hydrogeological system. According to morphostructural and hydrogeological features, the Volyn, Malopolis, and Podil hydrogeological districts are distinguished here. Volyn-Podil regional hydrogeological system includes deposits: Quaternary system; Baden Miocene; Turon-Maastricht tiers; Lower Cretaceous; Upper Jurassic; Carboniferous System; Devonian; Silurian sediments. Deposits of the Quaternary system include a large number of aquifers with different genetic formations. Here, free, calcium bicarbonate with mineralization from 0.2 to 1 g/dm³ water is used for water supply. In the Baden deposits of the Miocene, limestone, sandstones, and sands of the Opilska Suite are

water-containing. This aquifer complex is widespread in the Podolsk district, where it is the main and used for water supply. Less common here are mineral healing waters with high mineralization and high hydrogen sulfide content (resorts Nemyriv and Shklo). The aquifer complex in the deposits of the Turonian-Maastricht tiers of the Upper Cretaceous is connected with fractures in marl, chalk, and limestone and is the main one in Volyn, Malopolsk, and partly Podil districts. These deposits with significant water content, in most cases are with high-quality groundwater, which is used for centralized water supply. These are mainly calcium bicarbonate waters with a total mineralization of up to 0.5... 0.8 g/dm³. Sodium bicarbonate, sodium chloride-bicarbonate waters with an increased total mineralization of 1.5–2.4 g/dm³ and certain excess of some microelements, in particular fluorine, are formed in the zones of tectonic disturbances and coal mining areas. In the deposits of the Lower Cretaceous groundwater pressures are dominated by sodium sulfate-chloride water with mineralization from 6.0 to 24.0 g/dm³. In the Upper Jurassic sediments, the aquifer complex is distributed mainly in the central and western parts of the basin. Water-bearing rocks are strongly fractured limestone and marls. The pressure horizon has sodium bicarbonate chloride and calcium sulfate water with mineralization up to 5.0 g/dm³. In the area of the Nesterivsky uplift, there is the Bryukhovitsky deposit of mineral thermal waters with sodium sulfate-chloride brines with mineralization of 16... 29 g/dm³ and temperature of 34... 40 °C. These waters contain specific components: bromine, iodine, metaboric acid. Weak aquifer complex in Carboniferous System deposits is widespread in the central and western parts of the basin and is the main one, flooding the coal deposits in the basin. The water content of coal deposits is insignificant. Water-bearing rocks are sandstones, limestone, shale, and coal. Water is mainly sodium sulfate-chloride, sodium chloride, sodium bicarbonate-sulfate-chloride with mineralization from 0.5–2.5 to 5–10 g/dm³. Devonian sediments include water-bearing rocks of Devonian fractured limestone and dolomites, sometimes sandstones. There are fluctuations in mineralization in a very wide range from 0.5 to 180 g/dm³. Highly mineralized brines are characterized by a significant content of iodine, bromine, and ammonium. The aquifer in the Silurian deposits is formed by crystalline limestones, with a layering of argillite, sandstones, and siltstones. Silurian sedimentary waters are highly concentrated and highly metamorphosed (Na/Cl = 0.62) with low sulfate content and total mineralization from 75 to 190 g/dm³. In addition, they contain (mg/dm³): bromine – 690, iodine – 21, orthoboric acids – 21. A significant portion of the water in the Vistula River basin is suitable for drinking water supply and providing the population with quality drinking water.

Key words: regional hydrogeological system, aquifer complex, water-bearing rocks, aquifer, zones of tectonic disturbances, general mineralization.

Відомості про авторів

Андрушак В.С. – аспірант 3 курсу кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

Артеменко В.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Бабошко Д.Ю. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри металургії чорних металів і ливарного виробництва Криворізького національного університету

Базака Ю.А. – асистент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Базалій М.Ю. – PhD-студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Баранов І.О. – кандидат технічних наук, доцент кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Білановська Л.П. – аспірант 3-го року навчання кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

Бойков І.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України

Бугайов. М.В. – кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Житомирського військового інституту імені С.П. Корольова.

Василець Д.І. – асистент кафедри судових допоміжних установок Національного університету «Одеська морська академія»

Василишин В.Я. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Вдовичин Т.Я. – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Велит І.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології та засоби механізації аграрного виробництва Полтавської державної аграрної академії

Воденнікова Л.В. – асистент кафедри природничих дисциплін для іноземних студентів та токсикологічної хімії Запорізького національного університету

Воденнікова О.С. – асистент кафедри природничих дисциплін для іноземних студентів та токсикологічної хімії Запорізького державного медичного університету

Восвода Н.В. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерії харчового виробництва ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

В'яткін Р.С. – аспірант кафедри Земельного адміністрування і геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова

Ганжесв Д.І. – аспірант кафедри автомобільного транспорту Приазовського державного технічного університету

Герасименко О.Ю. – кандидат технічних наук, доцент кафедри мережевих та інтернет технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Гладка О.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Національного університету водного господарства та природокористування

Губинський М.В. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Енергетичних систем і енергоменеджменту Національної металургійної академії України

Гуйда О.Г. – доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Гульчак О.Д. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

Дорохін Р.В. – магістр Полтавської державної аграрної академії

Доскіч С.В. – кандидат технічних наук, асистент кафедри вищої геодезії та астрономії Національного університету «Львівська політехніка»

Думич С.С. – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

Душеба В.В. – кандидат технічних наук, доцент, в.о. зав. відділу математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України

Євсєєв В.В. – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки

Єгольников О.О. – викладач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Миколаївського коледжу транспортної інфраструктури Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Єрастова В.В. – студент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Єфіменко А.А. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та кібербезпеки Державного університету «Житомирська політехніка»

Залюбовський М.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»

Іванченко О.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України

Іродов В.Ф. – доктор технічних наук, професор кафедри теплоенергетики Дніпровського державного технічного університету

Карпович І.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних технологій та економічної кібернетики Національного університету водного господарства та природокористування

Кисельов В.Б. – доктор технічних наук, професор, заслужений працівник освіти України, директор Навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

Кірсанов В.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України

Когут У.П. – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Козій Є.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва, геотехніки та геомеханіки Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Козьмініх М.А. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри суднових допоміжних установок Національного університету «Одеська морська академія»

Колесниченко С.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету

Комлева Г.О. – кафедра системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

Корнага Я.І. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Кузьменко О.Ю. – аспірант кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії

Лисенко О.І. – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Луняк В.О. – магістр Полтавської державної аграрної академії

Любич В.В. – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського національного університету садівництва

Майзеліс А.О. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Максимова С.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки

Максимюк Т.А. – кандидат технічних наук, докторант кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

Маланчук М.С. – кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка»

Малашкевич Д.С. – кандидат технічних наук, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Малишев В.В. – доктор технічних наук, професор, директор Інженерно-технологічного інституту Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»

Марчук Г.В. – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

Мединський Д.В. – аспірант кафедри організації авіаційних перевезень Факультету транспорту, менеджменту і логістики Національного авіаційного університету

Мельник Д.С. – студент факультету агрономії Уманського національного університету садівництва

Мельник О.Г. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри управління у сфері цивільного захисту Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

Мельник Р.П. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри техніки та засобів цивільного захисту Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

Мисаковець Д.О. – студент 6 курсу, групи ТРМ-21, кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

Михайловський М.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України

Міщуків Є.О. – магістрант кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Музика Н.М. – кандидат економічних наук, доцент, Національний університет «Львівська політехніка»

Мухін О.В. – бакалавр кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Наконечна Ю.А. – студентка 4 курсу, групи ІСТ-41, спеціальності «Інформаційні системи та технології» Навчально-наукового інституту автоматики, кібернетики та обчислювальної техніки Національного університету водного господарства та природокористування

Новіков В.І. – старший викладач, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Олещенко Л.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Ольшевський С.В. – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Панасенко М.М. – здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

Панасюк І.В. – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту інженерії та інформаційних технологій Київського національного університету технологій та дизайну

Паулін О.М. – доктор технічних наук, доцент, кафедра системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

Перерва В.Я. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Енергетичних систем і енергоменеджменту Національної металургійної академії України

Петльований М.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Пилипенко А.І. – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Пилипенко С.С. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологічних машин та устаткування ФДБОУ ВО «Норільський державний індустріальний інститут»

Повхан І.Ф. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

Потапенков О.П. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологічних машин та устаткування ФДБОУ ВО «Норільський державний індустріальний інститут»

Прокудін Г.С. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Прокудін О.Г. – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету

Пшикун В.В. – магістрант кафедри логістичного управління та безпеки руху на транспорті Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

Рагулін С.В. – кандидат технічних наук, завідувач кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету

Ремех І.О. – аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Рибальченко М.О. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри Автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України

Рой М.П. – аспірант кафедри міжнародних перевезень і митного контролю Національного транспортного університету

Савчук Л.В. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри кадастру територій Національного університету «Львівська політехніка»

Сай К.С. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри гірничої інженерії та освіти Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

Сікора О.В. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

Скиба М.М. – магістр Полтавської державної аграрної академії

Смирнова О.Л. – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної електрохімії Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Сугоняк І.І. – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

Танасійчук Я.В. – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

Тарасов В.К. – кандидат технічних наук, доцент, член-кореспондент Академії технічних наук України, Запорізький національний університет

Терейковська Л.О. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури

Терейковський І.А. – доктор технічних наук, професор, професор кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Тимченко Н.М. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри економіки та морського права Херсонської державної морської академії

Третьякова С.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри рослинництва імені О. І. Зінченка Уманського національного університету садівництва

Українська Т.А. – аспірант кафедри технологій міжнародних перевезень і логістики Приазовського державного технічного університету

Український Є.О. – старший викладач кафедри автомобільного транспорту Приазовського державного технічного університету

Улізко Г.В. – інженер 1 категорії кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

Усенко А.Ю. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Енергетичних систем і енергоменеджменту Національної металургійної академії України

Федоров С.С. – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри Енергетичних систем і енергоменеджменту Національної металургійної академії України

Фещенко Д.І. – Державний університет «Житомирська політехніка»

Форись С.М. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Енергетичних систем і енергоменеджменту Національної металургійної академії України

Хаврук В.О. – асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу Національного транспортного університету

Хоботня Т.Г. – старший викладач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Хорошевська І.О. – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

Цема Є.І. – магістр 2-го року навчання, спеціальності «Видавництво та поліграфія» Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця

Чемерис О.А. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України

Чирін Д.А. – аспірант кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Чупайленко О.А. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

Шапенко Є.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

Шарабайко О.М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри військової підготовки Льотної академії Національного авіаційного університету

Шевчук Д.О. – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри організації авіаційних перевезень Факультету транспорту, менеджменту і логістики Національного авіаційного університету

Шибакінський В.І. – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України

Шинкарук М.В. – асистент кафедри інженерії харчового виробництва ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

Шілінг А.Ю. – кандидат технічних наук, асистент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»

Шкарупило В.В. – кандидат технічних наук, доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України

Шубин Б.П. – аспірант 1 курсу кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

Юрчишин В.Я. – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Явіся В.С. – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем 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 31 (70) № 5 2020

Коректура • *Н. Пирог*

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. 25,07. Ум.-друк. арк. 34,18. Зам. № 1120/313

Підписано до друку 30.10.2020. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

03150, м. Київ, вул. Велика Васильківська 74, оф. 7

Телефон +38 (048) 709 38 69,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: mailbox@helvetica.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.