

**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 32 (71) № 6 2021**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2021

## 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 технології та дизайну;

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

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

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

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 10 від 28.01.2022 року)**

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

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

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

Сторінка журналу: [www.tech.vernadskyjournals.in.ua](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua)

**ISSN 2663-5941 (Print)**

**ISSN 2663-595X (Online)**

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2021

## ЗМІСТ

### ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

Устенко І.В., Устенко А.С.

НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ АПОЛЛОНІЯ.....1

### АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

Бойко С.М., Ножнова М.О., Стущанський Ю.В., Олійник Ю.Л.,  
Хебда А.С., Голованов С.Л., Гусарова О.В.

ПРОБЛЕМАТИКА АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ БЕЗПЛОТНИХ  
ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ..... 5

### РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Кокіза С.В., Щегельська Н.М.

БЕЗПЕКА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПІЛЬНОКАНАЛЬНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ № 7 В УКРАЇНІ....9

Корнієнко В.І., Герасіна О.В., Гусєв О.Ю., Горєв В.М., Мацюк С.М.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ МОВНОГО СИГНАЛУ В СИСТЕМІ КОНФІДЕНЦІЙНОГО  
ЗВ'ЯЗКУ ПО МЕРЕЖІ З ВИДІЛЕНИМИ КАНАЛАМИ.....17

Корчак О.В., Крутінь Я.В., Резніков М.І., Фелінський Г.С.

МОДЕЛЮВАННЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ ВКР ПІДСИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ТЕРАБІТНИХ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ..... 24

Лисенко О.І., Чумаченко С.М., Новіков В.І., Гуйда О.Г., Турейчук А.М., Сушин І.О.

МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ  
ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ  
ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ТЕРИТОРІЙ РОЗПОДІЛЕНИХ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ .....33

Лихошерстов Д.О., Лебедєв Д.Ю.

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ДАКТИЛЬНОЇ-ЖЕСТОВОЇ МОВИ  
ДЛЯ СИСТЕМ СУРДОПЕРЕКЛАДУ..... 44

### ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Галаган Р.М., Момот А.С., Протасов А.Г., Петрик В.Ф., Богдан Г.А.

ТЕСТУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДУЛІВ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ДЕФЕКТОМЕТРІЇ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ..... 49

Гнедюк В.Л.

ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ І ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ЛЮДЬМИ  
З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ В СУЧАСНОМУ СОЦІУМІ..... 56

Дворецький М.Л., Дворецька М.М., Фаленкова М.В.

ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЗНАЧЕНЬ  
ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ..... 62

Жуковський В.Р.

АНАЛІЗ КОРИСНОСТІ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОСОВОГО  
УПРАВЛІННЯ БАЗОВИМИ ФУНКЦІЯМИ КОМП'ЮТЕРА ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ  
ГОЛОСОВИХ ПОМІЧНИКІВ.....71

Завгородній В.В., Завгородня Г.А., Дроботович К.С., Тенігін О.В., Шматко М.М.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У МЕТОДАХ ФОРМАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ..... 75

Зайченко В.В.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ КОЛИВАНЬ ВОЛАТИЛЬНОСТІ  
КОМПАНІЙ НІМЕЦЬКОГО РИНКУ .....80

<b>Зайченко І.В.</b> АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ДІЄВИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЛАГІАТУ НАВЧАЛЬНИХ КОДОВИХ ПРОГРАМ.....	85
<b>Zashcholkin K.V., Ivanova O.M., Kuznietsov M.O., Sulima Y.Y.</b> APPROACH TO THE AUTOMATED TEXT BORROWING ASSESSMENT BASED ON THE CLASSIFICATION OF SOURCES AND DESTINATIONS IN E-LEARNING SYSTEMS.....	91
<b>Мальцев А.Ю.</b> ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ЯК ДИНАМІЧНОЇ ТЕОРІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ..	97
<b>Мозговенко А.А., Зінов'єва О.Г., Гешева Г.В.</b> РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ КЛАСИФІКАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ТЕКСТІВ ДИСЦИПЛІН З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	103
<b>Мурасов Р.К., Чумаченко С.М., Пиріков О.В., Гуйда О.Г., Ківа І.Л.</b> ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЗАГРОЗ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ГРАФІВ .....	110
<b>Oleshchenko L.M., Movchan K.O.</b> SOFTWARE METHODS OF GENERATING DOCUMENTATION FOR NETWORK API.....	117
<b>Омецинська Н.В., Лісовець С.М., Вишемірська Я.С., Юсипів Т.В., Жовнерчук І.В.</b> СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ МЕТОДОМ ВІОЛІ-ДЖОНСА.....	123
<b>Серг І.В., Беглов К.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПАЛЮВАННЯМ НЕСЕРТИФІКОВАНОГО ПАЛИВА В ВОДОГРІЙНОМУ КОТЛІ.....	128
<b>Сенін Ю.І.</b> ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АВТОРСТВА ТЕКСТІВ.....	134
<b>Царук В.В.</b> КОЛЬОРИЗАЦІЯ ОЦИФРОВАНОГО ЧОРНО-БІЛОГО ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ МЕРЕЖ.....	139
<b>ЕНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Семичаєвський С.В., Свірський В.В., Алімов Б.О., Стилик І.Г.</b> ЩОДО ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ МАШИННИХ ЗАЛІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	145
<b>РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН</b>	
<b>Коновал В.М., Іщенко К.С.</b> НОВІ ПІДХОДИ ДО ВІДДІЛЕННЯ МОНОЛІТНИХ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ВІД СКЕЛЬНОГО МАСИВУ.....	151
<b>ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
<b>Загородня Д.С., Гуцько К.І., Петріна Р.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА РІСТ КАЛУСНОЇ БІОМАСИ <i>CARLINA ACAULIS</i> ....	161
<b>Іванченко А.В., Сорока О.В., Єлатонцев Д.О., Ткаченко Е.Е., Чупринов Є.В., Яцен Т.Г., Ревак О.А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ ЦИНКУ ТА ФЕРУМУ З ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНОЇ СИРОВИНИ.....	167
<b>Кіндзера Д.П., Сомар Г.В.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВНОГО ПИЛУ ТА ЗОЛОШЛАКУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЛЕГКИХ НАПОВНЮВАЧІВ.....	172
<b>ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	
<b>Одарченко Д.М., Пенкіна Н.М., Татар Л.В., Соколова Є.Б., Скирда О.Є.</b> МАРКЕТИНГОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПИВА ТА СЛАБОАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ.....	178

<b>Петраченко Д.О., Сова Н.А., Шилко С.О., Худайбердієва К.А.</b> ВПЛИВ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ НА КИСЛОТНЕ ЧИСЛО ОДЕРЖАНОЇ ОЛІЇ.....	186
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## **ТРАНСПОРТ**

<b>Берневек Т.І., Павлова Н.Л., Тихоніна І.І.</b> ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ПОРТИ УКРАЇНИ: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ.....	191
<b>Білий В.А., Голіков В.А.</b> БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МІКРОКЛІМАТУ СУДНОВИХ ПРИМІЩЕНЬ.....	197
<b>Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Колесник В.В., Тришин В.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА СУДНІ НА ОСНОВІ ДЕРЕВА ВІДМОВ.....	203
<b>Ivannikova V.Yu., Ayrapetyan A.G.</b> UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) OPERATION IN UKRAINE: A REGULATIONS REVIEW.....	209
<b>Лужанська Н.О., Сауляк Л.В., Лебідь І.Г., Мазуренко О.О., Піцик М.Г.</b> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОПИТУ НА МИТНО-ЛОГІСТИЧНІ ПОСЛУГИ В УКРАЇНІ.....	216
<b>Мельник О.М., Корякін К.С.</b> СУЧАСНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТАНДАРТІВ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	225
<b>Решетков Д.М., Павлова Н.Л.</b> ВПЛИВ ПАНДЕМІЇ COVID-19 НА РОБОТУ МОРСЬКИХ ПОРТІВ.....	231
<b>Сільванська Г.Н., Карп Г.В.</b> КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ СЕГМЕНТАЦІЇ КРУЇЗНИХ ЛІНІЙ.....	239
<b>Трофименко І.В., Урум Н.С., Рященко О.І., Іваненко В.В.</b> ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ДЛЯ УСУНЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕКОЛОГІЮ.....	247
<b>Урум Н.С., Ліганенко В.В., Ткаченко В.В., Рященко О.І.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗПИЛЮВАННЯ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНИМИ ФОРСУНКАМИ.....	253
<b>Урум Н.С., Трофименко І.В., Рященко О.І., Іваненко В.В.</b> КЛАСИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ПРИЧИН НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕКОЛОГІЮ І СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	257
<b>Якусевич Ю.Г., Колесник В.В., Тришин В.В., Дорофєєва З.Я.</b> МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА СУДНІ.....	262

## **БУДІВНИЦТВО**

<b>Volodko O.V., Rogova N.V.</b> METHOD OF THERMAL CALCULATION OF HEATING ROAD COVERING.....	269
-------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## **ЕЛЕКТРОНІКА**

<b>Олішевський Ю.С., Яма О.С., Колесник О.Ю., Хохлов І.В., Хохлов Ю.В., Ямненко Ю.С., Мороз А.В., Леон Резник</b> ЗАХИСТ МІКРОКОНТРОЛЕРА ВІД ЗЧИТУВАННЯ.....	274
<b>Хижняк І.А.</b> ПРИСТРІЙ ЗБОРУ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОЇ ЦИФРОВОЇ ЛАБОРАТОРІЇ.....	280

<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	285
-----------------------------------	-----

# CONTENTS

## APPLIED GEOMETRY, ENGINEERING GRAPHICS AND ERGONOMICS

**Ustenko I.V., Ustenko A.S. A**

NEW APPROACH TO SOLVING THE APOLLONIAN PROBLEM.....1

## AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

**Boiko S.M., Nozhnova M.O., Stushchansky Yu.V., Oliinyk Yu.L.,  
Hebda A.S., Golovanov S.L., Gusarova O.V.**

PROBLEMS OF AVIATION SAFETY IN THE OPERATION OF UNMANNED AIRCRAFT..... 5

## RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

**Kokiza S.V., Shchehelska N.M.**

SIGNALLING SYSTEM № 7 NETWORKS SECURITY IN UKRAINE..... 9

**Korniienko V.I., Gerasina O.V., Gusev O.Yu., Gorev V.M., Matsiuk S.M.**

INTELLECTUAL FORECASTING OF SPEECH SIGNAL IN THE SYSTEM OF CONFIDENTIAL  
COMMUNICATION ON THE NETWORK WITH DEDICATED CHANNELS.....17

**Korchak O.V., Krutin Ya.V., Rieznikov M.I., Felinskyi H.S.**

MODELING OF ULTRA WIDEBAND FIBER RAMAN AMPLIFIERS FOR TERABIT  
TELECOMMUNICATION SYSTEMS.....24

**Lysenko O.I., Chumachenko S.M., Novikov V.I., Guida O.G., Tureychuk A.M., Sushyn I.O.**

METHODS OF SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS TO WIRELESS SENSOR NETWORKS  
OF INFORMATION SUPPORT OF SYSTEMS OF ASSESSMENT AND FORECASTING  
OF THE STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE TERRITORIES  
OF DISTRIBUTED TECHNOGENIC OBJECTS..... 33

**Lykhosherstov D.O., Lebedev D.Yu.**

ANALYSIS OF MODERN DACTYL-GESTURE SPEECH RECOGNITION SYSTEMS  
FOR SURDOTRANSLATION WITH ELEMENTS OF SOUND CONTROL.....44

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Galagan R.M., Momot A.S., Protasov A.G., Petryk V.F., Bohdan H.A.**

TESTING OF NEURAL NETWORK MODULES OF THERMAL DEFECTOMETRY SYSTEM  
USING SIMULATION MODELING.....49

**Gnediyuk V.L.**

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SMART HOME TECHNOLOGIES  
AND THEIR USE BY PEOPLE WITH DISABILITIES IN MODERN SOCIETY.....56

**Dvoretzkyi M.L., Dvoretzka M.M., Falenkova M.V.**

GENETIC ALGORITHM USE FOR CALCULATION OF WEIGHT COEFFICIENTS VALUES.....62

**Zhukovskiy V.R.**

ANALYSIS OF THE USEFULNESS OF DEVELOPING A COMPUTER-INTEGRATED VOICE CONTROL  
SYSTEM FOR BASIC COMPUTER FUNCTIONS AND THE PROBLEM OF USING VOICE ASSISTANTS...71

**Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Drobotovich K.E., Tenigin O.V., Shmatko M.M.**

MATHEMATICAL MODELING IN FORMAL RESEARCH METHODS..... 75

**Zaichenko V.V.**

ANALYSIS OF TIME SERIES METHODS BASED ON FLUCTUATION VOLATILITY  
OF GERMAN MARKET COMPANIES.....80

**Zaichenko I.V.**

ANALYSIS OF METHODS FOR DETECTING PLAGIARISM OF EDUCATIONAL CODE PROGRAMS..85

**Zashcholkin K.V., Ivanova O.M., Kuznietsov M.O., Sulima Y.Y.**

APPROACH TO THE AUTOMATED TEXT BORROWING ASSESSMENT BASED  
ON THE CLASSIFICATION OF SOURCES AND DESTINATIONS IN E-LEARNING SYSTEMS.....91

<b>Maltsev A.Yu.</b> REVIEW OF THE PRINCIPLES OF DEEP LEARNING AS A DYNAMIC THEORY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	97
<b>Mozgovenko A.A., Zinovieva O.G., Hesheva H.V.</b> DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CLASSIFICATION OF EDUCATIONAL TEXTS OF DISCIPLINES USING NEURAL NETWORKS.....	103
<b>Murasov R.K., Chumachenko S.M., Pirikov O.V., Guida O.G., Kiva I.L.</b> PECULIARITIES OF CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF THREAT ASSESSMENT FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS USING GRAPH THEORY.....	110
<b>Oleshchenko L.M., Movchan K.O.</b> SOFTWARE METHODS OF GENERATING DOCUMENTATION FOR NETWORK API.....	117
<b>Ometsinskaya N.V., Lisovets S.M., Vyshemirskaya Ya.S., Yusypiv T.V., Zhovnerchuk I.V.</b> ACCESS CONTROL SYSTEM BASED ON FACE RECOGNITION BY THE METHOD OF VIOLA-JONES.....	123
<b>Sert I.V., Beglov K.V.</b> RESEARCH OF COMPUTER-INTEGRATED CONTROL SYSTEM OF NON-CERTIFIED FUEL COMBUSTION IN A HEATING BOILER.....	128
<b>Sienin Yu.I.</b> CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO DETERMINE THE AUTHORSHIP OF TEXTS.....	134
<b>Tsaruk V.V.</b> COLORIZATION OF DIGITAL BLACK AND WHITE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK.....	139
<b>POWER ENGINEERING</b>	
<b>Semichaevsky S.V., Svirsky V.V., Alimov B.O., Stylyk I.G.</b> ON FIRE DANGER OF TURBINE ROOMS OF ENERGY ENTERPRISES.....	145
<b>RESOURCE DEVELOPMENT</b>	
<b>Konoval V.M., Ishchenko K. S.</b> NEW APPROACHES TO REJECT MONOLITHIC BLOCKS OF NATURAL STONE FROM ROCK MASS.....	151
<b>CHEMICAL TECHNOLOGY</b>	
<b>Zahorodnia D.S., Huzko K.I., Petrina R.O.</b> INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GROWTH REGULATORS ON THE GROWTH OF CALLULA BIOMASS <i>CARLINA ACAULIS</i> .....	161
<b>Ivanchenko A.V., Soroka O.V., Yelatontsev D.O., Tkachenko E.E., Chuprinov E.V., Yatsen T.G., Revak O.A.</b> RESEARCH INTO TECHNOLOGY OF ZINC AND FERUM EXTRACTION FROM AQUATIC ENVIRONMENTS BY SORBENTS BASED ON NATURAL RAW MATERIALS.....	167
<b>Kindzera D.P., Somar H.V.</b> APPLICATION OF WOOD DUST AND ASH-SLAG OF THERMAL POWER PLANTS FOR PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT AGGREGATES.....	172
<b>TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY</b>	
<b>Odarhenko D.M., Penkina N.M., Tatar L.V., Sokolova Ye.B., Skyryda O.E.</b> MARKETING SOFTWARE TECHNOLOGIES IMPROVING THE PRODUCTION OF BEER AND SOFT DRINKS.....	178
<b>Petrachenko D.O., Sova N.A., Shylko S.O., Khudaiberdiieva K.A.</b> THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL HEMPSTORAGE TERMS ON ACID NUMBER OF OIL OBTAINED.....	186

## TRANSPORT

**Bernevek T.I., Pavlova N.L., Tykhonina I.I.**

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TRANSPORTATION OF LIQUEFIED NATURAL GAS TO THE PORTS OF UKRAINE: TECHNOLOGICAL ASPECT.....191

**Bily V.A., Golikov V.A.**

A MULTIPARAMETRIC APPROACH TO ENSURING OF ONBOARD MICROCLIMATE QUALITY.....197

**Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V.**

RESEARCH OF FEATURES OF FAULTS DETECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT ON SHIPS BASED ON A FAULT TREE.....203

**Ivannikova V.Yu., Ayrapetyan A.G.**

UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) OPERATION IN UKRAINE: A REGULATIONS REVIEW.....209

**Luzhanska N.O., Sauliak L.V., Lebid I.G., Mazurenko O.O., Pitsyk M.G.**

ANALYSIS OF THE CURRENT CONDITIONS OF DEMAND FOR CUSTOMS AND LOGISTICS SERVICES IN UKRAINE.....216

**Melnyk O.M., Koryakin K.S.**

MODERN WAYS TO IMPROVE THE STANDARDS OF ACCURACY AND RELIABILITY OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS.....225

**Reshetkov D.M., Pavlova N.L.**

THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE OPERATION OF SEAPORTS.....231

**Silvanskaya H.N., Karp G.V.**

CLUSTER ANALYSIS AS A TOOL TO SEGMENTATION CRUISE LINES.....239

**Trofymenko I.V., Urum N.S., Riashchenko O.I., Ivanenko V.V.**

PROPOSALS FOR FORMING EFFECTIVE MANAGEMENT DECISIONS TO REMOVE THE NEGATIVE IMPACT OF MARITIME TRANSPORT ON THE ECOLOGY.....247

**Urum N.S., Lihanenko V.V., Tkachenko V.V., Riashchenko O.I.**

STUDY OF DIESEL FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS.....253

**Urum N.S., Trofymenko I.V., Riashchenko O.I., Ivanenko V.V.**

CLASSIFICATION OF THE MAIN CAUSES OF NEGATIVE IMPACT OF WATER TRANSPORT ON ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL STATE.....257

**Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia.**

MODEL OF AUTOMATION OF THE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM ON THE SHIP.....262

## CONSTRUCTION

**Volodko O.V., Rogova N.V.**

METHOD OF THERMAL CALCULATION OF HEATING ROAD COVERING.....269

## ELECTRONICS

**Olishevsky Y.S., Yama O.S., Kolesnik O.Y., Khokhlov I.V., Khokhlov Y.V., Yamnenko Y.S., Moroz A.V., Leon Reznik**

PROTECTION OF THE MICROCONTROLLER FROM READING.....274

**Khyzhniak I.A.**

MEASUREMENT DATA COLLECTION DEVICE FOR DIGITAL LABORATORY.....280

**INFORMATION ABOUT AUTHORS.....285**



# ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

УДК 514.18

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/01>**Устенко І.В.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Устенко А.С.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## НОВИЙ ПІДХІД ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ АПОЛЛОНІЯ

Стаття присвячена розробці методу розв'язання задачі Аполлонія Пергського, пов'язаної з побудовою кола, дотичного до трьох довільно заданих кіл. Аполлоній показав, що можливими є вісім варіантів розв'язку задачі, які обумовлені внутрішніми, зовнішніми та змішаними спряженнями трьох вихідних кіл. Ці задачі розв'язані Аполлонієм із застосуванням лінійки та циркуля, але, на жаль, ці розв'язки до нашого часу не дійшли. У статті задача Аполлонія розв'язується на базі сучасних знань з інженерної графіки, аналітичної та обчислювальної геометрії, чисельних методів із застосуванням комп'ютерної техніки. Задача розв'язується так. Будується коло довільного радіуса навколо двох заданих кіл. Визначаються координати двох точок, які є центрами кіл спряження. Складається рівняння прямої, яка з'єднує два отримані центри. Далі аналогічні дії виконуються з іншою парою заданих кіл, які спрягаються колом того ж радіуса, що й у попередній парі кіл. Сумісним розв'язанням рівнянь двох прямих знаходяться координати точки їх перетину. Для визначення радіуса допоміжного кола, що забезпечує торкання трьох кіл, складається нелінійне рівняння, яке враховує тип спряження. Методом дихотомії уточнюється величина радіуса кола, яке торкається трьох заданих кіл. Запропонований метод розв'язання задачі Аполлонія реалізовано у вигляді комп'ютерного коду, який дає змогу, окрім числових результатів, отримувати графічні зображення розв'язків задачі на екрані монітора комп'ютера. Наведені приклади розв'язання трьох задач Аполлонія відповідають трьом варіантам спряження: внутрішньому, зовнішньому та змішаному. Решта варіантів задачі Аполлонія розв'язується аналогічним чином.

**Ключові слова:** задача Аполлонія, коло, торкання кіл, спряження, чисельний метод, комп'ютерна реалізація.

**Постановка проблеми.** Аполлоній Пергський (бл. 262–170 до н. е.) є одним із найвидатніших древньогрецьких математиків, який запропонував і розв'язав за допомогою циркуля та лінійки багато цікавих геометричних задач, пов'язаних із точкою, прямою і колом. Узагалі коло було його найулюбленишим геометричним образом. Однією із задач, пов'язаних із цим геометричним образом, є побудова кола, яке торкається трьох заданих, довільно розташованих кіл. На жаль, рішення цієї задачі самим Аполлонієм не збереглося. Але ця задача приваблювала багатьох геометрів різних років життя. Це зробило її дуже популярною. Розв'яжемо цю задачу з позицій сучасних знань математики, зокрема чисельних методів, обчислювальної геометрії та, зрозуміло, наявності комп'ютерної техніки, яка не тільки суттєво прискорює виконання розрахунків з високою точ-

ністю, а й дає змогу візуалізувати результати розв'язків на дисплеї.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачі, запропоновані Аполлоном Пергським, і до сих пір цікавлять сучасних дослідників. Особлива увага приділяється розв'язанню задачі, пов'язаної з побудовою кола, дотичного до трьох заданих кіл. У всесвітній мережі Інтернет можна знайти різноманітні розв'язки цієї задачі, які в більшості випадків виконувалися графічним способом. Так, у роботі [1] задачу Аполлонія пропонується розв'язувати методом інверсії. Співзвучною із цією роботою є праця [3], у якій також пропонується розв'язувати задачу Аполлонія методом інверсії.

Цікавою є робота [2], у якій кола Аполлонія розглядаються в дещо іншій постановці, а саме вписування кіл у проміжки між іншими, раніше побудованими колами. Графічне розв'язання

задачі Аполлонія пропонується в праці [5]. Історичні й обчислювальні аспекти, пов'язані із задачами Аполлонія, викладені в роботі [5].

**Постановка завдання.** Метою роботи є розв'язання відомої старовинної геометричної задачі, запропонованої Аполлонієм і пов'язаної з побудовою кола, дотичного до трьох довільно розташованих кіл, із застосуванням методів інженерної графіки, аналітичної геометрії та чисельних методів і комп'ютерної графіки без проведення побудов, які використовуються при графічному розв'язанні розглянутої задачі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аполлоній показав, що поставлена ним задача побудови кола, яке торкається трьох заданих кіл, має вісім варіантів розв'язків. Схематично ці розв'язки показані на рис. 1.

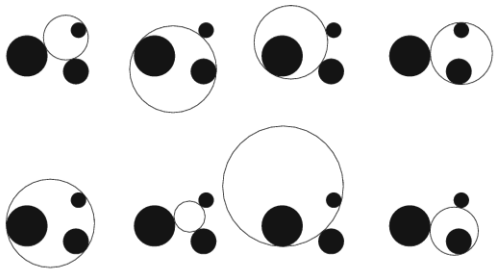


Рис. 1. Прикладі розв'язків задачі Аполлонія

Розглянемо розв'язання однієї із задач Аполлонія, оскільки підхід до їх розв'язку однаковий.

Нехай задані три різного радіуса довільно розташовані кола (рис. 2).

Необхідно побудувати коло за умови, що воно буде дотичним до цих трьох кіл, а самі кола мають знаходитися всередині шуканого кола.

Розглянемо дві пари кіл  $O_1$  і  $O_2$  та  $O_1$  і  $O_3$ . Розв'яжемо для цих двох пар кіл задачу внутрішнього спряження. Для цього побудуємо допоміжні кола радіусом, який дорівнює різниці радіуса  $R$  дуги спряження та радіусів заданих вихідних кіл. Координати центра дуги спряження можна знайти розв'язанням двох рівнянь другого степеня, якими описуються два допоміжних кола. Але цю задачу краще розв'язувати іншим способом, який не передбачає застосування двох квадратичних рівнянь.

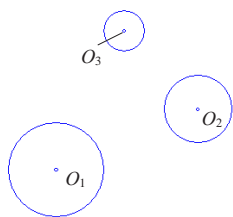


Рис. 2. Вихідні кола

На рис. 3 показані два перетинних, довільно розташованих кола. Треба знайти координати точок  $O_3$  і  $O_4$  їх перетину.

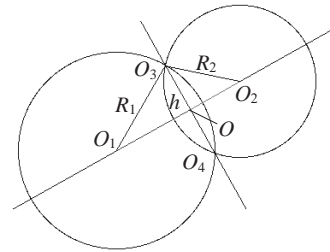


Рис. 3. Визначення точок перетину двох кіл

Позначимо відрізок  $O_1O$  літерою  $a$ , відрізок  $OO_2$  літерою  $b$ . Літерою  $h$  позначимо відстань від точки  $O_3$  перетину розглядуваних кіл до прямої  $O_1O_2$ . Розглядаючи два прямокутні трикутники  $O_1OO_3$  і  $O_2OO_3$ , можемо записати два таких рівняння:

$$a^2 + h^2 = R_1^2 \text{ і } b^2 + h^2 = R_2^2.$$

Приймаючи  $d = a + b$ , після перетворень отримуємо вираз для розрахунку  $a$ :

$$a = \frac{R_1^2 - R_2^2 + d^2}{2d}.$$

Маючи  $a$ , визначаємо  $h$ :

$$h^2 = R_1^2 - a^2.$$

Розраховуємо координати точки  $O$  за такими виразами:

$$x_o = x_{o_1} + a(x_{o_2} - x_{o_1})/d;$$

$$y_o = y_{o_1} + a(y_{o_2} - y_{o_1})/d.$$

І, нарешті, визначаємо координати точок  $O_3$  і  $O_4$  перетину двох кіл:

$$x_{o_3} = x_o - h(y_{o_2} - y_{o_1})/d;$$

$$y_{o_3} = y_o + h(x_{o_2} - x_{o_1})/d; \quad (1)$$

$$x_{o_4} = x_o + h(y_{o_2} - y_{o_1})/d;$$

$$y_{o_4} = y_o - h(x_{o_2} - x_{o_1})/d. \quad (2)$$

Таким чином, знайдено вирази для розрахунку координат точок перетину двох довільно розташованих кіл без сумісного розв'язання рівнянь другого степеня. Надалі для зовнішнього спряження під  $R_1$  і  $R_2$  будуть розумітися суми радіусів кіл, що спрягаються, дугою радіуса  $R$ . Для внутрішнього спряження радіус  $R$  віднімається.

На рис. 4 показані два допоміжні кола для спряження кіл із центрами в точках  $O_1$  і  $O_2$  колом довільного радіуса  $R$ . За допомогою виразів (1) і (2) знаходимо координати двох точок  $A_1$  і  $A_2$  перетину допоміжних кіл, які з'єднані відрізком прямої лінії.

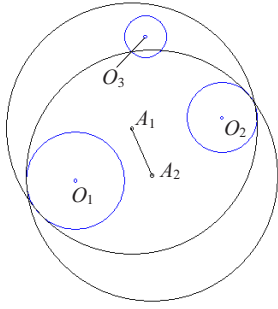


Рис. 4. Внутрішнє спряження кіл з центрами  $O_1$  і  $O_2$  дугою довільного радіуса  $R$

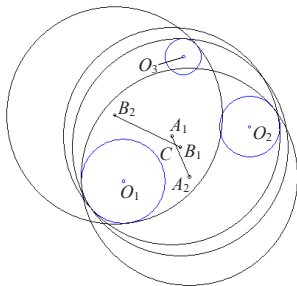


Рис. 5. Внутрішнє спряження кіл із центрами  $O_1$  і  $O_3$  дугою довільного радіуса  $R$

Аналогічні дії виконуємо для пари кіл із центрами в точках  $O_1$  і  $O_3$ . На рис. 5, який можна вважати продовженням рис. 4, побудовано відрізок  $B_1$  і  $B_2$ , подібний відрізок  $A_1A_2$ .

Відрізки  $A_1A_2$  і  $B_1B_2$  перетинаються в точці  $C$ . Особливістю точки  $C$  є те, що вона дає змогу здійснити внутрішнє спряження кіл із центрами в точках  $O_1$  і  $O_2$  та в точках  $O_1$  і  $O_3$  колом радіуса  $R$ . Але цей радіус узято довільно.

Отже, необхідно організувати обчислювальний процес для визначення такої величини радіуса  $R$ , щоб коло, побудоване цим радіусом, було дотичним до трьох вихідних кіл. Зазначимо, що з геометричних міркувань величина радіуса кола спряження для першого кола має дорівнювати сумі радіуса кола  $R_1$  і відрізьку  $O_1C$ , а для другого кола – сумі радіуса кола  $R_2$  і відрізьку  $O_2C$ . Базуючись на цьому, можна скласти таке нелінійне рівняння:

$$f = R - R_1 - \sqrt{(x_{O_1} - x_C)^2 + (y_{O_1} - y_C)^2}$$

Координати точки  $C$  визначаються шляхом сумісного розв'язання рівнянь двох прямих, які проходять через точки  $A_1, A_2$  і  $B_1, B_2$ .

На розв'язання задачі витрачено п'ять ітерацій. Похибка розрахунків становила 8,958006E-06.

Остаточний розв'язок поставленої задачі спряження трьох вихідних кіл колом, яке є дотичним до них, наведено на рис. 6. На рисунку також показано центр кола  $C$ , яке охоплює три вихідні кола.

Аполлонієм також розглядався випадок, коли результуюче коло «вписано» в область, обмежену трьома вихідними колами. Цей випадок розв'язується аналогічно попередньому. Різниця в тому, що тепер коло, яке вписується, для двох пар вихідних кіл розглядається як коло зовнішнього спряження. У зв'язку з цим у розробленому програмному коді у відповідних місцях треба відповідний арифметичний знак замінити на протилежний.

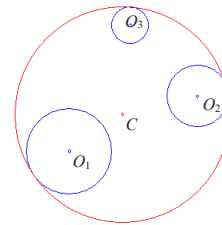


Рис. 6. Коло, яке охоплює три вихідних кола

Остаточний розв'язок другої задачі Аполлонія показано на рис. 7. З розгляду цього рисунку чітко видно, що результуюче коло торкається трьох вихідних кіл. Це візуально підтверджує розв'язання поставленої задачі. Нагадаємо, що Аполлоній розв'язував їх за допомогою циркуля та лінійки.

На рис. 8 показано зведений результат розв'язання поставленої задачі Аполлонія. Це є підтвердженням того факту, що вихідні кола свого положення не змінювали, тобто не підправлялися для розв'язання першої, а потім другої задачі Аполлонія. До речі, чітко закріпленої нумерації задач Аполлонія не існує. У різних джерелах вони мають різну нумерацію.

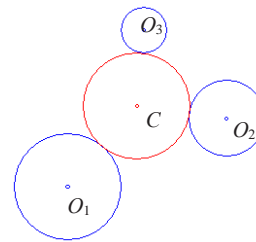


Рис. 7. Коло, розташоване між трьома вихідними колами

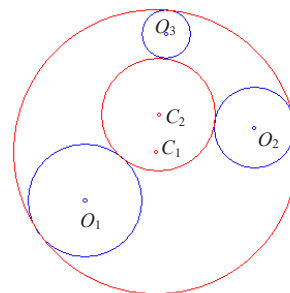


Рис. 8. Зображення розв'язків двох задач Аполлонія

Вище вказувалося, що всього існує вісім подібних задач. У зв'язку з обмеженим об'ємом роботи не має можливості показувати розв'язки всіх задач Аполлонія, тим паче що вони розв'язуються аналогічно. Але все ж таки покажемо результат розв'язку ще однієї задачі, оскільки в ній з точки зору геометричного креслення застосовується змішане спряження (рис. 9). У попередніх двох задачах застосовувався підхід, який базувався на внутрішньому та зовнішньому спряженнях.

З розгляду рис. 9 випливає, що варіант змішаного спряження вихідних кіл також реалізовано.

**Висновки.** Запропонований метод розв'язання задачі Аполлонія, пов'язаної з побудовою кіл дотичних до трьох довільно розташованих кіл, із застосуванням методів інженерної графіки, аналітичної геометрії та чисельних методів і

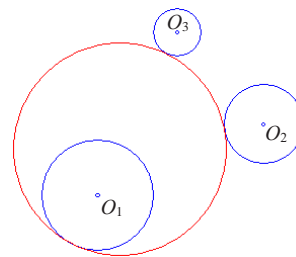


Рис. 9. Змішане спряження трьох вихідних кіл

комп'ютерної графіки є працездатним. Він дає змогу будувати та візуалізувати на дисплеї комп'ютера будь-який із восьми можливих варіантів розв'язків, передбачених Аполлонієм, за умови, що центри трьох вихідних кіл не знаходяться на одній прямій лінії.

#### Список літератури:

1. Аргунов Б.И., Балк М.Б. Геометрические построения на плоскости. Москва : Учпедгиз, 1957. 268 с.
2. Apollonian circle packings: number theory / R.L. Graham, J.C. Lagarias, C.L. Mallows, A.R. Wilks, C.H. Yan. *Journal of Number Theory*. 2003. № 100. P. 1–45.
3. Bruen A., Fisher J.C., Wilker J.B. Apollonius by Inversion. *Mathematics Magazine*. 1983. № 56 (2). P. 97–103.
4. Coxeter H.S.M. The problem of Apollonius. *Amer. Math. Monthly* 75 (1968) 5–15. Reprinted in the *Canad. Math. Bull.* 11 (1968) 1–17.
5. Gisch D., Ribando J.M. Apollonius' Problem: A Study of Solutions and Their Connections (англ.). *American Journal of Undergraduate Research: journal*. 2004. Vol. 3. P. 15–25.
6. Santos S.A., Trivisan A.L. O problema de Apolônio: aspectos históricos e computacionais. URL: [http://www.ime.unicamp.br/rel\\_pesq/2004/ps/rp32-04.pdf](http://www.ime.unicamp.br/rel_pesq/2004/ps/rp32-04.pdf).

#### Ustenko I.V., Ustenko A.S. A NEW APPROACH TO SOLVING THE APOLLONIAN PROBLEM

*The article is devoted to the development of a method for solving the problem of Apollonius of Perga, related to the construction of a circle tangent to three arbitrarily given circles. Apollonius showed that there are eight possible solutions to the problem, which are due to internal, external and mixed conjugations of three given circles. These problems were solved by Apollonius using a ruler and a compass, but, unfortunately, these solutions have not survived. In the proposed article, the Apollonian problem is solved on the basis of modern knowledge of engineering graphics, analytical and computational geometry, numerical methods and the use of computer technology. The problem is solved as follows. A circle of arbitrary radius is constructed around two given circles. The coordinates of two points, which are the centers of the circles of conjugation, are determined. The equation of the line connecting the two resulting centers is formed. Then similar actions are performed with another pair of given circles, which are conjugated by a circle of the same radius as in the previous pair of circles. The coordinates of the point of their intersection are the joint solution of the equations of the two lines. To determine the radius of the auxiliary circle, which ensures the contact of three circles, a nonlinear equation is formed, which takes into account the type of conjugation. The dichotomy method specifies the magnitude of the radius of a circle that touches three given circles. The proposed method of solving the Apollonian problem is implemented in the form of computer code, which allows, in addition to numerical results, to obtain graphical images of solutions of the problem on the computer monitor screen. The following are examples of solving three Apollonius' problems, which correspond to three conjugation options: internal, external, and mixed. The rest of the Apollonian problem is solved in a similar way.*

**Key words:** Apollonian problem, circle, touching circles, conjugation, numerical method, computer implementation.

## АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 629.7.01

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/02>**Бойко С.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Ножнова М.О.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Стуцанський Ю.В.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Олійник Ю.Л.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Хебда А.С.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Голованов С.Л.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

**Гусарова О.В.**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

### ПРОБЛЕМАТИКА АВІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У контексті світової економіки авіаційному транспорту нині з-поміж інших характеристик притаманна висока технологічна складність транспортних засобів, підвищення рівня безпеки авіаційного транспорту, посилення заходів захисту авіації від актів незаконного втручання та розвиток сучасних мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів під різні види транспорту. Між тим неконтрольоване поширення використання БПЛА у світі разом із відповідними ризиками, пов'язаними з літаками, іншою власністю, життям людей, приватністю, порушенням кордонів закритих територій та безпекою, вимагають нового регулювання з боку законодавства. У низці публікацій приділено чимало уваги питанням безпеки застосування та експлуатації безпілотних літальних апаратів, що є серйозною науково-технічною проблемою в контексті забезпечення безаварійного застосування БПЛА, що виключає неконтрольоване падіння БПЛА на землю і пов'язане із цим ненавмисне завдання шкоди життю, здоров'ю людей та їхньому майну на землі. Але статистичні дані свідчать, що, незважаючи на ряд заходів, що вже застосовуються у світі для регулювання питань застосування та експлуатації БПЛА, дрони залишаються загрозою повітряному руху, і з кожним роком це питання стає більш актуальним. У зв'язку з тим, що дрони стають невід'ємною частиною сьогодення, важливо розвивати технології, які дають можливість не лише ідентифікувати дрон, а й примусово керувати ним, якщо він порушує правила використання повітряного простору. Важливо, щоб такі системи моніторингу мали змогу вдосконалюватися і в майбутньому інтегруватися в систему управління повітряним рухом. Це підвищить рівень безпеки льотної експлуатації повітряних суден, що є найвищим пріоритетом для всіх користувачів повітряного простору та учасників авіаційного ринку. Таким чином, у статті обґрунтовано необхідність подальшого вивчення та вдосконалення питання авіаційної безпеки в контексті льотної експлуатації безпілотних літальних апаратів та запропоновано надалі у формуванні підходів до проектування та льотної експлуатації безпілотних літальних апаратів урахувувати можливість примусового коригування траєкторії їхнього руху з метою попередження авіаційних інцидентів.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, льотна експлуатація, авіаційна безпека, безпека польотів, людський фактор.

**Постановка проблеми.** У контексті світової економіки авіаційному транспорту нині з-поміж інших характеристик притаманна висока технологічна складність транспортних засобів, підвищення рівня безпеки авіаційного транспорту, посилення заходів захисту авіації від актів незаконного втручання та розвиток сучасних мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів під різні види транспорту [1].

У зв'язку зі світовою тенденцією безпілотні літальні апарати (БПЛА) набули широкого поширення в різних сферах і галузях світової економіки. Між тим залишається невирішеним питання авіаційної безпеки під час їх експлуатації.

Неконтрольоване поширення використання БПЛА у світі разом із відповідними ризиками, пов'язаними з літаками, іншою власністю, життям людей, приватністю, порушенням кордонів закритих територій та безпекою, вимагають нового регулювання зі боку законодавства. Хоча Україна наразі ще й не стикнулася з більшістю із цих проблем, поточна ситуація (сильна зацікавленість із боку підприємців та військових) привернула увагу законодавців. Зобов'язання, взяті Україною за міжнародними договорами, включаючи Договір про асоціацію між Україною та ЄС, вимагають від України прийняття законів, що відповідають вимогам спільного повітряного простору [2].

У рамках Авіаційної стратегії з-поміж інших мають бути вирішені завдання за такими напрямками підвищення рівня безпеки авіаційного транспорту, як розвиток авіаційних перевезень та підвищення рівня їх доступності для населення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У низці публікацій приділено чимало уваги питанням безпеки застосування та експлуатації безпілотних літальних апаратів, що є серйозною науково-технічною проблемою в контексті забезпечення безаварійного застосування БПЛА, яке виключає неконтрольоване падіння БПЛА на землю і пов'язане з цим ненавмисне завдання шкоди життю, здоров'ю людей та їхньому майну на землі [1–10].

**Постановка завдання.** Мета статті – обґрунтування необхідності врахування особливостей льотної експлуатації безпілотних літальних апаратів у контексті авіаційної безпеки.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Найважливішими особливостями льотної експлуатації БПЛА є [1; 2]:

– повна автономність польоту БПЛА від моменту старту до посадки. Ця обставина визначає неможливість будь-якого втручання в тра-

екторне управління безпілотним літальним апаратом у процесі польоту, тобто неможливість корекції введеної землі в навігаційно-пілотажний комплекс БПЛА заданої програми польоту;

– переважання невстановлених режимів польоту;

– значне розширення діапазону експлуатаційних кутів атаки та знакозмінних перевантажень;

– виконання польотів на максимальну практичну дальність польоту на гранично малій можливій висоті.

Для визначення можливих шляхів вирішення проблеми забезпечення безаварійного застосування БПЛА необхідно насамперед провести системний аналіз факторів, що впливають на безпеку польоту БПЛА, сформувавши перелік аварійно-небезпечних режимів польоту БПЛА.

Основними причинами авіаційної пригоди БПЛА є [11]:

1) Відмова силової установки або його систем, унаслідок чого стається неконтрольоване падіння БПЛА на землю;

2) Відмова (збій) бортової системи управління (обчислювач, доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу, радіовисотомір малих висот) БПЛА, наслідком чого буде невиконання польотного завдання (відхилення від заданого колійного кута, порушення просторово-часового проходження проміжних пунктів маршруту, відхилення від заданої програми польоту тощо) та посадка БПЛА в нерозрахунковому районі, що може призвести до часткового (або повного) руйнування БПЛА;

3) Перевищення основних обмежень для БПЛА, пов'язаних в основному з льотною експлуатацією БПЛА в умовах сильної турбулентності атмосфери, а також у режимі польоту з огинанням гірського складно-пересіченого рельєфу місцевості, недотримання яких неприпустимо за умов безпеки польоту за справної роботи систем та обладнання.

4) Некоректний облік комплексу випадкових факторів, що впливають на практичну дальність польоту [3], під час проведення інженерно-штурманського розрахунку дальності та тривалості польоту);

5) Некоректний облік факторів, що впливають на безпеку маневрів у вертикальній площині під час огинання рельєфу БПЛА місцевості або штучних споруд.

Європейське агентство авіаційної безпеки (EASA) опублікувало правила користування безпілотниками, що одночасно забезпечують вільний обіг безпілотників та рівні умови їх використання, з метою врегулювання захисту громадян ЄС, як

значають у відомстві [12]. Ці правила експлуатації БПЛА покликані врегулювати технічні та експлуатаційні вимоги до дронів. Відповідно до них, починаючи з 2020 року, оператори-експлуатанти БПЛА повинні зареєструватися в країні ЄС, де вони проживають, або за місцем працевлаштування. Кожен БПЛА підлягає обов'язковій реєстрації. Такий підхід дозволяє відстежити за необхідності БПЛА та його власника, а також ідентифікувати оператора, що у свою чергу підвищує рівень відповідальності під час експлуатації БПЛА.

Крім того, як пілотний проект агентство безпеки польотів Німеччини розробило спеціальний додаток для дронів. Він показує де, в якому радіусі та на якій висоті їх можна запускати. Також на інтерактивній карті позначені зони, заборонені для польотів [13].

Але статистичні дані свідчать, що, незважаючи на ряд заходів, що вже застосовуються у світі для регулювання питань застосування та експлуатації БПЛА, дрони залишаються загрозою повітряному руху, і з кожним роком це питання стає більш актуальним.

В Україні натепер експлуатація БПЛА регулюється такими нормативно-правовими актами, як Повітряний кодекс України, Правила реєстрації цивільних повітряних суден в Україні, Положення про використання повітряного простору України, Правила польотів повітряних суден та обслуговування повітряного руху в класифікованому повітряному просторі України [14].

Між тим БПЛА, що призначені для дозвілля та спортивної діяльності, максимальна злітна вага яких не перевищує 20 кілограмів, не потребують реєстрації [15].

Однак на рівні з іншими цивільними повітряними суднами БПЛА заборонено здійснювати польоти в певних зонах, а саме: захищених (урядові будівлі, промислові об'єкти), з обмеженим доступом (військові, прикордонний контроль, дослідницькі станції і т.п.) чи зарезервованих для інших літальних об'єктів. Проте цих вимог не завжди дотримуються власники дронів.

У зв'язку з тим, що дрони стають невід'ємною частиною сьогодення, важливо розвивати технології, які дають можливість не лише ідентифікувати дрон, а й примусово керувати ним, якщо він порушує правила використання повітряного простору.

Державне підприємство обслуговування повітряного руху України «Украерорух» зацікавлене в розвитку інноваційних технологій ідентифікації дронів для забезпечення безпеки повітряного руху.

Важливо, щоб такі системи моніторингу мали змогу вдосконалюватися і в майбутньому інтегруватися в систему управління повітряним рухом. Це підвищить рівень безпеки льотної експлуатації повітряних суден, що є найвищим пріоритетом для всіх користувачів повітряного простору та учасників авіаційного ринку.

**Висновки.** 1. У статті обґрунтовано необхідність подальшого вивчення та вдосконалення питань авіаційної безпеки в контексті льотної експлуатації безпілотних літальних апаратів.

2. Запропоновано надалі у формуванні підходів до проектування та льотної експлуатації безпілотних літальних апаратів урахувати можливість примусового коригування траєкторії їхнього руху з метою попередження авіаційних інцидентів.

#### Список літератури:

1. Бабак В.П. та ін. Безпека авіації / В.П. Бабак та ін. Київ, 2004. 584 с.
2. Козейчук Е.Ю. Стан сучасного проектування дронів, системи управління дронами, конструкції коптерів, елементи коптерів, solidworks. *Automation and development of electronic devices aded*. 2019. С. 64–66.
3. Петров А.М. Применение дронов в сельском хозяйстве. *Молодой ученый*. 2014. № 2. С. 182–184.
4. Глозов В., Церклевич А. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Сер. : «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва». Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка». 2014. Вип. I (27). С. 131–136.
5. Кутовий О.П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів. *Наука і озброєння*. 2014. № 4. С. 39–47.
6. Луцький М.Г., Харченко В.П., Бугайко Д.О. Розвиток міжнародного регулювання та нормативної бази використання безпілотних літальних апаратів. *Вісник НАУ*. 2015. № 4. С. 5–14.
7. Класифікація безпілотних літальних апаратів / О.І. Тимочко та ін. *Системи озброєння і військова техніка*. 2007. Вип. 1 (9) С. 61.
8. Авилов А.И. Развитие концепции колеса военных колесных машин транспортировки мобильного беспилотного комплекса. *Автомобильщик Украины*. 2017. № 4. С. 11–15.
9. Гуніна А., Глозов В. Недоліки правового регулювання застосування БПЛА. «GeoTerrace-2018» : міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених (13-15 грудня 2018 року, Львів, Україна). Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2018. С. 188–189.
10. Луцький М.Г., Харченко В.П., Бугайко Д.О. Розвиток міжнародного регулювання та нормативної бази використання безпілотних літальних апаратів. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2011. № 2. С. 5–14.

11. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 27.11.2021).
12. Повітряний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> (дата звернення: 27.11.2021)
13. Радецький В.Г., Руснак І.С. Безпілотна авіація в сучасній збройній боротьбі : монографія. Київ : НАОУ, 2008. 224 с
14. Руснак І.С., Хижняк В.В., Ємець В.І., Безпілотна авіація у сфері цивільного захисту України. Стан та перспективи розробки і застосування. *Наука і оборона*. 2014. № 2. С. 34–39.
15. Соловьев О. Наиболее проблемный и ключевой вопрос – полезная нагрузка БПЛА. *Defense express*. 2009. № 3. С. 13–15.

**Boiko S.M., Nozhnova M.O., Stushchansky Yu.V., Oliinyk Yu.L., Hebda A.S., Golovanov S.L., Gusarova O.V. PROBLEMS OF AVIATION SAFETY IN THE OPERATION OF UNMANNED AIRCRAFT**

*In the context of the world economy, air transport today, among other characteristics, is characterized by high technological complexity of vehicles, increasing the safety of air transport, strengthening measures to protect aviation from acts of illegal interference and development of modern multimodal transport technologies and infrastructure for various modes of transport. Meanwhile, the uncontrolled proliferation of UAVs around the world, along with the associated risks associated with aircraft, other property, human lives, privacy, intrusion, and security, require new regulatory regulation. A number of publications pay a lot of attention to the safety of use and operation of unmanned aerial vehicles (UAVs) is a serious scientific and technical problem in the context of ensuring the safe use of UAVs, which eliminates uncontrolled drones falling to the ground and the associated unintentional harm people and their property on earth. But statistics show that despite a number of measures already in place around the world to regulate the use and operation of UAVs, drones remain a threat to air traffic, and this issue is becoming more relevant every year. Due to the fact that drones are becoming an integral part of today, it is important to develop technologies that allow not only to identify the drone, but also to forcibly control it if it violates the rules of airspace use. It is important that such monitoring systems be improved and integrated into the air traffic control system in the future. This will increase the level of flight safety of aircraft, which is the highest priority for all airspace users and aviation market participants. Thus, the article substantiates the need for further study and improvement of aviation safety in the context of flight operation of unmanned aerial vehicles and proposes in the future, when forming approaches to the design and flight operation of unmanned aerial vehicles to take into account the possibility of forcible adjustment of their trajectory.*

**Key words:** *unmanned aerial vehicles, flight operation, aviation safety, flight safety, human factor.*



# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.395

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/03>**Кокіза С.В.**Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України**Щегельська Н.М.**Приватне акціонерне товариство «Український інститут із проектування  
і розвитку інформаційно-комунікаційної інфраструктури «Діпрозв'язок»

## БЕЗПЕКА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ СПІЛЬНОКАНАЛЬНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ № 7 В УКРАЇНІ

*У статті розглянуто проблему вразливостей телекомунікаційних мереж спільноканальної сигналізації № 7 (СКС-7), які використовують зловмисники для атак на телекомунікаційні мережі та абонентів мереж мобільного зв'язку.*

*Наголошено на проблемі відсутності в нормативних документах України конкретних технічних вимог до телекомунікаційних мереж, що використовують СКС-7, із точки зору захисту від несанкціонованого втручання в роботу, що негативно впливає на безпеку мереж СКС-7.*

*Наведено аналіз сучасного стану та проблем захисту мереж мобільного зв'язку в Україні, з якого видно, що мережі СКС-7 України мають високий ризик витоку інформації щодо ідентифікаторів абонента, яка може бути використана для здійснення атак різних видів.*

*Проаналізовано рекомендації міжнародних нормативних документів щодо безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7. Розглянуто методи протидії загрозам мережам СКС-7, а саме: моніторинг та фільтрація повідомлень відповідно до визначених категорій; застосування «SMS Home Routing». Також наведено вимоги до технічних засобів телекомунікації, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку в телекомунікаційних мережах.*

*На основі проведеного аналізу сучасного стану проблем захисту мереж мобільного зв'язку в Україні та міжнародних нормативних документів щодо безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7 надано рекомендації щодо змісту технічних вимог до захисту телекомунікаційних мереж СКС-7 України від несанкціонованого втручання в роботу, які будуть сприяти впровадженню ефективних засобів та методів захисту телекомунікаційних мереж СКС-7 України від несанкціонованого втручання в роботу.*

**Ключові слова:** безпека телекомунікаційної мережі, несанкціоноване втручання та/або використання телекомунікаційних мереж, атаки на телекомунікаційні мережі, підозріла/шкідлива активність, витік конфіденційних ідентифікаторів абонента, захист телекомунікаційної мережі, безпека взаємоз'єднань телекомунікаційних мереж, спільноканальна сигналізація № 7, СКС-7, моніторинг сигнального трафіку, фільтрація сигнального трафіку, SMS Home Routing.

**Постановка проблеми.** Система спільноканальної сигналізації № 7 (СКС-7) наразі є основним типом міжстанційної сигналізації, що об'єднує мережі різних технологій зв'язку. СКС-7 була розроблена Міжнародним союзом електрозв'язку (далі – МСЕ) у кінці 1970-х років як набір протоколів сигналізації, що використовуються для обміну сигнальною інформацією між різними елементами однієї мережі та/або між різними телекомунікаційними мережами. СКС-7 за своєю концепцією розроблялась як закрита сис-

тема міжстанційної сигналізації, доступ до якої на той час мала порівняно невелика кількість постачальників послуг зв'язку з чітко визначеними межами телекомунікаційних мереж. Для забезпечення безпеки мереж на основі СКС-7 було достатньо фізичного захисту вузлів та ліній зв'язку, оскільки доступ за допомогою якогось окремого несанкціонованого вузла був неможливий.

Із розвитком телекомунікаційних технологій, упровадженням рухомого (мобільного) зв'язку стандартів 2G/3G, а також появою великої

кількості операторів телекомунікацій різних рівнів мережа СКС-7 перестала бути ізольованою. Оскільки під час розробки СКС-7 не були закладені механізми захисту, стало можливим несанкціоноване втручання у сигнальний обмін для здійснення неправомірних дій. Вразливості телекомунікаційних мереж СКС-7 використовують не тільки шахраї, а й розвідувальні органи іноземних держав для здійснення діяльності з негласного спостереження, кібершпиунства, диверсій тощо. Оскільки оператори телекомунікацій повинні забезпечувати підтримку стандартів 2G/3G та взаємодію між мережами різних поколінь та технологій, проблеми безпеки СКС-7 будуть залишатись актуальними ще довгий час.

Законодавство України, зокрема частина третя статті 9 Закону України «Про телекомунікації» [1], містить вимоги до операторів, провайдерів телекомунікацій «вживати відповідно до законодавства технічних та організаційних заходів із захисту телекомунікаційних мереж, засобів телекомунікацій, інформації з обмеженим доступом про організацію телекомунікаційних мереж та інформації, що передається цими мережами». Вимоги щодо забезпечення безпеки електронних комунікаційних мереж містить також Закон України «Про електронні комунікації» [2], який набирає чинності з 01 січня 2022 року. Зокрема, частина друга статті 31 зобов'язує постачальників електронних комунікаційних мереж та/або послуг «вживати відповідних технічних та організаційних заходів для забезпечення безпеки електронних комунікаційних мереж та послуг із метою гарантування цілісності власних електронних комунікаційних мереж, безперервності надання електронних комунікаційних послуг, недопущення несанкціонованого доступу до електронних комунікаційних мереж».

Але нормативних документів щодо конкретних технічних вимог до телекомунікаційних мереж та обладнання з точки зору захисту від несанкціонованого втручання в їх роботу наразі в Україні недостатньо.

Взаємодія мереж операторів рухомого (мобільного) зв'язку України між собою та з телекомунікаційною мережею загального користування здійснюється відповідно до чинних нормативних документів в сфері телекомунікацій. Ці документи також не передбачають конкретних технічних вимог до захисту від несанкціонованого втручання в роботу та/або використання телекомунікаційних мереж.

Виходячи з вищезазначеного, існує необхідність впровадження в Україні нормативних доку-

ментів, які мають регламентувати технічні вимоги щодо захисту телекомунікаційних мереж СКС-7, зокрема мереж рухомого (мобільного) зв'язку, від несанкціонованого втручання в їх роботу. Застосування таких нормативних документів сприятиме підвищенню безпеки телекомунікаційних мереж та захисту інформації про споживачів послуг рухомого (мобільного) зв'язку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вимоги до системи СКС-7 викладені в Рекомендаціях Сектора стандартизації електрозв'язку МСЕ (МСЕ-Т) серії Q.7XX. МСЕ також займається дослідженням питань безпеки СКС-7.

29 червня 2016 року в Женеві, Швейцарія, був проведений Семінар МСЕ на тему «Безпека SS7» [3]. Як документи щодо технічної реалізації захисту телекомунікаційних мереж Семінаром МСЕ «Безпека SS7» рекомендовано використовувати документи GSM Association (GSMA).

Різні аспекти захисту мереж СКС-7 розглядаються, зокрема, у документах GSMA [4-8].

У документі GSMA FS.07 [4] наданий огляд СКС-7 та SIGTRAN, а також обробки повідомлень СКС-7 на межі мережі. Документ містить аналіз атак, які здійснюються у мережі СКС-7, безпеки СКС-7 та SIGTRAN, та надає набір контрзаходів, які можна розгорнути. Зокрема, надається класифікація повідомлень СКС-7 за категоріями, правила фільтрації та інші підходи до підвищення безпеки.

У документі GSMA FS.11 [5] описано, як контролювати трафік СКС-7, включно з методами запобігання атакам та виявлення підозрілої/шкідливої активності. Додаток А містить оцінку ризику для всіх типів пакетів GSM-MAP (GSM-Global System for Mobile Communications; MAP-Mobile Application Part) та CAMEL (Customised Applications for Mobile networks Enhanced Logic). У Додатку до цього документа наведено описи рекомендованих правил мережевого екрана СКС-7 для захисту від вразливостей MAP та CAMEL та рекомендації щодо впровадження мережевого екрана в мережі СКС-7. Рекомендовані правила мережевого екрану СКС-7 визначають набір, яким оператори мереж мобільного зв'язку можуть забезпечити захист своєї мережі.

Документ GSMA IR.70 [6] розглядає проблеми, пов'язані з послугою передання коротких повідомлень (SMS) (спам, шахрайство, незаконне використання адрес SMS-центрів). Документ визначає кожен випадок шахрайства із SMS та описує технічні аспекти для кожного випадку.

Документ GSMA IR.71 [7] визначає методи, за допомогою яких оператори мереж мобільного

зв'язку можуть ідентифікувати атаки на свої мережі з використанням SMS та надає рекомендації як окремим операторам, так й індустрії мобільного зв'язку, яким може знадобитися короткострокове вирішення цих питань.

Документ GSMA IR.82 [8] окреслює загальні заходи безпеки СКС-7 (зокрема, MAP та CAP-CAMEL Application Part), включно із заходами, характерними для безпеки SMS, та можливими точками примусового виконання для кожного заходу.

Згідно з вищенаведеними документами одним із методів, який рекомендовано використовувати для запобігання несанкціонованому втручання з використанням SMS, є «SMS Home Routing» (домашнє маршрутування SMS). Детальний опис «SMS Home Routing» та його впровадження у мережах мобільного зв'язку наведений у документі 3GPP TR 23.840 [9].

Документ 3GPP TR 23.840 [9] пропонує дослідження архітектури базової мережі для доставки коротких повідомлень між PLMN (Public Land Mobile Network) та дослідження щодо вдосконалення цієї архітектури.

Дослідженнями безпеки СКС-7 займається також компанія P1 Security, яка (за даними GSMA [10]) є незалежною від постачальника нейтральною компанією та має визнане лідерство в галузі телекомунікацій та мобільної безпеки, засноване на інноваційних продуктах та передових знаннях. У [11] компанією P1 Security були запропоновані показники безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7 та за результатами досліджень було складено рейтинг 164 країн світу за декількома категоріями.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є надання рекомендацій щодо змісту нормативного документа, який регламентуватиме основні технічні вимоги до захисту телекомунікаційних мереж СКС-7 в Україні від несанкціонованого втручання в їх роботу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз досліджень безпеки системи СКС-7 в Україні;
- провести аналіз рекомендацій міжнародних нормативних документів щодо безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7;
- на основі аналізу міжнародних нормативних документів надати рекомендації щодо змісту основних технічних вимог до захисту телекомунікаційних мереж СКС-7 в Україні від несанкціонованого втручання в їх роботу.

### Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Дослідження безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7 в Україні.

Як уже було зазначено раніше, телекомунікаційні мережі СКС-7 мають вразливості, які використовують зловмисники для атак на мережі та абонентів телекомунікаційних мереж.

Основні напрями атак такі:

- отримання конфіденційних ідентифікаторів абонента;
- визначення / відстеження місцезнаходження абонента;
- маніпулювання даними профілю абонента;
- порушення доступності абонента / мережі;
- перехоплення / перенаправлення викликів;
- перехоплення / перенаправлення SMS-повідомлень;
- DoS-атаки;
- фальсифікація номера абонента, який викликає;
- SMS-спам.

Важливим етапом підготовки до багатьох атак є отримання конфіденційних ідентифікаторів абонента, як-от міжнародний ідентифікатор мобільного абонента (IMSI). У разі успішної атаки зловмисник отримує IMSI абонента, а також дані про MSC/VLR та HLR, у якому зареєстрований абонент. Ці дані можуть бути використанні в подальшому для здійснення багатьох інших атак, як-от визначення та/або відстеження місцезнаходження, перехоплення та/або перенаправлення викликів і SMS-повідомлень та порушення доступності абонентів/мереж.

Такі атаки, як визначення та/або відстеження місцезнаходження, перехоплення та/або перенаправлення викликів і SMS-повідомлень та порушення доступності абонентів/мереж, зокрема співробітників правоохоронних та інших державних органів, а також DoS-атаки на абонентів, на державні органи та об'єкти критичної інфраструктури, несуть загрозу національній безпеці України.

Аналіз досліджень безпеки системи СКС-7 в Україні був проведений на основі дослідження компанії P1 Security [11].

За результатами досліджень безпеки системи СКС-7 P1 Security складено рейтинг 164 країн світу за трьома категоріями:

- витоки конфіденційності;
- вплив мережі;
- глобальний ризик.

Витоки конфіденційності: наскільки з мереж операторів певної країни витікають такі конфіденційні дані їхніх абонентів:

- місцезнаходження абонента;
- приватна інформація про абонента (ідентифікатори, криптографічні ключі, статус післяплати/передплати);
- конфіденційність абонентських комунікацій (розшифровка SMS/дзвінків за допомогою відомих атак).

У межах дослідження впливу мережі фокус на магістральних мережах операторів у країні:

- поверхня атаки мереж операторів (топологія мережі, ідентифікація вузлів мережі (тобто мережеві елементи);
- неправильна конфігурація мережі, що дозволяє зловмисникам змінювати дані;
- обхід механізмів мережевої безпеки.

Глобальний ризик поєднує показники витоків конфіденційності та вплив мережі, надаючи більше значення витокам конфіденційності.

Згідно з даними P1 Security за результатами тестування двох операторів телекомунікацій Україна посідає 29 місце за безпекою СКС-7 в рейтингу зі 164 країн світу.

Рівень глобального ризику – 1059,8 (29 місце).

Рівень ризику конфіденційності – 494,6 (25 місце):

- повідомлень СКС-7, що розкривають місто місцезнаходження абонента – 3 (Україна дозволяє витік інформації про місто місцезнаходження абонента через три повідомлення MAP СКС-7);

- повідомлень СКС-7, що розкривають вулицю місцезнаходження абонента – 1 (Україна дозволяє витік інформації про точне місцезнаходження абонента до рівня вулиці (200 м) через одне повідомлення MAP СКС-7);

- повідомлень СКС-7, що розкривають приватну інформацію – 3 (Україна дозволяє витік інформації про IMSI абонента через три повідомлення MAP СКС-7);

- витік абонентських ключів – 1 (в Україні є 1 оператор, який дозволяє витік абонентських ключів. Витік абонентських ключів дозволяє зловмиснику розшифровувати сеанси зв'язку та SMS абонента, видаючи себе за мережу за допомогою підробленої базової станції);

- витік статусу передоплати/післяплати – 0 (в Україні немає операторів, які дозволяють витік статусу передоплати/післяплати. Витік статусу передплати/післяплати дозволяє зловмиснику збирати інформацію про статус абонента з баз даних операторів для підготовки шахрайства).

Рівень впливу мережі – 1766,7 (155 місце):

- поверхня атаки виявлення SCCP – 188 (Україна має 188 елементів магістральної мережі, іден-

тифікованих за допомогою SCCP СКС-7. Чим більше елементів базової магістральної (базової) мережі доступно (можливий доступ до них безпосередньо з міжнародної мережі СКС-7), тим більше точок входу має зловмисник до магістральної (базової) мережі СКС-7);

- ідентифікація елементів мережі – 188 (Україна має 188 елементів магістральної (базової) мережі, які успішно пройшли ідентифікацію через SCCP СКС-7. Точна ідентифікація елементів магістральної (базової) мережі дозволяє зловмисникам краще зрозуміти внутрішню структуру мереж операторів, що спрощує подальші атаки);

- потенційна зміна статусу передоплати/післяплати (шахрайство) – 0 (в Україні немає операторів, схильних до шахрайства через зміну статусу передплати/післяплати);

- «SMS Home Routing» (домашнє маршрутування SMS) – 2 (в Україні є 2 оператори, які впровадили «SMS Home Routing». «SMS Home Routing» – це здатність мережі приховувати MSC (місто місцезнаходження) та IMSI абонента в деяких повідомленнях MAP СКС-7).

За результатами дослідження можна зробити висновок, що мережі СКС-7 України мають високий ризик витоків інформації IMSI абонента, яка, як було зазначено вище, може бути використана в подальшому для здійснення багатьох інших атак.

За рівнем впливу мережі Україна перебуває в останній десятці рейтингу, що відображає погану захищеність телекомунікаційних мереж в Україні.

2. Рекомендації щодо безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7.

За результатами аналізу документів GSMA визначено вимоги, що є необхідними для підвищення безпеки телекомунікаційних мереж СКС-7 в Україні. Зокрема, для запобігання несанкціонованому втручання у сигнальний обмін обов'язково має застосовуватись моніторинг та фільтрація сигнального трафіку.

Моніторинг та фільтрація сигнального трафіку повинні виконуватись у вузлах, які отримують міжмережевий сигнальний трафік, зокрема:

- системах виявлення та запобігання вторгненням;
- транзитних та шлюзових вузлах обробки сигналізації (STP та шлюзові STP);
- вузлах, які надсилають/отримують міжмережевий сигнальний трафік (MSC, SGSN, HLR, VLR тощо);
- SMS-маршрутизаторі;
- мережевих системах моніторингу;
- інших елементах мережі, які отримують міжмережевий сигнальний трафік.

2.1. Вимоги щодо моніторингу та фільтрації сигнального трафіку.

Документи GSMA FS.11 [8], IR.82 [9] рекомендують для моніторингу та фільтрації повідомлень СКС-7, а саме повідомлень SCCP, MAP та CAP, застосовувати механізми так званих чорних або білих списків повідомлень СКС-7. Оскільки перелік повідомлень СКС-7 наразі є доволі сталим і його оновлення не передбачається, то для фільтрації повідомлень СКС-7 рекомендується використовувати саме механізм чорних списків, тобто мережевий екран має блокувати всі повідомлення, які входять до відповідного списку.

Фільтрація повідомлень СКС-7 має виконуватись відповідно до категорій згідно з документом GSMA FS.11 [8].

*Категорія 1* містить усі повідомлення СКС-7, які повинні отримуватись тільки в межах однієї мережі. Повідомлення СКС-7 категорії 1 призначені для передавання між вузлами всередині мережі оператора та не повинні надходити у пункти взаємоз'єднання з мережами інших операторів. Повідомлення СКС-7 категорії 1, що надходять у пункти взаємоз'єднання з іншими мережами та призначені вузлам всередині мережі, повинні блокуватись, якщо між операторами телекомунікацій немає угод про обмін такими повідомленнями. Ідентифікація повідомлень СКС-7 категорії 1 проводиться лише на основі типу повідомлення.

*Категорія 2* складається з повідомлень СКС-7, що стосуються зовнішнього абонента, який перебуває в роумінгу, та надходять із його домашньої мережі. Такі повідомлення, що надходять у пункти взаємоз'єднання з іншими мережами, не повинні призначатись власним абонентам мережі. Категорія 2 передбачає перевірку повідомлень СКС-7, зокрема повідомлень MAP, на основі аналізу походження (джерела) повідомлення.

Повинні блокуватись повідомлення MAP категорії 2, які надійшли від мереж інших операторів, якщо вони призначені власним абонентам цих мереж. Також повинні блокуватись повідомлення MAP категорії 2, якщо вони призначені для абонента, який перебуває в роумінгу, але мережа, визначена на основі номера цього абонента мобільного зв'язку (MSISDN) або IMSI (тобто MCC + MNC) на рівні MAP, не відповідає мережі, вказаній у глобальному заголовку на рівні SCCP.

Повідомлення MAP категорії 2 можна додатково розділити на 2 категорії:

– категорія 2.1: MAP-повідомлення, які потребують відповіді;

– категорія 2.2: MAP-повідомлення, які не потребують відповіді.

Повідомлення категорії 2.1 легше відстежувати, порівнюючи адреси SCCP та MAP, оскільки відповідь повинна повертатися до вказаної адреси. Несанкціоновані повідомлення категорії 2.2 важче виявити, оскільки адреса походження може бути підробленою.

Повідомлення СКС-7 *категорії 3* стосуються власних абонентів мережі, які перебувають у роумінгу, та надсилаються з поточної або передбачуваної мережі, в якій перебуває абонент. Зазвичай перевірки цих повідомлень базуються на кореляції між повідомленнями та можуть містити перевірку повідомлень із точки зору місцезнаходження абонента, швидкості та часу зміни місцезнаходження.

Повідомлення СКС-7 категорії 3 можна додатково розділити на 3 категорії:

– категорія 3.1 – повідомлення, в яких місцезнаходження абонента може бути підтверджено попередньою / поточною інформацією про VLR за допомогою перевірки SGSN/VLR. Повинні блокуватись всі повідомлення, отримані в пунктах взаємоз'єднання з іншими мережами, що стосуються власного абонента мережі, який перебуває в роумінгу, якщо адреса VLR (VLR ID), яка зберігається у HLR, не відповідає мережі, вказаній на рівні SCCP;

– категорія 3.2 – повідомлення, в яких місцезнаходження абонента не може бути підтвержене за допомогою попередньої / поточної інформації VLR. Для визначення достовірності таких повідомлень використовують перевірку місцезнаходження абонента, часу та швидкості зміни місцезнаходження;

– категорія 3.3 – повідомлення, які стосуються SMS і до яких потрібно застосувати специфічні засоби безпеки SMS, а саме: перевірка кореляції адрес на рівнях SCCP, MAP, MTP (або іншого протоколу транспортного рівня), а також їх кореляції з топологією мережі; застосування «SMS Home Routing» та заходів щодо запобігання його обходу; за умови технічної можливості застосування механізмів «SMS TCAP Handshake» та/або «SMS TCAPsec».

2.2. Вимоги щодо впровадження «SMS Home Routing».

Згідно з документом 3GPP TR 23.840 [9] «SMS Home Routing» передбачає модифікацію оброблення вхідних коротких повідомлень (SM) так, щоб доставкою SM абоненту керувала його домашня мережа мобільного зв'язку.

Усі вхідні запити MAP\_sendRoutingInfo\_for\_SM, які стосуються власних абонентів

мережі, перенаправляються для оброблення до SMS-маршрутизатора. У відповідь SMS-маршрутизатор надсилає повідомлення MAP\_sendRoutingInfo\_for\_SM\_ack, яке містить адресу SMS-маршрутизатора замість адреси MSC/VLR та спеціально згенерований (так званий «фейковий IMSI») замість реального IMSI. Таким чином, стороні, яка надіслала запит, не повідомляється реальне місцезнаходження абонента та його IMSI. Після отримання SM SMS-маршрутизатор пересилає його до MSC/VLR, в зоні дії якого наразі перебуває абонент.

«SMS Home Routing» є, на перший погляд, дуже ефективним засобом захисту від витоків ідентифікаторів абонента мережі мобільного зв'язку (як було зазначено вище, отримання ідентифікаторів абонента дає змогу зловмисникам здійснити більш серйозні атаки).

Однак це рішення не дозволяє оператору телекомунікацій на сто відсотків приховати конфіденційні дані про мережі й абонентів. Цьому сприяють:

- помилки конфігурації «SMS Home Routing»;
- помилки конфігурації STP;
- можливість отримання даних через використання інших повідомлень SS7.

Усе це робить застосування «SMS Home Routing» необхідним, але недостатнім методом захисту мережі оператора телекомунікацій. Застосування «SMS Home Routing» має бути обов'язковим доповненням до моніторингу та фільтрації сигнального трафіку.

Крім того, для запобігання обходу «SMS Home Routing» повинні застосуватись такі механізми:

- усі вхідні запити MAP\_sendRoutingInfo\_for\_SM, які стосуються власних абонентів телекомунікаційної мережі, повинні бути перенаправлені для оброблення до SMS маршрутизатора, а всі MAP\_sendRoutingInfo\_for\_SM, у яких адресою призначення у GT SCCP указаний HLR, повинні бути заблоковані;
- усі прямі вхідні SM (MAP\_MT\_Forward\_SM), які стосуються власних абонентів телекомунікаційної мережі, повинні бути перенаправлені до SMS-маршрутизатора. Загалом, після впровадження «SMS Home Routing» вхідні повідомлення, в яких адресою призначення у GT SCCP вказаний MSC/VLR, мають бути заблоковані, оскільки адресою призначення у GT SCCP має бути SMS-маршрутизатор;
- вхідні SM, призначені абонентам інших телекомунікаційних мереж, що перебувають у роумінгу, не повинні блокуватися.

2.3. Вимоги до технічних засобів телекомунікацій, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку.

Для ефективного захисту від несанкціонованого втручання та/або використання телекомунікаційних мереж технічні засоби телекомунікацій, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку повинні відповідати викладеним нижче вимогам.

Технічні засоби телекомунікацій, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку, потрібно розміщувати так, щоб мати змогу відстежувати весь сигнальний трафік, який необхідно моніторити та фільтрувати (міжнародний трафік, національний трафік, трафік на безпосередніх взаємоз'єднаннях з іншими телекомунікаційними мережами тощо), враховувати всі маршрути сигнального трафіку та охоплювати всі точки входу в мережу чи виходу з неї, а також вузли всередині мережі, які беруть участь в обміні повідомленнями сигналізації. Такі засоби повинні виконувати поглиблений аналіз стеку протоколів, які використовуються у мережі мобільного зв'язку, мати можливість кореляції параметрів на різних рівнях протоколу, а також виконувати перехресний аналіз протоколів для запобігання несанкціонованим втручанням, які використовують одразу кілька протоколів. При цьому технічні засоби телекомунікацій, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку, не повинні впливати на легальний трафік та створювати додаткові ризики для телекомунікаційної мережі або для її безпеки (не повинні призводити до технічних збоїв у роботі телекомунікаційної мережі, переривання надання телекомунікаційних послуг, не повинні бути вразливими до несанкціонованого втручання тощо). Безпека технічного засобу, що здійснює моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку, має бути перевірена і доведена.

Крім того, технічні засоби телекомунікацій, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку, повинні мати можливість накопичення статистичних даних для отримання інформації про якість роботи мережі, аналізу проблем, виявлення та аналізу підозрілої/шкідливої активності, з'ясування причин і походження підозрілого трафіку, пошуку можливих нових кібератак.

Для більшої ефективності бажано, щоб технічні засоби телекомунікацій, що здійснюють моніторинг і фільтрацію сигнального трафіку, склали окремих комплекс або систему, яка має змогу акумулювати дані з усіх точок, у яких виконується моніторинг сигнального трафіку, тобто

контролювати мережу оператора загалом. Комплексний засіб моніторингу та фільтрації сигнального трафіку дозволить:

- оперативно виявляти те, на якій ділянці влаштована атака;
- відстежувати атаки, які використовують декілька протоколів одночасно, забезпечуючи комплексний багаторівневий захист мережі та абонентів;
- органам з оцінки відповідності та наглядовим органам перевіряти виконання вимог нормативних документів, що має призвести до збільшення ефективності захисту телекомунікаційних мереж;
- забезпечити більш ефективний захист конфіденційної інформації абонентів (MSISDN, IMSI тощо), внесених до списку захисту.

**Висновки.** На основі аналізу міжнародних нормативних документів сформовано необхідні рекомендації щодо вмісту нормативного документа, який має регламентувати технічні вимоги до захисту телекомунікаційних мереж СКС-7 України від несанкціонованого втручання в їх роботу.

1. Для запобігання несанкціонованому втручанню та/або використанню телекомунікаційних мереж СКС-7 необхідно застосовувати моні-

тинг та фільтрацію сигнального трафіку у вузлах, які отримують міжмережевий сигнальний трафік.

2. Фільтрація повідомлень СКС-7 повинна здійснюватись відповідно до категорій згідно з документом GSMA FS.11 [8].

3. Додатково до моніторингу та фільтрації сигнального трафіку для запобігання вторгненням з використанням SMS необхідно застосовувати «SMS Home Routing» та заходи для запобігання його обходу.

4. Нормативний документ також має містити вимоги до технічних засобів телекомунікацій, які здійснюють моніторинг та фільтрацію сигнального трафіку.

Затвердження такого нормативного документа буде сприяти прискоренню впровадження ефективних засобів та методів захисту телекомунікаційних мереж СКС-7 України від несанкціонованого втручання в їх роботу.

Після затвердження технічних вимог щодо моніторингу та фільтрації сигнального трафіку необхідні подальші дослідження для розроблення методики випробувань засобів захисту та телекомунікаційних мереж загалом на відповідність цим вимогам.

#### Список літератури:

1. Про телекомунікації : Закон України від 18 листопада 2003 р. № 1280-IV. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1280-15#Text> (дата звернення: 08.11.2021).
2. Про електронні комунікації : Закон України від 16 грудня 2020 р. № 1089-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1089-20#Text> (дата звернення: 08.11.2021).
3. ITU Workshop on "SS7 Security". <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201606/Pages/default.aspx> (дата звернення: 08.11.2021).
4. GSM Association Official Document FS.07 – SS7 and SIGTRAN Network Security. Version 4.0. 08, December 2017.
5. GSM Association Official Document FS.11 – SS7 Interconnect Security Monitoring and Firewall Guidelines. Version 6.0. 17, May 2019.
6. GSM Association Official Document IR.70 – SMS SS7 Fraud. Version 4.0. 25, July 2013.
7. GSM Association Official Document IR.71 – SMS SS7 Fraud Prevention. Version 6.0. 26, September 2016.
8. GSM Association Official Document IR.82 – SS7 Security Network Implementation Guidelines. Version 5.0. 25, November 2016.
9. 3GPP TR 23.840 V7.1.0 (2007-03) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Core Network and Terminals; Study into routing of MT-SMs via the HPLMN (Release 7).
10. Membership. P1 Security. <https://www.gsma.com/membership/m/p1-security/> (дата звернення: 08.11.2021).
11. SS7map: SS7 country risk ratings. <https://labs.p1sec.com/2014/12/28/ss7map-country-risk-ratings/> (дата звернення: 08.11.2021).

#### **Kokiza S.V., Shchehelska N.M. SIGNALLING SYSTEM № 7 NETWORKS SECURITY IN UKRAINE**

*The article considers the problem of vulnerabilities of telecommunication networks of signalling system № 7 (SS7), which are used by attackers to attack telecommunication networks and subscribers of mobile communication networks.*

*The problem of absence in the normative documents of Ukraine of specific technical requirements to the telecommunication networks using SS7 from the point of view of protection against unauthorized interference in their work, which negatively affects the security of SS7 networks, is emphasized.*

*An analysis of the current state and existing problems of protection of mobile networks in Ukraine shows that the networks of SS7 Ukraine have a high risk of leakage of information about subscriber IDs, which can be used to carry out various kinds of attacks.*

*The analysis of recommendations of international normative documents on security of SS7 telecommunication networks is carried out. Methods of counteraction to threats of SS7 networks are considered, namely: monitoring and filtering of messages according to certain categories; application of "SMS Home Routing". Also the requirements to the technical means of telecommunications which carry out monitoring and filtering of traffic in telecommunication networks are resulted.*

*Based on the analysis of the current state of protection of mobile networks in Ukraine and international regulations on the security of SS7 telecommunications networks provided recommendations on the content of technical requirements for protection of SS7 telecommunications networks of Ukraine from unauthorized interference in their work, which will promote effective means and methods of protection of SS7 telecommunication networks of Ukraine from unauthorized interference in their work.*

**Key words:** *telecommunication network security, unauthorized interference and/or use of telecommunication networks, attacks on telecommunication networks, suspicious/harmful activity, telecommunication network protection, telecommunication network interconnect security, Signalling System № 7, monitoring signal traffic, signal traffic filtering, SMS Home Routing.*



УДК 004.56: 621.395

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/04>**Корнієнко В.І.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Герасіна О.В.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Гусєв О.Ю.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Горєв В.М.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Мацюк С.М.**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ МОВНОГО СИГНАЛУ В СИСТЕМІ КОНФІДЕНЦІЙНОГО ЗВ'ЯЗКУ ПО МЕРЕЖІ З ВИДІЛЕНИМИ КАНАЛАМИ

У статті запропоновано механізм інтелектуального прогнозування мовного сигналу в системі конфіденційного телефонного зв'язку. Як адаптивні прогнозуючі фільтри досліджувались: нейронний фільтр на основі нейронної мережі прямого поширення з прихованим шаром, нейронечіткий фільтр на основі адаптивної нейронної системи нечіткого висновку, а також нейровейвлетний фільтр, в основу фільтрації якого покладена процедура прямого дискретного вейвлет перетворення. Для знаходження (налаштування) оптимальних (для конкретної задачі) параметрів прогнозуючих фільтрів, обґрунтовано використання методів глобальної оптимізації, зокрема генетичного алгоритму. Шляхом моделювання в середовищі Matlab за допомогою стандартних та розроблених програм оцінена точність передбачення запропонованих інтелектуальних прогнозуючих фільтрів у системі конфіденційного телефонного зв'язку по мережі з виділеними каналами. Оцінено похибки прогнозування вхідного мовного сигналу з шумом для отриманих інтелектуальних прогнозуючих фільтрів з оптимальними параметрами та лінійного прогнозуючого фільтру з кінцевою імпульсною характеристикою. Доведена адекватність отриманих результатів за критерієм знаків. Встановлено, що використання нейровейвлетного алгоритму прогнозування підвищує ефективність системи конфіденційного зв'язку по мережі з виділеними каналами за рахунок зниження похибки прогнозування мовного сигналу у порівнянні з лінійним прогнозуванням. Нейромережевий алгоритм за точністю прогнозування порівняний з лінійним, а нейронечіткий алгоритм поступається лінійному. Подальші дослідження мають бути спрямовані на спрощення технічної реалізації інтелектуальних алгоритмів прогнозування мовного сигналу в системі конфіденційного зв'язку по мережі з виділеними каналами.

**Ключові слова:** конфіденційний зв'язок, мережа з виділеними каналами, нейронні мережі, нечітка логіка, вейвлет перетворення, генетичний алгоритм, прогнозуючий фільтр.

**Постановка проблеми.** Забезпечення конфіденційного зв'язку є однією з важливих задач захисту інформації в телекомунікаціях.

Серед телекомунікаційних операторів поширення отримала технологія передачі даних, що передбачає створення у мережі між користувачами виділеного каналу, який діє на час передачі [1, с. 200; 2, с. 16].

Для передачі сигналу з нього створюються осередки (пакети), які мають фіксовану або змінну

довжину і слідує один за одним, наприклад, без перерв, що полегшує процедури обробки сигналу і дозволяє підвищити швидкість передачі інформації.

Використання для конфіденційного зв'язку в мережі виділених каналів ставить питання про якість зв'язку за обмеженої пропускної здатності мережі, використання каналів зв'язку невисокої якості та забезпечення конфіденційності від абонента до абонента. Зниження якості зв'язку у мережі відбувається через втрати пакетів, що виникають

при незворотних викривленнях заголовків або перевантаженнях комутаторів. Оскільки мовний сигнал (МС) має високу надмірність, то на періоді локальної стаціонарності можливо здійснити його відновлення з мінімальними спотвореннями.

Одним зі шляхів відновлення МС у тракті прийому є механізм прогнозування осередків, втрачених під час передачі в мережі [1, с. 201].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виділений канал має фіксовані смугу пропускання або пропускну здатність і постійно з'єднує двох абонентів, якими можуть бути як окремі особи або пристрої (комп'ютери або термінали), так і цілі мережі.

Завдання безпечно і інтенсивного обміну даними наразі вирішується шляхом створення єдиної захищеної корпоративної мережі з організацією виділених транспортних каналів передачі даних рівня L2 моделі OSI на базі оптичної мережі IP / MPLS (Multiprotocol Label Switching – мультипротокольна комутація по мітках) [2, с. 14].

Сучасні MPLS-мережі можуть працювати з IP-пакетами, осередками ATM, фреймами SONET / SDH, а також можуть бути використані і для передачі стандартних кадрів Ethernet. Доцільно зазначити, що MPLS не замінює IP-маршрутизацію, а працює поверх неї.

Основними перевагами організації мереж з виділеними каналами на базі MPLS можна назвати: масштабованість, перетин адресних просторів, вузлів, підключених до різних VPN, ізолювання трафіку VPN один від одного на рівні L2 моделі OSI [3, с. 4496; 4, с. 36].

У роботі [1, с. 201] запропоновано механізм лінійного передбачення МС у системі конфіденційного телефонного зв'язку по ATM-мережі.

Для прогнозування найбільш актуальним є використання методів систем штучного інтелекту:

нейронних мереж (НМ) і систем із нечіткою логікою, які є універсальними й ефективними апроксиматорами, а побудовані на їх основі фільтри ефективні для прогнозування й апроксимації нелінійних, стохастичних процесів [5, с. 210].

У роботах [5, с. 209; 6, с. 102; 7, с. 142] запропоновано для прогнозування використовувати нейронні, нейронечіткі (НН) та нейровейвлетні (НВ) адаптивні прогнозуючі фільтри (ПФ).

**Постановка завдання.** Дослідження алгоритмів нейронного, нейронечіткого та нейровейвлетного прогнозування мовних сигналів, а також оцінка ефективності їх використання у системі конфіденційного зв'язку по мережі з виділеними каналами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Система зв'язку (рис. 1) орієнтована на передачу від абонента до абонента конфіденційного телефонного трафіку зі змінною швидкістю і придуренням пауз [1, с. 200].

При стисненні мови для придурення пауз використовується ідентифікатор типу корисного навантаження заголовка осередку. Він приймає різні значення залежно від наявності в переданих осередках активних фрагментів мови.

Далі у тракті передачі здійснюється перетворення аналогового МС у цифрову форму і формування осередків. Осередки, що містять паузи мовної активності, не шифруються й не передаються, що зменшує загальне навантаження на мережу.

Для забезпечення криптографічної стійкості виконується шифрування даних за методом гамування. На етапі встановлення з'єднання формується початкове заповнення шифратора із виконанням вимог по стохастичності, рівномірності й некорельованості. При шифруванні цифровий МС підсумовується з двійковою псевдовипадковою послідовністю.

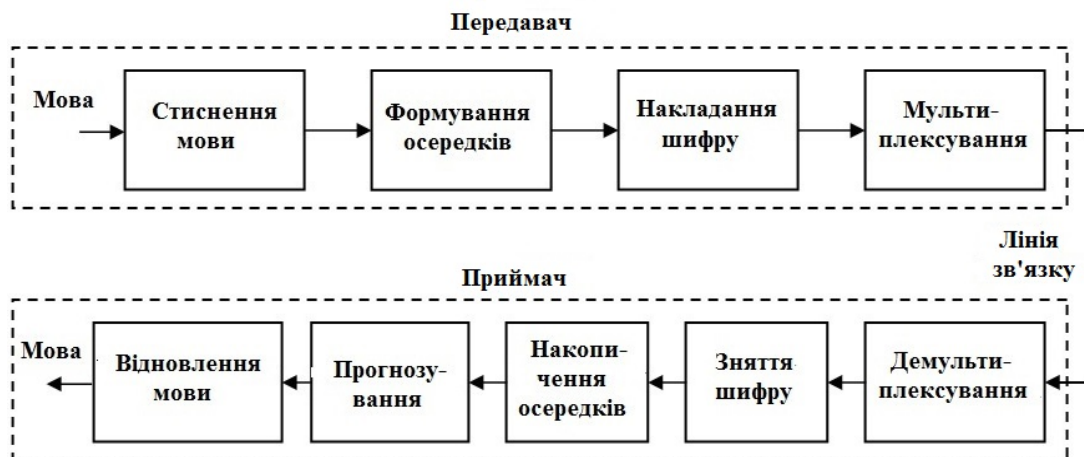


Рис. 1. Схема системи конфіденційного зв'язку

Сформовані та зашифровані дані за допомогою мультиплектора передаються в лінію зв'язку. За відсутності осередків для передачі з метою підтримки синхронізму мультиплексор здійснює вставку в вихідний сигнал порожніх клітинок.

У приймачі демультіплексор виконує функції, зворотні мультиплектору, включаючи виправлення похибок в заголовках осередків. У разі неможливості виправлення похибок, прийнятий осередок подальшій обробці не підлягає (вважається втраченим).

Пакетне дешифрування здійснюється за алгоритмом, аналогічним для накладення шифру в передавачі.

Далі накопичуються осередки і виконується вирівнювання затримок із метою компенсації дисперсії часу (джиттера) доставки осередків у мережі.

Прогноз (передбачення) осередків, втрачених під час передачі у мережі, здійснюється на періоді локальної стаціонарності МС синхронно зі швидкістю передачі. Як початкові дані для прогнозу використовується інформація із прийнятих раніше блоків даних.

Отриманий цифровий МС із заповненими паузами та відновленими осередками синхронно подається на синтезатор, де здійснюється відновлення мовлення шляхом перетворення сигналу в аналогову форму.

*Алгоритми прогнозування мовного сигналу.* Спектр короткочасного МС має глобальний максимум в околиці від 300 до 800 Гц і убуває зі швидкістю від 6 до 12 дБ/октаву, а автокореляційна функція МС повільно змінюється, що свідчить про досить тісний зв'язок між відліками сигналу. Значення кореляції для типового одиничного вибіркового значення становить 0,79...0,87, а інтервал кореляції має тривалість 4...6 відліків [8, с. 108].

Оскільки різниця між сусідніми часовими відліками для мови мала, то кодування МС базується на передачі від вибірки до вибірки різниць їх значень, що реалізується N-відвідними кодерами з прогнозуванням [9, с. 57].

Контур прогнозу описується як:

$$\varepsilon(k) = x(k) - \bar{x}(k), \quad (1)$$

де  $x(k)$  – k-а вибірка,  $\bar{x}(k)$  – прогнозне значення вибірки,  $\varepsilon(k)$  – похибка прогнозу.

Кодер коригує свої прогнози, складаючи суму прогнозованого значення і похибки прогнозу. Контур кореляції описується як:

$$\bar{\varepsilon}(k) = \text{quant}[\varepsilon(k)], \quad \bar{x}(k) = \hat{x}(k) + \bar{\varepsilon}(k), \quad (2)$$

де  $\text{quant}(\ )$  – операція квантування,  $\hat{x}(k)$  – оцінка вхідної вибірки.

Середньоквадратична похибка прогнозу дорівнює:

$$E\{\varepsilon(k)\varepsilon(k)\} = E\left\{\left[x(k) - x(k|k-1)\right]^2\right\}. \quad (3)$$

По суті N-відвідні кодера з прогнозом реалізуються на основі адаптивних лінійних прогнозуючих фільтрів (ПФ) з кінцевою імпульсною характеристикою (КІХ) [9, с. 57]. У них процес адаптації включає оцінювання шуканого виходу фільтра і корегування його коефіцієнтів за значенням вихідної похибки.

У процесі роботи ПФ на кожному такті по величині похибки  $\varepsilon[k] = x[k] + \hat{x}[k]$  між фактичним  $x[k]$  і прогнозованим  $\hat{x}[k]$  значеннями сигналу здійснюється адаптація коефіцієнтів ПФ.

Різницеве рівняння лінійного ПФ з КІХ має вигляд:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{r=0}^N a_r \cdot x[k-r], \quad (4)$$

де  $n, a_r, N$  – коефіцієнти фільтра і його порядок, відповідно.

Такі ПФ з КІХ мають асимптотичну стійкість і лінійну фазо-частотну характеристику.

Нейромережеві (НМ) моделі представляють собою набір сполучених між собою нейронів, для яких перетворення вхідного вектора у вихідний задається значеннями вагів мережі. Вихідні значення нейронів залежать від вибору функції активації.

Для систем прогнозування на базі НМ найкращі якості показує гетерогенна мережа, яка складається із прихованих шарів із нелінійної функцією активації нейронів і вихідного лінійного нейрона [10, с. 18].

Рівняння нейронного ПФ, який здійснює передбачення на  $n$  тактів, на основі НМ прямого поширення з прихованим шаром має вигляд [11, с. 388]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\tau \in P} F_{\hat{x}}\left\{\sum_{l \in Q} v_l[\tau] \cdot F_l\left(\sum_{m \in Q} v_{l,m}[\tau] \cdot u_m[k-\tau]\right)\right\}, \quad (5)$$

де  $P$  – множина глибин пам'яті відповідних входів;  $F_{\hat{x}}$  – активаційна функція вихідного шару НМ;  $Q$  – множина входів нейронів;  $l$  – порядковий номер входу вихідного шару НМ;  $v_l$  – вагові коефіцієнти вихідного шару;  $F_l$  – активаційна функція нейронів прихованого шару;  $m$  – порядковий номер входу і l-го нейрона;  $v_{l,m}$  – вагові коефіцієнти зв'язку m-го входу і l-го нейрона;  $u_m$  – вхід НМ.

Параметрами налаштування (навчання) НМ прямого поширення з прихованим шаром є  $\{v_l, v_{l,m}\} \subset a$ .

Зазвичай для налаштування параметрів НМ прямого розповсюдження використовують градієнтні алгоритми, наприклад, алгоритм зворотного поширення похибки в просторі параметрів  $\{v_l, v_{l,m}\} \subset a$  при заданій архітектурі НМ.

Нейронечітка (гібридна) мережа представляє собою НМ із чіткими сигналами, вагами і активаційною функцією, об'єднання сигналів і вагів в якій здійснюється з використанням t-норми, t-конорми або деяких інших безперервних операцій. У ній входи, виходи та ваги – дійсні числа, що приймають значення в інтервалі [0, 1].

Рівняння нейронечіткого ПФ на основі адаптивної нейронної системи нечіткого висновку (Anfis) має вигляд [11, с. 390]:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{\tau \in P} \sum_{m \in Q} \beta_m[\tau] \cdot \alpha_m[k-\tau], \quad (6)$$

де  $\alpha_m[k-\tau] = T_n \{L_{l,m}(u_m[k-\tau])\}$ ;

$$\beta_m[\tau] = U_m^{-1}(\alpha_m[\tau] / \sum_m \alpha_m[\tau]); U = U(a_U);$$

$$L = L(a_L).$$

Тут  $U_m^{-1}$  – функція, зворотна функції належності проміжного виходу m мережі з параметрами  $a_U$ ;  $\alpha_m$  – значення проміжного виходу;  $T_n$  – довільна t-норма моделювання логічної операції «І»;  $L_{l,m}$  – функція належності нечіткої правила l входу m з параметрами  $a_L$ .

Параметрами налаштування НМ Anfis є  $\{a_U, a_L\} \subset a$ , а навчання виконується аналогічно НМ прямого поширення.

Фільтри із частотним перетворенням мають переваги над фільтрами зі згортокою в часовій області, завдяки скороченню об'єму обчислень і покращенню властивості збіжності алгоритмів адаптації. При цьому, внаслідок здатності представляти нестационарні сигнали більш доцільним, є використання дискретного вейвлет перетворення (ДВП) [12, с. 465].

Прикладом такого фільтру є НВ ПФ [11, с. 393], в основу фільтрації якого покладена процедура прямого ДВП. Для зменшення впливу шуму у фільтрі здійснюють трешолдинг – порогове обмеження коефіцієнтів вейвлет розкладання. НМ використовується для прогнозування значень коефіцієнтів, за якими за допомогою зворотного ДВП визначається прогнозований сигнал.

В НВ ПФ для вхідного дискретного сигналу  $u[k]$  тривалістю  $K$  ( $k = \overline{1, K}$ ) його ДВП є набором вейвлет коефіцієнтів

$$AD_k = \{A_L, D_L, D_{L-1}, \dots, D_1\} \quad (7)$$

з коефіцієнтами апроксимації за рівнями розкладання

$$A_L = \{a_{L,p}\} = \sum_{p=1}^{P_L} u[k] \cdot \phi_{L,p}[k] \quad (8)$$

і коефіцієнтами деталізації

$$D_l = \{d_{l,p}\} = \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^{P_l} u[k] \cdot \psi_{l,p}[k]; l = \overline{1, L}, \quad (9)$$

де  $\phi, \psi$  – масштабуюча і відповідна їй вейвлет функції;  $L$  – кількість рівнів розкладання;  $P_l$  – кількість коефіцієнтів на рівні розкладання  $l$ .

Коефіцієнти апроксимації є згладженим сигналом, а деталізації – його коливання. Для видалення шуму коефіцієнти, менше деякого граничного значення, дорівнюють нулю (процедура порогової обробки – трешолдинг T):  $AD_k^T = T(AD_k)$ .

На вході НМ вейвлет-коефіцієнти помножуються на відповідні ваги і визначаються рівні активації нейронів, які формують прогноз вейвлет коефіцієнтів для моменту часу  $[k+n]$ :

$$AD_{k+n}^{\hat{}} = F_{NN}(AD_k^T), \quad (10)$$

де  $F_{NN}$  – узагальнена функція перетворення НМ.

Для забезпечення асимптотичної стійкості ПФ використовуються НМ без зворотних зв'язків і з нелінійними функціями активації.

Оцінка прогнозу вейвлет коефіцієнтів для моменту часу  $[k+n]$  на основі багат шарової НМ прямого поширення виконується відповідно до рівняння:

$$AD_{k+n}^{\hat{}} = F_{AD} \left\{ \sum_{r \in M} v_r \cdot F_r \left( \sum_{m \in M} v_{r,m} \cdot y_m \right) \right\};$$

$$AD_k^T \subset \{y_m\}, \quad (11)$$

де  $AD_{k+n}^{\hat{}}$  – вихід НМ;  $F_{AD}$  – активаційна функція вихідного шару;  $M$  – множина входів нейронів;  $r$  – порядковий номер входу вихідного шару;  $v_r$  – вагові коефіцієнти вихідного шару;  $F_r$  – активаційна функція нейронів прихованого шару;  $m$  – порядковий номер входу НМ;  $v_{r,m}$  – вагові коефіцієнти зв'язку m-го входу і r-го нейрону;  $y_m$  – вхід НМ.

Тоді прогнозування сигналу  $\hat{x}[k+n]$  глибиною  $n$  виконується за прогнозованими за допомогою НМ коефіцієнтами розкладання  $AD_{k+n}^{\hat{}} = \{\hat{a}_{L,p}, \hat{d}_{l,p}\}$  відповідно до виразу зворотного ДВП:

$$\hat{x}[k+n] = \sum_{p=1}^{P_L} \hat{a}_{L,p} \cdot \phi_{L,p}[k+n] + \sum_{l=1}^L \sum_{p=1}^{P_l} \hat{d}_{l,p} \cdot \psi_{l,p}[k+n]. \quad (12)$$

Навчання НВ ПФ здійснюється у пакетному режимі, а адаптація – у реальному часі шляхом підлаштування параметрів фільтра при обробці поточного блоку за похибкою прогнозу попереднього блоку.

Параметрами НВ ПФ, які навчаються (адаптуються), є: тип базисного вейвлету  $\psi$ , кількість рівнів розкладання  $L$ , а також параметри трешолдинга і НМ.

Слід зазначити, що знаходження (налаштування) оптимальних (для конкретної задачі) параметрів ПФ є актуальною задачею, зокрема, й при прогнозуванні МС. А оскільки ця задача є полімодальною, то це вимагає використання методів глобальної оптимізації, серед яких найбільш ефективними є пошукові методи [11, с. 420].

В них алгоритм пошуку оптимального рішення пов'язує наступні один за одним рішення  $\Psi_s(j+1) = F[\Psi_s(j)]$ , де  $F$  – алгоритм пошуку, що показує які операції слід зробити на кроці  $j$  при вирішенні  $\Psi_s(j)$ , щоб отримати нове рішення  $\Psi_s(j+1) \succ \Psi_s(j)$ . Тут знак переваги  $\succ$  при мінімізації функціоналу має сенс:

$$C[\Psi_s(j+1)] < C[\Psi_s(j)]. \quad (13)$$

Розвитком пошукових методів є еволюційні алгоритми, серед яких найбільш поширені генетичні алгоритми (ГА), що моделюють розвиток біологічної популяції на рівні геномів: мутації структури і параметрів  $\delta\Psi_s$ , їх схрещування [10, с. 136]:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) + \delta\Psi_s(j), \quad (14)$$

і правило відбору для виявлення їх сприятливих варіацій, за допомогою яких будується послідовність поліпшених рішень.

Моделювання виконувалося у середовищі Matlab за допомогою стандартних та розроблених програм. Як тестовий мовний сигнал використовувалася сума гармонік із частотою 400, 1000 і 3000 Гц тривалістю  $T = 22,5$  мс (період стаціонарності мовного сигналу).

Відповідно кількість відліків сигналу з частотою дискретизації  $F_D = 8$  кГц відповідно  $N = T \cdot F_D = 180$ .

Програма моделювання включала визначення значення похибки передбачення  $\bar{\epsilon}$  для рівня шуму  $nvar = 0,5$ .

Для лінійного ПФ було обгрунтовано значення його порядку  $M=32$  і коефіцієнта швидкості навчання  $\mu = 0,75$ , оскільки відповідне значення похибки  $\bar{\epsilon} < \epsilon_{TP}$  (тут  $\epsilon_{TP} \leq 0,05$  – значення необхідної (бажаної) похибки передбачення) і порядок ПФ найменший, що забезпечує скорочення обчислень і здешевлення апаратної реалізації системи [1, с. 202].

Як глобальний метод оптимізації використовувався ГА, який мав одноточкове схрещування, селективний вибір батьків, формування нової популяції із витісненням. Кількість поколінь обмежувалось на рівні 100, а розмір популяції – 30.

Критерієм глобальної оптимізації було обрано комбінований критерій [13, с. 332]:

$$C_{комб} = 0,2 \cdot C_{рег} + 0,8 \cdot C_{зм}, \quad (15)$$

де  $C_{рег}$  – критерій регулярності, що обчислюється на перевіірочній вибірці:

$$C_{рег} = \frac{\|Y_B^*[m+n] - \hat{Y}_B[m+n]\|}{\|Y_B^*[m+n]\|}, \quad (16)$$

$C_{зм}$  – критерій незміщенності (мінімуму зсуву), заснований на аналізі рішень:

$$C_{зм} = \frac{\|\hat{Y}_A[m+n] - \hat{Y}_B[m+n]\|}{\|Y^*[m+n]\|}; \quad (17)$$

$A, B$  – навчальна та перевіірочна вибірки обсягом  $N=A+B$ .

При глобальній оптимізації варіювались наступні параметри ПФ:

– для НМ ПФ:  $r_s \subset Q$  – розмір прихованого шару;  $F_l$  – функція активації нейронів прихованого шару;  $M_{po}$  – метод параметричної оптимізації (функція навчання НМ);

– для НН ПФ:  $L_{l,k}$  – функція належності нечіткого правила  $l$  входу  $k$ ;  $M_{po}$  – метод параметричної оптимізації (функція навчання НМ Anfis);

– для НВ ПФ:  $\psi$  – тип базисного вейвлету;  $L$  – кількість рівнів розкладання;  $F_{NN}$  – узагальнена функція перетворення НМ.

Результати глобальної оптимізації параметрів ПФ наведено на рис. 2.

Встановлено, що для НМ ПФ мінімуму критерію (15) ( $C_{комб} = 0,042$ ) відповідає каскадна НМ прямого поширення із 33 нейронами у прихованому шарі, функцією активації прихованого шару – конкуруючою з м'яким максимумом, і яка навчена алгоритмом Полака-Рібейри.

Встановлено, що для НН ПФ мінімуму критерію (15) ( $C_{комб} = 0,049$ ) відповідає НМ Anfis з функцією належності – добуток двох сигмоїдальних функцій, і яка навчена алгоритмом зворотного поширення похибки.

Встановлено, що для НВ ПФ мінімуму критерію (15) ( $C_{комб} = 0,034$ ) відповідає використання вейвлет типу сімлет 5-го порядку з каскадною НМ прямого поширення.

Похибки прогнозування вхідного МС з шумом для різних типів ПФ представлено у табл. 1.

Таблиця 1  
Похибки прогнозування МС

Тип ПФ			
лінійний	НМ	нейронечіткий	НВ
0,013	0,016	0,048	0,008

**Висновки.** Використання нейровейвлетного алгоритму прогнозування підвищує ефективність системи конфіденційного зв'язку по мережі з виділеними каналами за рахунок зниження похибки прогнозування мовного сигналу порівняно з лінійним прогнозуванням. Нейромережевий алгоритм за точністю прогнозування порівняний з лінійним, а нейронечіткий алгоритм поступається лінійному.

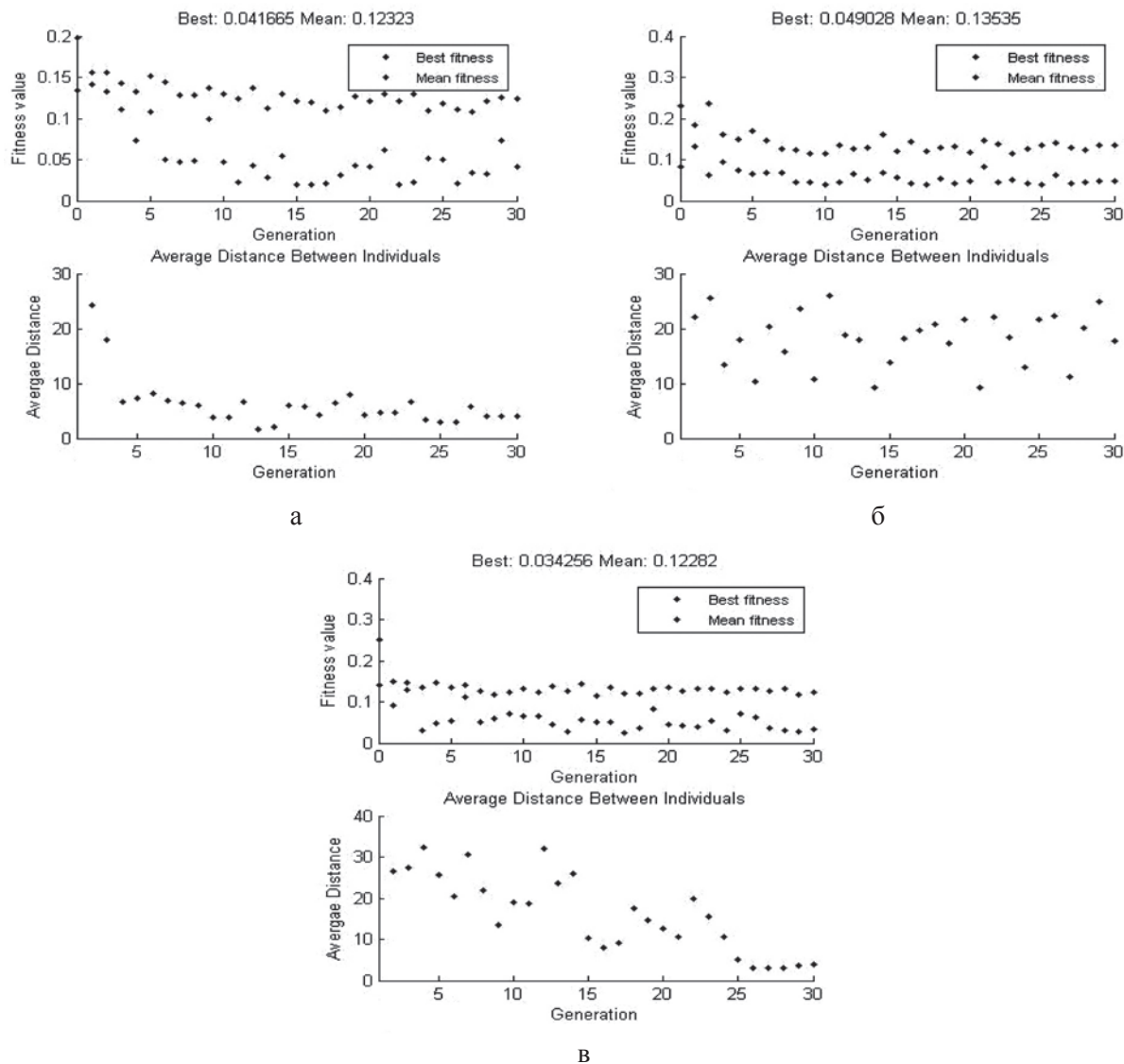


Рис. 2. Результати оптимізації параметрів НМ ПФ (а), НН ПФ (б) та НВ ПФ (в) для передбачення мовного сигналу за допомогою ГА

Статистична перевірка за критерієм знаків підтвердила значимість отриманих результатів з вірогідністю 0,99.

Інтелектуальні алгоритми прогнозування мають значно складнішу технічну реалізацію ніж лінійний алгоритм.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на спрощення технічної реалізації алгоритму нейровейвлетного прогнозування мовного сигналу в системі конфіденційного зв'язку по мережі з виділеними каналами.

#### Список літератури:

1. Корниенко В.И., Герасина А.В. Линейное предсказание в системе конфиденциальной телефонной связи по АТМ-сети. *Системи обробки інформації*. 2013. № 1 (108). С. 200–203.
2. Валид Ильтаф. Эффективный механизм передачи данных в опорных IP-сетях. *Беспроводные технологии*. 2017. № 2. С. 14–20.
3. Rohit Mishra, Hifzan Ahmad. Comparative Analysis of Conventional IP Network and MPLS Network over VoIP Application. *International Journal of Computer Sciences and Information Technologies*. 2014. Vol. 5 (3). P. 4496–4499.
4. Гольдштейн А.Б., Никитин А.В., Шкрыль А.А. Транспортные сети IP/MPLS. Технология и протоколы. СПбГУТ. Санкт-Петербург, 2016. 80 с.

5. Корнієнко В.І., Будкова Л.В. Ідентифікація і прогнозування трафіку в телекомунікаційних системах. *Системи обробки інформації*. 2011. № 8 (98). С. 208–211.
6. Будкова Л.В., Корнієнко В.І. Моделювання самоподібного трафіку в інформаційних телекомунікаційних мережах. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2013. № 4 (81). С. 101–108.
7. Герасина А.В. Адаптивное нечеткое прогнозирование трафика в информационных телекоммуникационных сетях. *Системи обробки інформації*. 2013. № 9 (116). С. 141–145.
8. Беллами Дж. Цифровая телефония / пер. с англ. Москва : Эко-Тренд, 2004. 640 с.
9. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. Москва : Техносфера, 2013. 528 с.
10. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Москва : Горячая линия-Телеком, 2006. 452 с.
11. Корнієнко В.І., Гусев О.Ю., Герасина О.В. Інтелектуальне моделювання нелінійних динамічних процесів в системах керування, кібербезпеки, телекомунікацій : підручник. Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 536 с.
12. Meyer Y. Wavelets, generalized white noise and fractional integration: the synthesis of fractional Brownian motion. *The Journal of Fourier Analysis and Applications*. 1995. № 5 (5). P. 465–494.
13. Ivakhnenko A.G., Madala H.R. Inductive learning algorithms for complex systems modeling. London, Tokyo : CRC Press, 1994. 384 p.

**Korniienko V.I., Gerasina O.V., Gusev O.Yu., Gorev V.M., Matsiuk S.M. INTELLECTUAL FORECASTING OF SPEECH SIGNAL IN THE SYSTEM OF CONFIDENTIAL COMMUNICATION ON THE NETWORK WITH DEDICATED CHANNELS**

*The article proposes a mechanism for intelligent prediction of speech signal in a confidential telephone system. The following were studied as adaptive predictive filters: the neural filter based on a neural network of direct propagation with a hidden layer, the neurofuzzy filter based on an adaptive neural system of fuzzy inference, and the neurowavelet filter based on direct discrete wavelet transform. To find (adjust) the optimal (for a specific task) parameters of predictive filters, the use of global optimization methods, in particular the genetic algorithm, is justified. By modeling in the Matlab environment with the help of standard and developed programs the accuracy of prediction of the offered intelligent forecasting filters in the system of confidential telephone communication on a network with the allocated channels is estimated. The prediction errors of the input speech signal with noise for the obtained intelligent prediction filters with optimal parameters and a linear prediction filter with a finite pulse response are estimated. The adequacy of the obtained results by the criterion of signs is proved. It has been found that the use of a neuro-wavelet prediction algorithm increases the efficiency of a confidential communication system over a network with dedicated channels by reducing the prediction error of the speech signal compared to linear prediction. In this case, the neural network algorithm for the accuracy of prediction is comparable to the linear, and the fuzzy algorithm is inferior to the linear. Further research should be aimed at simplifying the technical implementation of intelligent algorithms for predicting the speech signal in a confidential communication system over a network with dedicated channels.*

**Key words:** confidential communication, network with dedicated channels, neural networks, fuzzy logic, wavelet transform, genetic algorithm, predictive filter.

**Корчак О.В.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Крутін Я.В.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Резніков М.І.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Фелінський Г.С.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## МОДЕЛЮВАННЯ НАДШИРОКОСМУГОВИХ ВКР ПІДСИЛЮВАЧІВ ДЛЯ ТЕРАБІТНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Представлено результати моделювання широкосмугових волоконних ВКР підсилювачів із рівномірною смугою підсилення, що охоплює C+L телекомунікаційні вікна, у стандартних волокнах типу True Wave RS та DCF. ВКР підсилювач із багатохвильовим помпуванням активним середовищем якого є одномодове волокно з компенсованою дисперсією (DCF волокно) аналізується порівняно з подібним, раніше нами розглянутим, ВКР підсилювачем із багатохвильовим помпуванням активним середовищем якого є типове телекомунікаційне волокно True Wave RS. Запропонована спрощена модель аналітичного опису надшироко-смугового ВКР підсилювача з багатохвильовим помпуванням, яка дозволяє швидко отримувати теоретичні оцінки основних параметрів робочої смуги довжин хвилі ВКРП з довільною кількістю лазерів накачки у багатохвильовому джерелі помпування. Проблема моделювання рівномірної смуги робочих частот ВКР підсилювача у C+L телекомунікаційних вікнах в нашій роботі вирішувалась у два етапи – спочатку отримано майже точну аналітичну апроксимацію профілю ВКР підсилення в області частот стоксового зсуву понад 20 ТГц, яка на другому етапі суттєво спрощує вирівнювання смуги підсилення у конфігурації з багатьма довжинами хвилі накачки. У роботі наводяться числові дані багатомодової гаусової декомпозиції профілю ВКР підсилення стандартних волокон типу True Wave RS та DCF. Продемонстровано, що профіль ВКР підсилення, тобто розподіл коефіцієнта підсилення оптичного випромінювання за областю частот стоксового зсуву при комбінаційному розсіянні є основною характеристикою ВКРП. Представлено оптимальні значення параметрів джерел помпування, а саме спектрального розподілу довжин хвилі та відносної потужності всіх джерел накачки, за яких можна отримати мінімальну нерівномірність смуги підсилення. Показано, що майже точне наближення ВКР профілю підсилення може бути отриманим у аналітичній формі для волокон типу True Wave RS та DCF на всьому робочому діапазоні до 20 ТГц. Аналітичний вигляд профілю підсилення значно спрощує процедуру моделювання головних параметрів підсилення для ВКРП з багатохвильовим помпуванням для 3, 4, 5 та 6 довжин хвиль джерел помпування. Показано, що нерівномірність підсилення для обох типів волокон можна різко зменшити до майже 0,2 дБ шляхом збільшення кількості джерел накачування від 3-х до 6-ти, проте подальше їх збільшення майже не впливає на покращення нерівномірності смуги підсилення.

**Ключові слова:** оптичне підсилення, вимушене комбінаційне розсіювання (ВКР), волоконний ВКР підсилювач, профіль ВКР підсилення, гаусова декомпозиція, моделювання волоконних підсилювачів, багатохвильова накачка.

**Постановка проблеми** підвищення дальності та пропускної здатності сучасних телекомунікаційних систем у загальному вигляді зараз вирішується шляхом освоєння нових вікон прозорості оптичних волокон із застосуванням нових технологічних підходів, зокрема підсилення оптичних сигналів методом вимушеного комбінаційного розсіювання (ВКР). Серед важливих фундаментальних та

прикладних завдань такого освоєння центральне місце займає вдосконалення параметрів ВКР підсилювачів світла із підвищеною рівномірністю розширеної понад 10 ТГц смуги робочих частот.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одна з перших робіт (початок 70-х років минулого століття), яка була присвячена дослідженню підсилення в оптичних волокнах на ефекті



вимушеного комбінаційного розсіювання (далі – ВКР) належить Столену зі співавторами [1], яким вдалося отримати оптичне випромінювання завдяки ВКР з накачкою від Nd:YAG лазера на довжині хвилі 532 нм у скляному волокні, а також спрогнозувати здатність ВКР підсилувачів до широкосмугового підсилення світла. Проте, протягом наступних майже 25-ти років ВКР підсилення не знаходило широкого застосування через те, що вважалося, що ВКРП мають занадто високий коефіцієнт шуму, а при багатоканальному підсиленні виникають нелінійні спотворення. Застосування ВКР підсилення світла набуло подальшого розвитку тільки в середині 90-х років ХХ століття з появою нових типів волокон та джерел оптичного помпування. Зокрема, з'явилися одномодові кварцові волокна з низькими оптичними втратами – до 0,17 дБ/км [2]. Саме отримання волокон з високими значеннями КР підсилення та низькими втратами дало новий імпульс для розробки ВКРП. Наприклад, більш ніж десятикратне збільшення ефективності підсилення у порівнянні зі стандартним одномодовим волокном було отримано у оптичних волокнах із компенсацією дисперсії. Крім того, за рахунок розвитку сучасних технологій виготовлення оптичних волокон продовжують з'являтися нові зразки волокон для ВКР підсилення з різними профілями та нахилами дисперсії.

Завдяки великій пропускній здатності, оптичне волокно і досі вважається найкращим середовищем для підсилення та передачі значних потоків інформації (десятки Тб/с) на короткі та далекі відстані (до 12000 км) [3].

Згідно з останніми експериментальними даними через оптичне волокно можна передавати сигнал зі швидкістю 319 Тб/с на відстань 3001 км [4].

**Постановка завдання.** Зі створенням ВКРП на основі одномодового кварцового волокна з'явилася унікальна можливість забезпечити робочу смугу підсилення понад 12 ТГц в області сумарного C+L телекомунікаційного вікна, оскільки власне сама спектральна ширина окремого профілю ВКР підсилення становить не менше 5 ТГц [5–7]. За умови застосування для накачки не однієї, а одразу декількох оптичних хвиль, це дозволить розширити смугу підсилення на весь діапазон 1530–1625 нм. При цьому можна забезпечити високий ступінь рівномірності в робочій області спектру підсилення сигналів. Мінімізація нерівномірності спектру підсилення є важливою технічною задачею, а її розв'язок можна отримати шляхом оптимального вибору спектрального розподілу накачок, а саме їх довжин хвилі та потуж-

ностей на вході волокна. Водночас, таке збільшення джерел помпування у ВКРП призводить до суттєвого перерозподілу інтенсивності накачок за рахунок нелінійної взаємодії між ними та виникненню інтерференційних завад. Для зменшення впливу цих небажаних ефектів слід оптимізувати також і кількість застосованих накачок. Зважаючи на складність профілів ВКР підсилення, що є індивідуальними для кожного типу волокон та мають вигляд нерівномірного континууму, виникають окремі задачі аналітичної апроксимації смуги підсилення кожного волокна. Практика показує, що моделювання ВКРП з багатохвильовим помпуванням дає задовільні результати тільки при точному відтворенні експериментального профілю ВКР підсилення. Отже, спектральна декомпозиція як метод аналітичної апроксимації спектру коефіцієнта ВКР підсилення є першочерговим кроком для вирішення наступних важливих наукових і практичних проблем створення ВКРП.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналітичну апроксимацію експериментального профілю ВКР підсилення в нашій роботі проведено методом гаусової декомпозиції. Така процедура дозволяє нормовані профілі ВКР підсилення різних волокон описати узагальненим форм-фактором, тобто відповідною аналітичною функцією частоти  $\varphi(\omega)$ .

#### **Результати гаусової декомпозиції**

Розклад профілю ВКР підсилення на кілька гаусових компонент [10] можна подати у вигляді:

$$g_R(\omega) = g_{Rmax} \cdot \sum_{i=1}^{N_m} A_i \exp \left[ -\frac{(\omega - \omega_{v,i})^2}{\Gamma_i^2} \right] = g_{Rmax} \cdot \varphi(\omega), \quad (1)$$

де  $\varphi(\omega)$  – аналітична функція від частоти  $\omega$ , яка є нормованим профілем ВКР підсилення,  $(g_{Rmax})$  – максимальне значення коефіцієнта ВКР підсилення;  $N_m$  – кількість компонент;  $A_i$  та  $\omega_{v,i}$  – відповідно амплітуда та центральна частота  $i$ -ої гаусової компоненти,  $\Gamma_i = \Delta\omega_i / (2\sqrt{\ln 2}) \approx 0,6\Delta\omega_i$ , де  $\omega_i$  – повна ширина на половині від максимуму для  $i$ -ої гаусової профілю, яку звичайно використовують у спектроскопії.

Основним завданням декомпозиції є досягнення максимальної відповідності форм-фактора  $\varphi(\omega)$  експериментальному профілю ВКР підсилення з оптимальним набором  $3 \times N$  параметрів формули (1) з використанням комп'ютерної процедури нелінійної регресії за методом Левенберга-Марквардта. Цей метод [8; 9] використовує алгоритм пошуку мінімуму суми найменших квадратів методом найшвидшого спуску з квадратичною мінімізацією відхилень експериментальних точок

від функції  $\varphi(\omega)$  яка визначається формулою (1).

У прикладному аспекті мета декомпозиції полягала у побудові, наскільки це можливо, найпростішої функції  $g_R(\omega)$ , яка відповідала б експериментальному [6] профілю підсилення з максимальною точністю.

Отримано апроксимацію профілю коефіцієнта ВКР підсилення у волокні з компенсованою дисперсією (DCF) на основі 8-ми компонентної суперпозиції гаусових функцій. При цьому середньоквадратична похибка відхилення апроксимуючої кривої від експериментальної не перевищила  $\sim 2,0 \cdot 10^{-3} \%$ . Для випадку волокна TrueWave RS оптимальна кількість складових для спектральної декомпозиції становить 10, а точність апроксимації становить  $\sim 1,5 \cdot 10^{-2} \%$ .

Майже точне значення вимірних спектрів ВКР підсилення від 25 до 750  $\text{см}^{-1}$  для оптичних волокон True Wave RS та DCF отримані нами на основі оптимального набору параметрів, представлених в Таблиці 1.

**ВКР профіль підсилення в аналітичній формі**

За даними із Таблиці 1 та згідно з (1) аналітичний вираз нормованої функції  $\varphi_1(\omega)$  профілю ВКР підсилення True Wave RS волокна, має вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_1(\omega) = & 0,1 \cdot \exp[-1,16 \cdot (\omega - 1,9)^2] + 0,17 \cdot \exp[-0,37 \cdot (\omega - 3,4)^2] + \\ & + 0,22 \cdot \exp[-0,13 \cdot (\omega - 6,1)^2] + 0,69 \cdot \exp[-0,08 \cdot (\omega - 11,2)^2] + \\ & + 0,55 \cdot \exp[-0,22 \cdot (\omega - 14,0)^2] + 0,21 \cdot \exp[-3,08 \cdot (\omega - 14,9)^2] + \\ & + 0,25 \cdot \exp[-1,32 \cdot (\omega - 18,1)^2] + 0,08 \cdot \exp[-1,93 \cdot (\omega - 16,7)^2] + \\ & + 0,05 \cdot \exp[-1,09 \cdot (\omega - 19,6)^2] + 0,11 \cdot \exp[-0,09 \cdot (\omega - 21,1)^2], \end{aligned} \quad (2)$$

За даними із Таблиці 1 та згідно до (1), аналітичний вираз нормованої функції  $\varphi_2(\omega)$  профілю ВКР підсилення DCF волокна, має вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi_2(\omega) = & 0,06 \cdot \exp[-1,52 \cdot (\omega - 1,7)^2] + 0,16 \cdot \exp[-0,32 \cdot (\omega - 3,0)^2] + \\ & + 0,24 \cdot \exp[-0,10 \cdot (\omega - 6,1)^2] + 0,59 \cdot \exp[-0,08 \cdot (\omega - 11,3)^2] + \\ & + 0,58 \cdot \exp[-0,18 \cdot (\omega - 13,8)^2] + 0,10 \cdot \exp[-2,10 \cdot (\omega - 14,7)^2] + \\ & + 0,17 \cdot \exp[-0,69 \cdot (\omega - 17,6)^2] + 0,17 \cdot \exp[-0,09 \cdot (\omega - 20,2)^2], \end{aligned} \quad (3)$$

причому числові коефіцієнти в цьому виразі мають найбільш компактний вигляд, якщо центральні частоти  $\omega_{vi}$  та сталі загасання  $\Gamma_i$  в (1) задавати в одиницях ТГц.

Таким чином, з використанням функцій (2, 3) ми суттєво спрощуємо моделювання надширококутових ВКРП з можливістю здійснення прямих теоретичних оцінок величини мінімально досяжної нерівномірності у заданій смузі підсилення.

**Багатохвильове помпування та нерівномірність підсилення ВКРП.**

Аналіз можливостей вирівнювання смуги підсилення у C+L вікнах ми провели шляхом варіації

Таблиця 1

**Параметри декомпозиції профілів ВКР підсилення на 10 і 8 гаусових компонент для волокон True Wave RS та DCF відповідно в області стоксового зсуву від 20  $\text{см}^{-1}$  до 800  $\text{см}^{-1}$  (0,6 – 24 ТГц)**

№ моди	<i>True Wave RS</i> $g_{Rmax} = 0,74 \text{ (Вт}\times\text{км)}^{-1}$					<i>DCF</i> $g_{Rmax} = 3,1 \text{ (Вт}\times\text{км)}^{-1}$				
	$A_i$	$\omega_i$ [ $\text{см}^{-1}$ ]	$\Gamma_i$ [ $\text{см}^{-1}$ ]	$\omega_i$ [ТГц]	$\Gamma_i$ [ТГц]	$A_i$	$\omega_i$ [ $\text{см}^{-1}$ ]	$\Gamma_i$ [ $\text{см}^{-1}$ ]	$\omega_i$ [ТГц]	$\Gamma_i$ [ТГц]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$G_1$	0,10	64	31	1,9	0,9	0,06	55	27	1,7	0,8
$G_2$	0,17	113	55	3,4	1,7	0,16	100	59	3,0	1,8
$G_3$	0,22	204	93	6,1	2,8	0,24	203	108	6,1	3,2
$G_4$	0,69	374	121	11,2	3,6	0,59	378	117	11,3	3,5
$G_5$	0,55	465	71	14,0	2,1	0,58	460	79	13,8	2,4
$G_6$	0,21	496	19	14,9	0,6	0,10	489	23	14,7	0,7
$G_7$	0,25	602	29	18,1	0,9	0,17	585	40	17,6	1,2
$G_8$	0,08	558	24	16,7	0,7	0,17	672	111	20,2	3,3
$G_9$	0,05	652	32	19,6	1,0					
$G_{10}$	0,11	703	111	21,1	3,3					

параметрів багатохвильової накачки, при цьому довжини хвилі лазерів накачки з метою вирівнювання робочої смуги підсилення розташовувалися не рівномірно, а підбиралися спеціальним чином.

Оскільки максимуми коефіцієнта підсилення для волокон DCF й True Wave RS розташовані на достатньо близьких частотах стоксового зсуву  $440 \text{ см}^{-1}$  ( $13,2 \text{ ТГц}$ ) та  $447 \text{ см}^{-1}$  ( $13,4 \text{ ТГц}$ ) відповідно, тому для формування оптимальної смуги підсилення у C+L телекомунікаційних вікнах всі довжини хвилі накачки для них повинні належати інтервалам:  $\lambda_{p,j} \in [1,425; 1,515] \text{ мкм}$  – для волокна DCF і  $\lambda_{p,j} \in [1,422; 1,515] \text{ мкм}$  – для волокна True Wave RS.

Для випадку  $3\lambda$  джерел помпування, за рівної вихідної потужності всіх 3 лазерів накачки (рис. 2а, б) отримано значну нерівномірність

смуги підсилення зі спадом 1,3 дБ для волокна DCF й 1,7 дБ – для волокна True Wave RS.

Результатами вирівнювання смуги підсилення шляхом регулювання вихідної потужності лазерів накачки (рис. 2 в, г) є можливість забезпечити широку смугу підсилення в повному C+L вікні прозорості з нерівномірністю в межах 0,9 дБ для волокна DCF та 1,2 дБ – для волокна True Wave RS.

При оптимізації схеми помпування ВКРП довжини хвилі  $\{\lambda_{p,j}\}$  накачки розташовуються більш щільно в короткохвильовій частині загальної смуги підсилення. Ретельному вибору підлягають також і компоненти вектора  $\{a_j\}$ , що відповідають значенням відносної потужності випромінювання кожного лазера накачки.

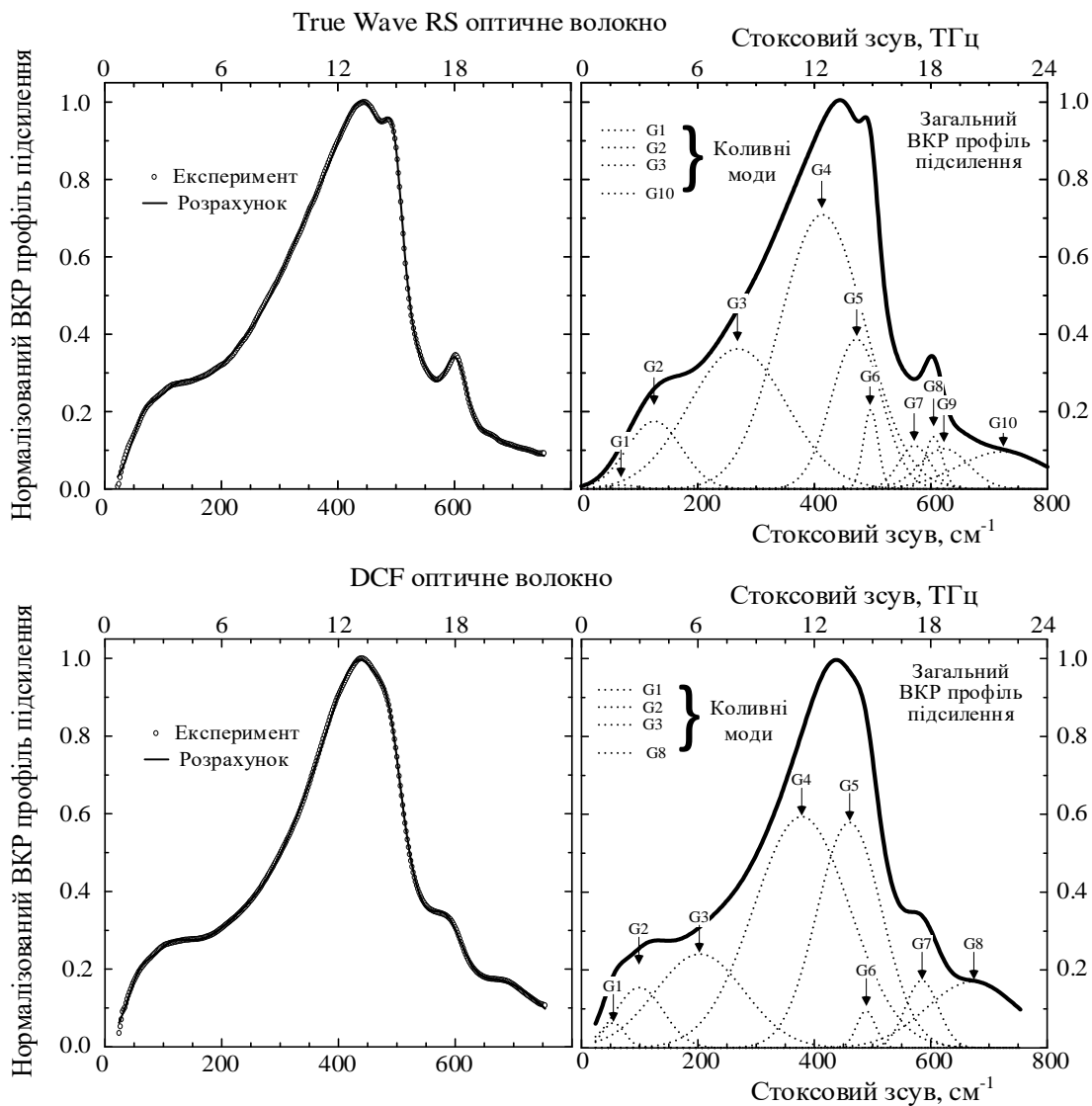


Рис. 1. Результати декомпозиції нормованих профілів ВКР підсилення в оптичних волокнах True Wave RS та DCF

Порівнювальна діаграма розподілу вихідної потужності лазерів накачки за довжинами хвиль в області помпування подано на рис. 2 д.

Для випадку 4λ джерел помпування за допомогою регулювання вихідної потужності лазерів накачки (рис. 3в, г) досягається зменшення нерівномірності смуги підсилення на повному C+L вікні прозорості з 1,8 дБ до 0,4 дБ для волокна DCF, а також із 2,7 дБ до 0,6 дБ – для волокна True Wave RS.

Суттєве вирівнювання смуги підсилення за рахунок регулювання вихідної потужності лазерів накачки досягається для 5λ джерел помпування (рис. 4в, г), а саме: до 0,4 дБ для волокна DCF, а для волокна True Wave RS – до 0,6 дБ.

З табл. 2 видно, що для ВКРП на основі обох типів волокон з багатохвильовим помпуванням у всьому діапазоні C+L телекомунікаційних вікон мінімально розраховану нерівномірність підсилення на рівні ~0,25 дБ можливо отримати для 6-ти довжин хвиль джерел помпування.

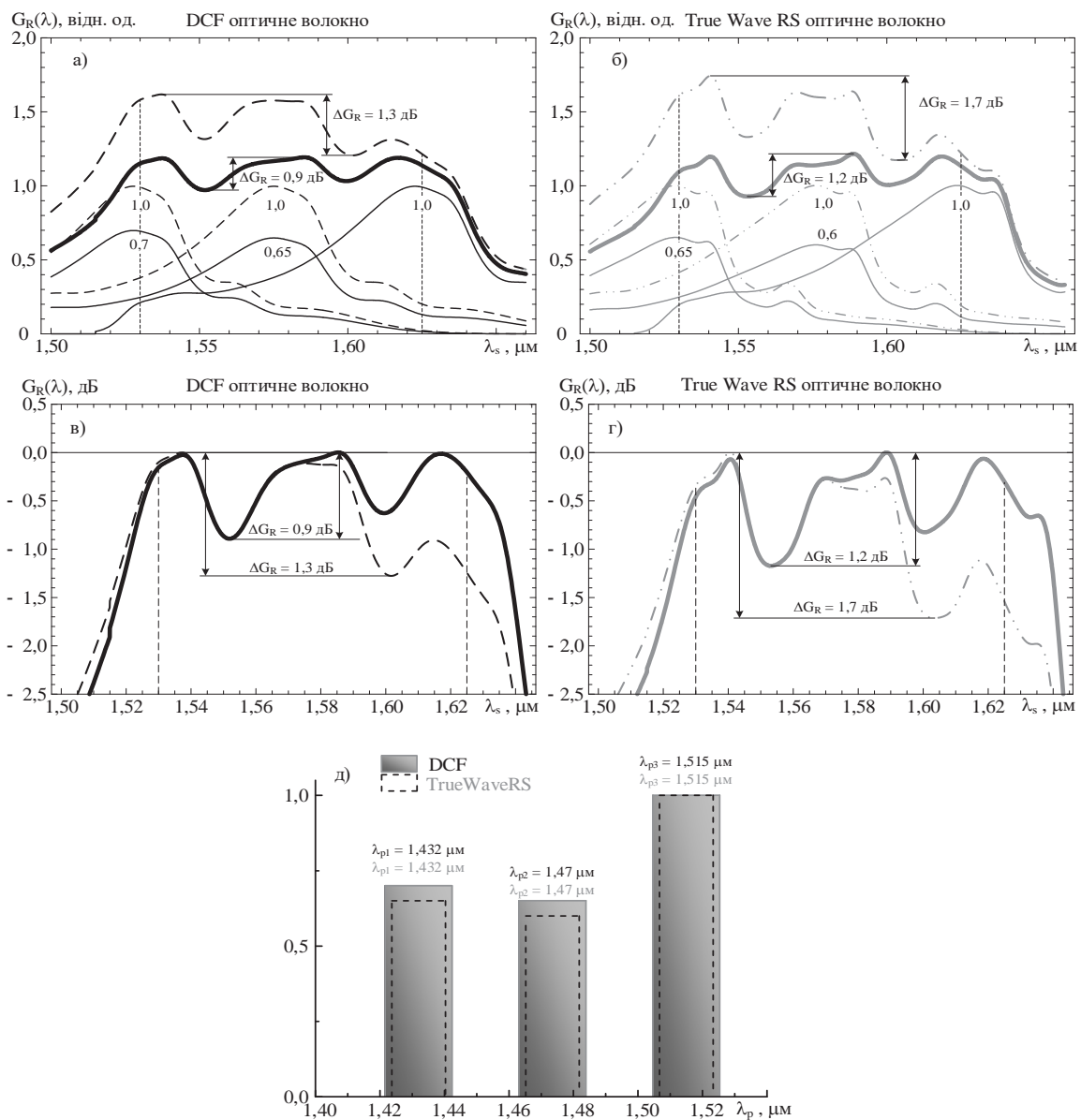
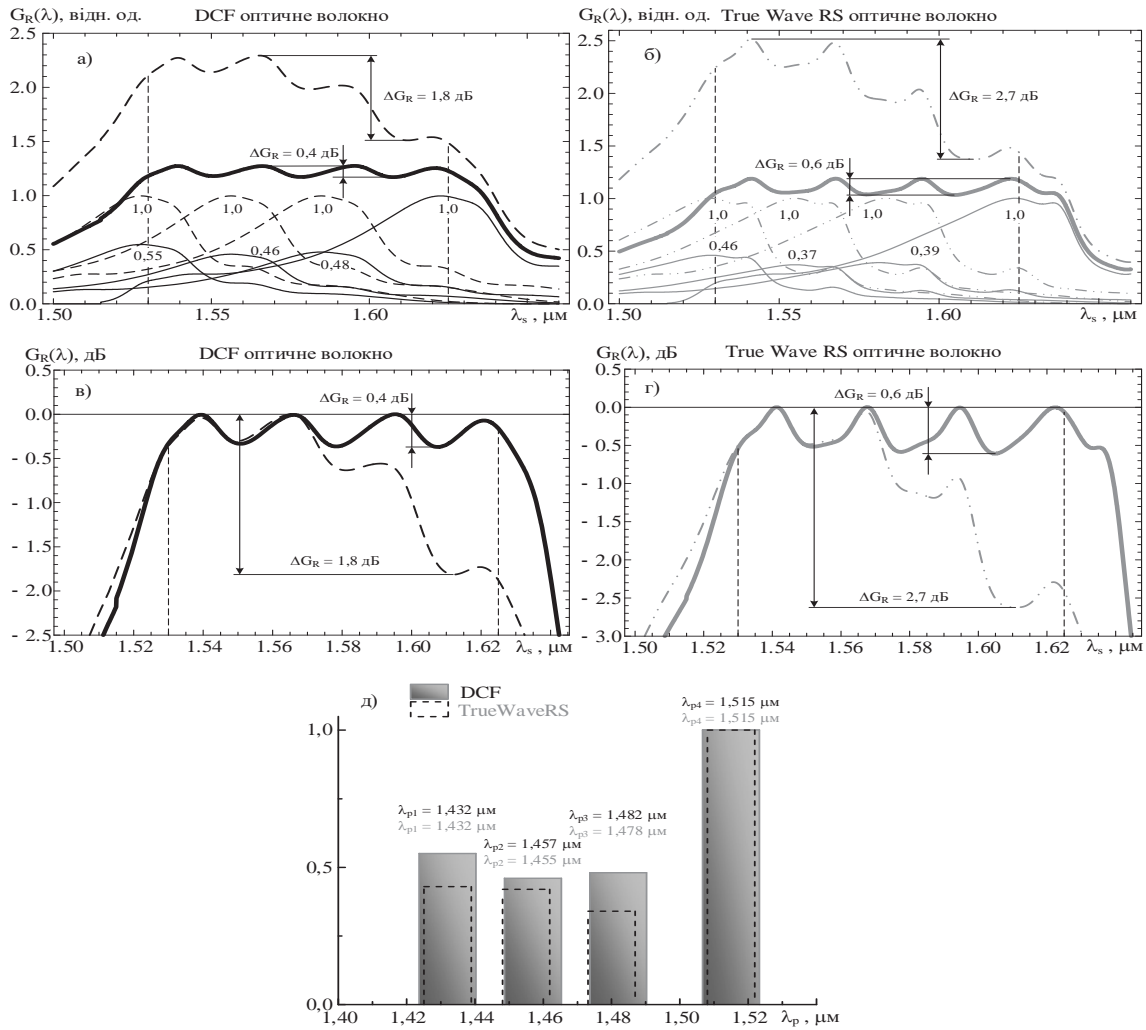


Рис. 2. Результати моделювання рівномірної смуги підсилення ВКРП на основі оптичних волокон DCF і True wave RS з 3λ помпуванням у діапазоні C+L телекомунікаційних вікон

- а) для волокна DCF в лінійному масштабі;
- б) для волокна True wave RS в лінійному масштабі;
- в) для волокна DCF в логарифмічному масштабі;
- г) для волокна True wave RS в логарифмічному масштабі;
- д) діаграма розподілу вихідної потужності лазерів накачки за довжинами хвиль в області помпування.



**Рис. 3.** Результати моделювання рівномірної смуги підсилення ВКРП на основі оптичних волокон DCF та True wave RS з 4λ помпуюванням у діапазоні C+L телекомунікаційних вікон  
 а) для волокна DCF у лінійному масштабі;  
 б) для волокна True wave RS у лінійному масштабі;  
 в) для волокна DCF у логарифмічному масштабі;  
 г) для волокна True wave RS у логарифмічному масштабі;  
 д) діаграма розподілу вихідної потужності лазерів накачки за довжинами хвилі в області помпуювання.

Таблиця 2

**Результати оптимізації нерівномірності смуги підсилення, що перекриває C+L вікна прозорості (від 1530 нм до 1625 нм) для ВКРП на оптичних волокнах True Wave RS та DCF**

<i>M</i>	Оптимальні значення відносних потужностей $a_j$ та довжин хвилі $\lambda_{pi}$ накачок у вигляді <i>M</i> -вимірних векторів:	$G_{Rmax}$ (Вт·км) <sup>-1</sup>	$\Delta G_{Rmax}$ дБ
для волокна True Wave RS			
3λ	$a_j$ $\lambda_{pi}$ МКМ (0,65; 0,6; 1) (1,432; 1,47; 1,515)	0,90	1,2
4λ	$a_j$ $\lambda_{pi}$ МКМ (0,46; 0,37; 0,39; 1) (1,432; 1,455; 1,478; 1,515)	0,88	0,6
5λ	$a_j$ $\lambda_{pi}$ МКМ (0,44; 0,27; 0,35; 0,3; 1) (1,432; 1,442; 1,462; 1,482; 1,515)	0,87	0,4
6λ	$a_j$ $\lambda_{pi}$ МКМ (0,33; 0,29; 0,23; 0,27; 0,25; 1) (1,422; 1,436; 1,454; 1,469; 1,485; 1,515)	0,86	0,25

$M$	Оптимальні значення відносних потужностей $a_j$ та довжин хвилі $\lambda_{pi}$ накачок у вигляді $M$ -вимірних векторів: для волокна DCF	$G_{Rmax}$ (Вт·км) <sup>-1</sup>	$\Delta G_{Rmax}$ дБ
3λ	$a_j$ (0,7; 0,65; 1) $\lambda_{pi}$ (1,432; 1,47; 1,515) МКМ	3,69	0,9
4λ	$a_j$ (0,55; 0,46; 0,48; 1) $\lambda_{pi}$ (1,432; 1,457; 1,482; 1,515) МКМ	3,94	0,4
5λ	$a_j$ (0,5; 0,3; 0,4; 0,4; 1) $\lambda_{pi}$ (1,432; 1,45; 1,467; 1,487; 1,515) МКМ	4,15	0,4
6λ	$a_j$ (0,3; 0,32; 0,37; 0,3; 0,23; 1) $\lambda_{pi}$ (1,425; 1,435; 1,455; 1,475; 1,485; 1,515) МКМ	3,84	0,25

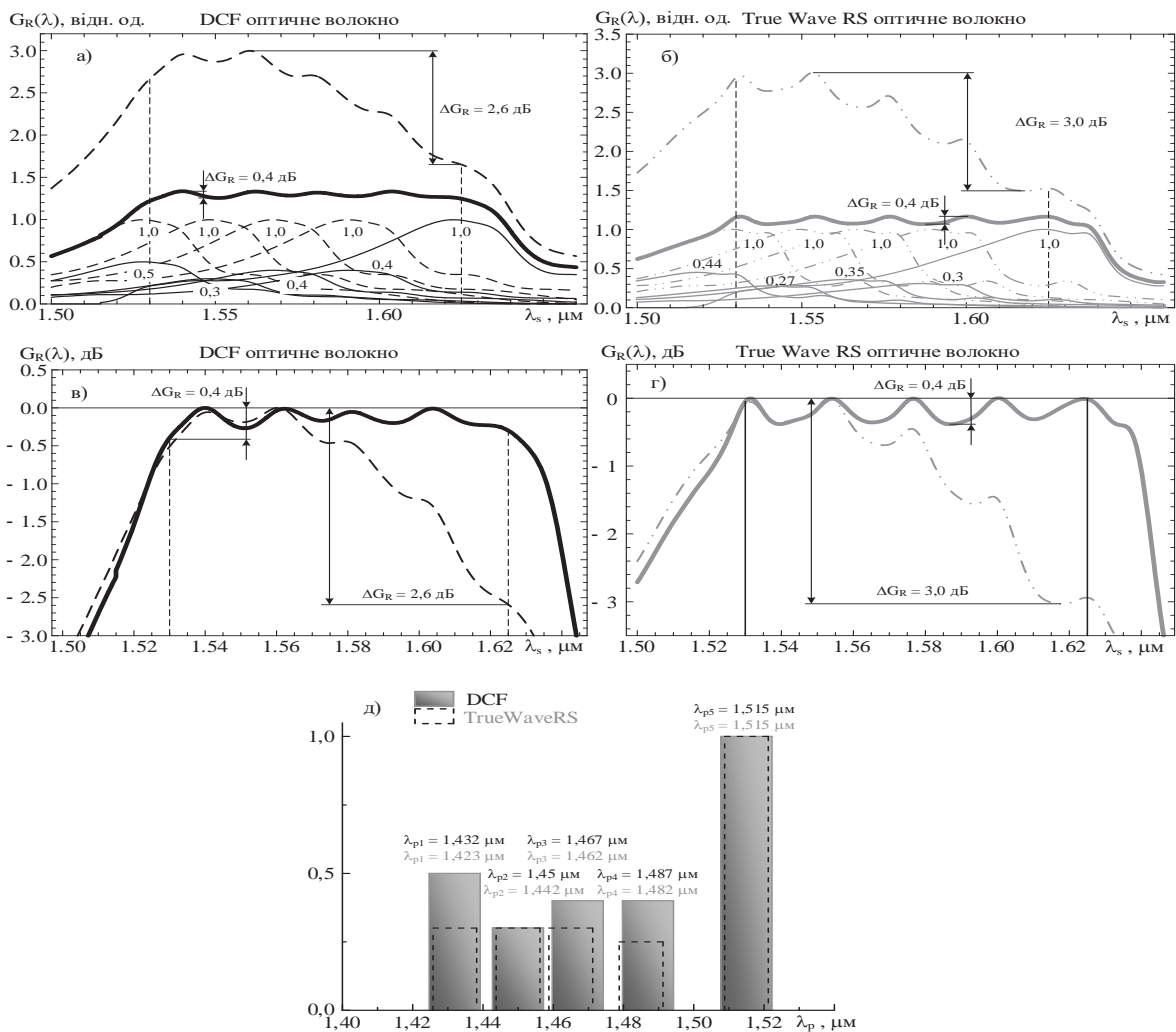


Рис. 4. Результати моделювання рівномірної смуги підсилення ВКРП на основі оптичних волокон DCF та True wave RS з 5λ помпуванням у діапазоні C+L телекомунікаційних вікон

- а) для волокна DCF у лінійному масштабі;
- б) для волокна True wave RS у лінійному масштабі;
- в) для волокна DCF у логарифмічному масштабі;
- г) для волокна True wave RS у логарифмічному масштабі;
- д) діаграма розподілу вихідної потужності лазерів накачки за довжинами хвилі в області помпування.
- бλ джерел помпування, як видно з рис.5в, г, за оптимального вибору потужності та спектрального розподілу лазерів накачки дозволяють забезпечити нерівномірність смуги підсилення в межах 0,25 дБ для обох типів волокон.

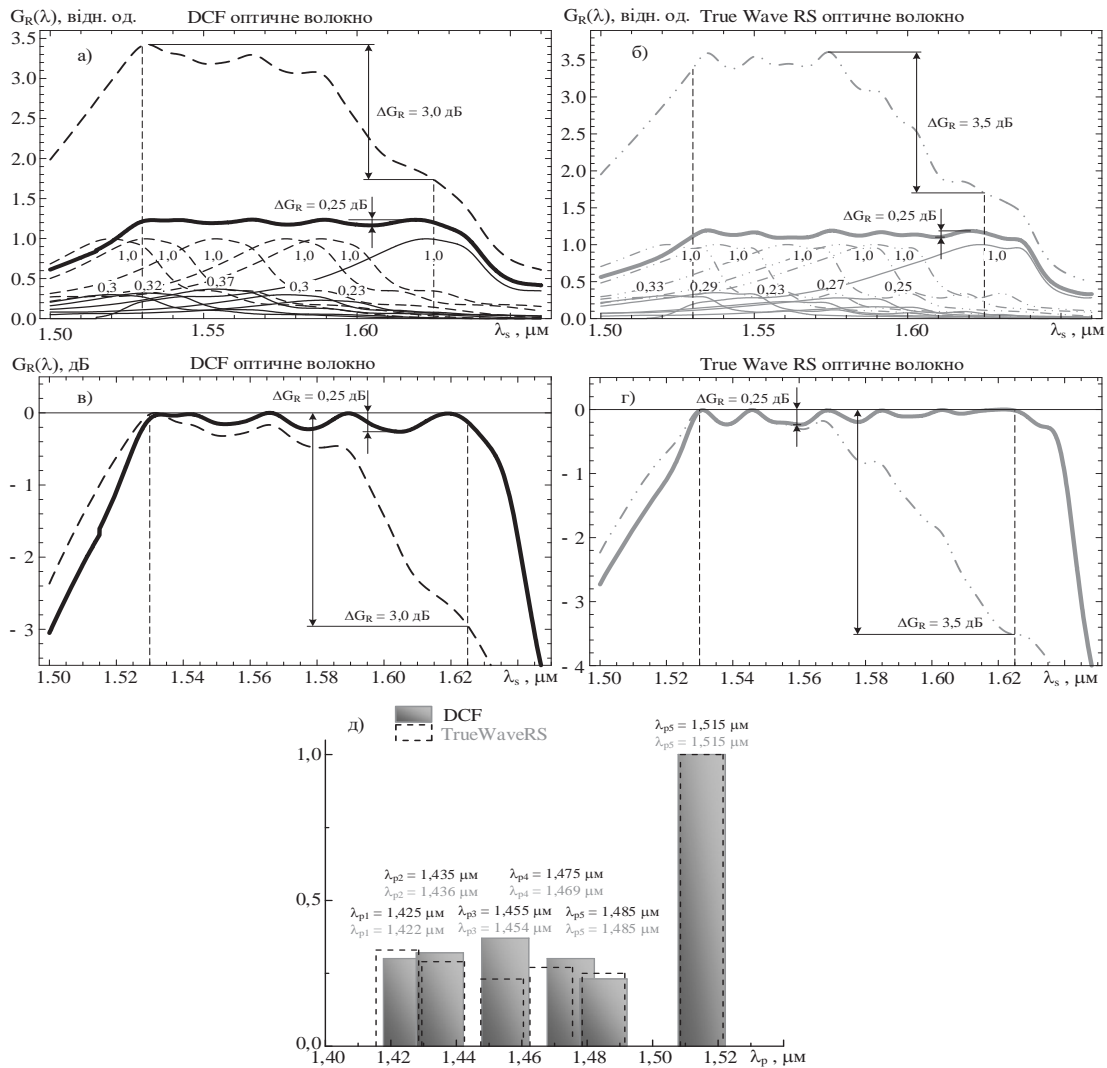


Рис. 5. Результати моделювання рівномірної смуги підсилення ВКРП на основі оптичних волокон DCF та True wave RS з 6 $\lambda$  помпуюванням у діапазоні C+L телекомунікаційних вікон

- а) для волокна DCF у лінійному масштабі;
- б) для волокна True wave RS у лінійному масштабі;
- в) для волокна DCF у логарифмічному масштабі;
- г) для волокна True wave RS у логарифмічному масштабі;
- д) діаграма розподілу вихідної потужності лазерів накачки за довжинами хвилі в області помпуювання.

**Висновки.** Шляхом оптимізації основних параметрів джерел помпуювання (спектрального розподілу довжин хвилі та відносної потужності лазерів накачки), що містять від 3-х до 6-ти лазерів накачки, в межах повного C+L вікна прозорості для волокна DCF було досягнуто зменшення нерівномірності смуги підсилення з 0,9 дБ до 0,25 дБ, а для волокна True Wave RS таке зменшення становить з 1,2 дБ до 0,25 дБ.

Зазначені мінімальні нерівномірності смуги підсилення були досягнуті при використанні 6 $\lambda$  джерел накачки. Подальше покращення нерівномірності через нарощування кількості лазерів в джерелі помпуювання вже не спостерігається.

Таким чином, за результатами нашої роботи була запропонована спрощена аналітична модель широкосмугових ВКРП, у яких як активні підсилювальні середовища застосовувалися волокна DCF та True Wave RS, що дозволяє досить швидко отримувати основні параметри робочої смуги довжин хвилі ВКРП з визначеною кількістю лазерів накачки у джерелі помпуювання.

Було отримано аналітичну форму профілю ВКР підсилення волокон DCF та True Wave RS, яка значно прискорює процес моделювання ВКР, що дозволить проектувати пристрої фотоніки із застосуванням зазначених волокон.

Список літератури:

1. Stolen R.H., Ippen E.P., Tynes A.R. Raman Oscillation in glass Optical Waveguide. *Applied Physics Letters*. vol. 20. № 2. 1972. P. 62–64. doi:10.1063/1.1654046.
2. Pump interactions in a 100-nm bandwidth Raman amplifier / H. Kidorf, K. Rottwitt, M. Nissov et al. in *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 11. № 5. 1999. P. 530–532. doi: 10.1109/68.759388.
3. Islam M.N. Raman Amplifiers for Telecommunications 2: Sub-systems and Systems / Edited by M.N. Islam / New York: Springer-Verlag, 2004. 732 p.
4. 319 Tb/s Transmission over 3001 km with S, C and L band signals over >120nm bandwidth in 125  $\mu\text{m}$  wide 4-core fiber /B. J. Puttnam et al. in *Optical Fiber Communication Conference (OFC)*. 2021. pp. F3–B3.
5. Коротков П.А., Фелінський Г.С. ВКР підсилення світла в одномодових кварцових волокнах. *Український Фізичний Журнал*. Огляди. 2009. Т. 5. № 2. С. 103–169.
6. Bromage J., Rottwitt K., Lines M.E. A method to predict the Raman gain spectra of germanosilicate fibers with arbitrary index profiles. *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 14. № 1. 2002. P. 24–26. doi: 10.1109/68.974149.
7. Scaling of the Raman gain coefficient: Applications to germanosilicate fibers / K. Rottwitt, J. Bromage, A.J. Stenz et al. *Journal of Lightwave Technology*, vol. 21. № 7. 2003. P.1652–1662. doi: 10.1109/JLT.2003.814386.
8. Chesnoy J. Preface. Undersea Fiber Communication Systems/Ed. by J. Chesnoy. Academic Press, 2016. pp. xxix–xxxii. doi: 10.1016/B978-0-12-804269-4.00004-0.
9. Richardson D.J., Nilsson J., Clarkson W.A. High-power fiber lasers: current status and future perspectives. *Journal of the Optical Society of America B*. vol. 27, № 11. 2010. P. B63–B92. DOI: 10.1364/JOSAB.27.000B63.
10. Взаємодія фізичних полів з наноструктурованими матеріалами. *Волоконні ВКР лазери та підсилювачі оптичного випромінювання* : монографія / Григорук В.І., Загородній В.В., Іванчук А.В. та ін. Київ : Каравела, 2018. С. 62–128.

**Korchak O.V., Krutin Ya.V., Rieznikov M.I., Felinskyi H.S. MODELING OF ULTRA WIDEBAND FIBER RAMAN AMPLIFIERS FOR TERABIT TELECOMMUNICATION SYSTEMS**

*The results of the modeling of a broadband fiber Raman amplifiers (FRA) with a uniform gain band covering C+L telecommunication windows in the standard fibers such as True Wave RS and DCF are presented. The FRA with multiwave pumping active medium which is a single-mode fiber with compensated dispersion (DCF fiber) is analyzed in comparison with a similar previously considered FRA with multiwave pumping active medium which is a typical telecommunication fiber True Wave RS. The simplified model of analytical description of ultra-wideband FRA with multiwave pumping is proposed, which allows to quickly obtain theoretical estimates of the main parameters of the operating band of FRA wavelengths with any number of pump lasers in a multiwave pumping source. The problem of modeling of the fiber Raman amplifier with steady frequency band within C + L telecommunication windows was solved in our work in two stages: firstly we obtained an almost exact analytical approximation of the Raman gain profile in the Stokes shifted frequencies up to 20 THz, and it significantly simplifies the gain band alignment in the second stage. The paper presents numerical data of multimode Gaussian decomposition of the Raman gain profile of standard True Wave RS and DCF fibers. It has been demonstrated that the Raman gain profile, that is, the distribution of the optical radiation gain over the frequency range of the Stokes shift in Raman scattering, is the main characteristic of the FRA. Optimum values of the parameters of the pump sources are presented, namely spectral distribution of wavelengths and relative power of all pump sources, at which it is possible to obtain a minimum non-uniformity of the gain band. It is shown, that an almost exact approximation of the Raman gain profile can be obtained in analytical form for True Wave RS and DCF fibers over the entire operating range up to 20 THz. The analytical view of the Raman gain profile greatly simplifies the procedure of modeling of the main gain parameters for FRA with multiwave pumping for 3, 4, 5 and 6 wavelengths of pumping sources. It is shown, the gain ripple for both types of fibers can be sharply reduced to almost 0,2 dB by increasing of the number of pumping sources from 3 to 6, but their further increase has almost no effect on the non-uniformity of gain band.*

**Key words:** light amplification, stimulated Raman scattering (SRS), fiber Raman amplifier (FRA), Raman gain profile, Gaussian decomposition, fiber amplifier modelling, multiwave pumping.



УДК 621.396.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/06>**Лисенко О.І.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Чумаченко С.М.**

Національний університет харчових технологій

**Новіков В.І.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Турейчук А.М.**

Українська військово-медична академія

**Сушин І.О.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**МЕТОДИКА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ОЦІНКИ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ТЕРИТОРІЙ РОЗПОДІЛЕНИХ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ**

*Стаття присвячена розробці методичного забезпечення умов підвищення об'єктивності екологічного моніторингу наземних екологічних систем розподілених техногенних об'єктів на основі комплексного використання інформації від безпроводових сенсорних мереж про спостереження за біотичними та абіотичними факторами з урахуванням накопичення забруднення в навколишньому природному середовищі, що виникає в процесі функціонування розподілених техногенних об'єктів. У роботі конкретизовано етапи комплексної індексно-біоіндикаторної методики, яка враховує прикладну (фізичну) постановку завдання оцінки та прогнозування стану екологічної системи розподілених техногенних об'єктів.*

*Запропонована у статті методика обґрунтування вимог до безпроводових сенсорних мереж інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів вказує на необхідність передбачити використання у складі безпроводових сенсорних мереж датчиків первинної інформації про стан біотичних та абіотичних факторів навколишнього природного середовища розподілених техногенних об'єктів.*

*Обґрунтовано, що використання безпроводових сенсорних мереж, склад сенсорів яких та їх розміщення будуть обрані на основі запропонованої методики, дадуть змогу застосувати концепцію індексно-біоіндикаторного підходу до побудови інтегральної оцінки поточного та прогнозного станів навколишнього природного середовища розподілених техногенних об'єктів і тим самим забезпечити об'єктивність, точність та достовірність цих оцінок і в результаті – сталий розвиток регіону розташування розподілених техногенних об'єктів.*

**Ключові слова:** безпроводова сенсорна мережа, сенсор, датчик первинної інформації, розподілений техногенний об'єкт, моніторинг навколишнього природного середовища.

**Постановка проблеми.** Розподіленими техногенними об'єктами (далі – РТО) будемо називати випробувальні полігони, кар'єри, шахти, техногенні об'єкти зі значною просторовою протяжністю

та прилеглими територіями (наприклад, атомні електростанції), території захоронення забруднювальних речовин, а також відходів виробництва та життєдіяльності, зони стихійного лиха [1–4].

Історично склалось так, що значна площа території України є найбільш трансформованою в результаті діяльності техногенних об'єктів. Після багаторічного техногенного навантаження на довкілля не проводились комплексні заходи щодо екологічного обстеження територій РТО за виключенням ситуацій екологічного лиха.

Доцільно зауважити, що понад 2 тис. км<sup>2</sup> цих земель відносяться до ІВА-територій (Important Bird Area – території, важливі для існування птахів), які відіграють важливу роль для збереження видового різноманіття та кількісного багатства птахів України [5].

Відмінною рисою агресивної техногенної діяльності РТО є пріоритетність технологічно-виробничих завдань. Для результативного функціонування РТО йому потрібна територія. РТО «відбирає» її у природи шляхом переобладнання природних ландшафтів, прокладки доріг, спорудження функціональних об'єктів тощо. У процесі функціонування РТО створюється значна кількість твердих, рідких і газоподібних відходів, які забруднюють навколишнє природне середовище (далі – НПС), та різноманітні впливи, що змінюють місцевий мікроклімат, обстановку. Таким чином, РТО є потенційними джерелами забруднення НПС, які можуть призвести до забруднення як самого РТО, так й прилеглих територій.

Аналіз результатів обстеження територій РТО дає змогу зробити висновки про те, що рівень забруднення 18% від усіх РТО дуже високий, 24% – високий, 38% – середній і 20% – слабкий [3–8].

Із використанням даних щодо обсягів агресивної техногенної діяльності РТО було обраховано рівень техногенного навантаження, що здійснюють РТО на екосистему регіону розташування РТО [6–13].

Наразі системи підвищення рівня екологічної безпеки та поліпшення стану НПС РТО не дістали значного розвитку у зв'язку із тим, що не розгорнуті повноцінні системи постачання первинної інформації про стан навколишнього природного середовища РТО. Такими системами можуть бути безпроводові сенсорні мережі (далі – БСМ). У цих умовах стають актуальними розробка методів і методик формулювання вимог до БСМ, що постачають первинну інформацію для систем оцінки впливу еколого-небезпечних факторів РТО на НПС. Завдяки отриманню якісної та кількісної інформації від БСМ ці системи дадуть можливість об'єктивно, точно, достовірно й економно витратити ресурси, виділені на природоохоронну діяльність та захист НПС від впливу РТО.

Основним ключовим недоліком чинної системи екологічного моніторингу РТО є те, що практично вся отримувана інформація є суб'єктивною й орієнтована головним чином на фактори техногенного впливу результатів функціонування РТО на стан абіотичної складової НПС, а не на екологічну оцінку стану всіх компонентів екосистеми місця розташування РТО. Натепер математичні моделі (ММ) наземних екологічних систем РТО не використовуються для оцінки стану цих екосистем. Крім того, не розроблена методика комплексної оцінки стану наземних екосистем РТО.

Зазвичай у технологічному процесі РТО використовуються техногенно-агресивні техніка та технології, що сприяють виникненню біля 80 видів специфічних забруднень [9–16]. Для подальшого аналізу кількісні характеристики цих речовин були розподілені за класами небезпеки (табл. 1).

Таблиця 1

**Кількісні характеристики забруднювальних речовин за середовищами**

Вид середовища	Кількість інгредієнтів забруднення	Кількість інгредієнтів забруднення за класами небезпеки			
		1	2	3	4
Класи небезпеки		1	2	3	4
Атмосферне повітря (А)	84	21	30	21	12
Поверхневі води (L <sup>p</sup> )	73	11	29	22	11
Грунтові води (L <sup>g</sup> )	73	11	29	22	11
Грунт (G)	62	22	17	14	9

Визначення кількісних параметрів забруднення відбувається шляхом вимірювання за допомогою відповідного обладнання або біоіндикаторів. Виникає завдання створення сенсорної мережі для отримання необхідної інформації.

Підсумок аналізу забезпечення систем екологічного моніторингу РТО датчиками первинної інформації про рівень та склад забруднень свідчить про неможливість виконання ефективного спостереження та контролю без використання БСМ [13–21]. Основними проблемами інформаційного забезпечення екологічного моніторингу слід вважати:

1. Неможливість оперативного визначення всіх інгредієнтів забруднення екосистем РТО через відсутність відповідного обладнання;

2. Наявні системи екологічного моніторингу орієнтовані на виявлення випадків виходу забруднення за межі санітарно-захисної зони РТО. Тобто

спостереження за забрудненням екосистем відбувається на межі РТО з прилеглою територією (зовнішній периметр). Стан внутрішніх наземних екосистем РТО майже не контролюється;

3. Заміри параметрів забруднення наземних екосистем РТО виконуються нерегулярно, необхідна для оцінки та прогнозування точність замірів досі не досліджувалась;

4. Для спостереження за станом наземних екосистем РТО не використовуються біологічні індикатори;

5. Відсутня методика оцінки інтегрального забруднення стану наземних екосистем РТО.

Викладене вище дає змогу зробити висновок, що питання організації ефективного екологічного моніторингу РТО є актуальним. Але вирішенню цього питання перешкоджає ряд причин, основною з яких є відсутність методики оцінки та прогнозування змін стану наземної екосистеми РТО – основної складової екологічного моніторингу. Це вимагає проведення додаткових досліджень щодо створення системи комплексної оцінки і прогнозування впливу процесу функціонування РТО на екосистему регіону. Також унаслідок відсутності відповідних методик виникає завдання розробки специфічної методики оцінки та прогнозування стану наземних екологічних систем РТО. Подальший зміст статті присвячено викладенню методики оцінки та прогнозування стану наземних екологічних систем, ускладнених техногенним навантаженням територій розподілених техногенних об'єктів, яка дає змогу обґрунтувати вимоги до безпроводових сенсорних мереж інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів.

**Постановка завдання дослідження.** На сьогодні відсутні методики, які можуть адаптувати наявні методи до рівня, що гарантує оцінку та прогнозування стану екосистем розподілених техногенних об'єктів із необхідною об'єктивністю; дають змогу здійснити вибір та комплектування засобів контролю (спостереження, вимірювання); комплексного оцінювання та прогнозування стану наземних екосистем РТО, які перебувають під специфічним впливом процесу функціонування цих РТО. У більшості випадків оцінка та прогнозування стану екосистем техногенних об'єктів носить якісний характер і базується на суб'єктивних враженнях особи служби екологічної безпеки РТО.

**Мета статті** – методичне забезпечення умов підвищення об'єктивності екологічного моні-

торингу наземних екологічних систем РТО на основі комплексного використання інформації від БСМ про спостереження за біотичними та абіотичними факторами з урахуванням накопичення забруднення в НПС, що виникає в процесі функціонування РТО. Для РТО це дасть науково обґрунтовані дані для розрахунку допустимої інтенсивності його діяльності.

В екологічних дослідженнях **об'єктивність** екологічного моніторингу тлумачать як незалежність оцінки та прогнозування стану наземних екосистем РТО від суб'єкту, який виконує спостереження, тобто сприйняття досліджуваного об'єкту або процесу так, як вони дійсно існують. Об'єктивність дає змогу зробити висновок відповідно до зібраного матеріалу, не зважаючи на те, чи збігаються ці висновки із загальноприйнятими поняттями, навичками, мораллю або добрим тоном, із попередніми авторами та поглядами визначних авторитетів із вказаного питання [1–13]. Це може бути досягнуто завдяки розгортанню БСМ за рахунок:

- приладових (об'єктивних) вимірів рівня забруднення;
- обґрунтованих у системній екології контактних способах вимірювання та наступних оцінки й прогнозування стану НПС;
- строгого використання математичного апарату теорії ідентифікації систем (їхньої структури та параметрів), оцінки та прогнозування стану цих систем.

Для реалізації комплексної оцінки та прогнозування впливу техногенної діяльності на стан екосистеми РТО пропонується застосувати метод декомпозиції з використанням імітаційного моделювання та інформаційного забезпечення алгоритмів моніторингу, що отримується від спеціально розгорнутої під конкретний РТО безпроводової сенсорної мережі [1–12].

Для досягнення мети статті необхідно вирішити вказані нижче завдання:

1. Провести аналіз джерел багатокомпонентного забруднення екосистеми РТО.
2. Визначити розподіл забруднювальних речовин на території екосистеми РТО взагалі і на функціональних об'єктах зокрема.
3. Провести аналіз наявних методик оцінки та прогнозування стану екосистем РТО.
4. Розробити процедуру визначення складу вектору забруднення наземних екосистем РТО.
5. Розробити алгоритм вибору датчиків (сенсорів) первинної інформації (ДПІ) для використання в сенсорній мережі.

6. Провести аналіз, пошук та обґрунтування технічної реалізованості такого вектору спостереження, який забезпечує спостережуваність наземної екосистеми у розумінні виконання критеріїв спостережуваності – тобто необхідно розв'язати задачу спостережуваності системи з урахуванням технічних можливостей формування вектору спостережень.

7. Побудувати такий алгоритм обробки вектору спостережень, що забезпечує отримання оцінки всього вектору стану наземної екосистеми.

8. Виконати агрегування біологічних компонентів наземних екосистем та вибір математичної моделі її функціонування.

9. Створити математичну модель спостерігача наземної екосистеми РТО з урахуванням техногенного впливу його функціонування.

10. Моделювання впливу забруднення на стан екосистеми відбувається через параметри математичної моделі, які залежать від узагальненого показника забруднення – індексу забруднення.

11. Розробити методику, що дає змогу комплексувати різноманітну інформацію для вирішення завдання оцінки та прогнозування стану наземних екосистем РТО.

12. Створити модель оцінки та прогнозування стану наземних екосистем функціональних об'єктів РТО з високою та низькою інтенсивністю екологічного впливу.

13. Створити модель оцінки та прогнозування стану екосистеми, вільної від впливу РТО (модель еталонної екологічної зони).

14. Виконати математичне моделювання стану наземних екосистем об'єктів РТО з урахуванням факторів його функціонування, погоднокліматичних умов та відновлювальних (реабілітаційних) факторів.

15. Провести прогнозування стану наземних екосистем РТО з урахуванням реальних планів його використання.

16. Провести експериментальні дослідження стану екосистем РТО.

Виклад основного матеріалу дослідження: методики обґрунтування вимог до безпроводових сенсорних мереж інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів.

Враховуючи прикладну (фізичну) постановку завдання оцінки та прогнозування стану екологічної системи РТО [13] і наведені вимоги та рекомендації, конкретизуємо етапи комплексної індексно-біоіндикаторної методики:

1. Вивчення та визначення екологічних параметрів РТО.

2. Функціональне зонування РТО.

3. Концептуалізація структури спостереження.

4. Специфікація компонентів, що вимірюються, інвентаризація екологічних аномалій.

5. Планування експериментальних досліджень.

6. Вибір типів датчиків первинної інформації (ДПІ) або, як ще кажуть, сенсорів.

7. Побудова графіка (циклограми) спостережень (вимірювань) всередині полігону, погоджених із спостереженнями (вимірюваннями) ззовні РТО.

8. Побудова та перевірка моделі (сценарію) спостережень (вимірювань).

9. Безпосереднє спостереження за динамікою екосистеми.

10. Дослідження системи первинного інформаційного забезпечення на моделі.

11. Оптимізація (вибір) структури та параметрів системи спостереження за станом екосистеми РТО.

12. Заключний етап: синтез системи спостереження (етап прийняття рішень).

13. Оцінка стану екосистеми РТО.

14. Прогнозування стану екосистеми РТО.

Розкриємо зміст кожного етапу методики.

1. Вивчення та визначення екологічних параметрів РТО. Екосистема РТО – складний, багаторежимний, динамічний із різним темпом розвитку процесів, еволюціонуючий об'єкт, для всебічного вивчення якого потрібні значні матеріально-технічні та людські ресурси впродовж тривалого періоду.

Ключову роль у вивченні екосистеми РТО та управління її станом відіграє первинна інформація щодо параметрів РТО: фізико-географічних характеристик РТО; кліматичних умов; соціо-еколого-економічної обстановки у регіоні розташування РТО, наявності, рівня та ступеню реалізації регіональних програм екологічного моніторингу та природоохоронної діяльності; ретроспективного аналізу екологічних проблем РТО, даних щодо накопичених забруднень; планів розвитку (планованої інтенсивності забруднення функціональних об'єктів в процесі функціонування).

Одним із основних етапів вивчення параметрів РТО є виконання екологічної паспортизації РТО. На основі даних, зібраних у процесі екологічної паспортизації окремих об'єктів РТО, створюються екологічні формуляри, які входять до загального формуляру РТО.

2. Функціональне зонування РТО. З урахуванням усієї складності та цілісності екосистеми для вирішення завдання охорони, раціонального використання, управління екосистемою РТО та прогнозування її реакції на антропогенний вплив необхідно здійснити просторову декомпозицію РТО – функціональне зонування РТО. Тому структурно зонування РТО відбувається як територіальне зонування на функціональні об'єкти, мезоекосистеми (підсистеми єдиної екосистеми) РТО, зони поширення та накопичення забруднень, зовнішні та внутрішні санітарні зони (якщо такі є). Робота РТО зазвичай організована таким чином, що певні види випробувальної та допоміжної діяльності, як і засоби та елементи інфраструктури, які спрямовані на її забезпечення, закономірно і постійно, або принаймні протягом довгого часу, зосереджені на певних частинах його території. Відповідно, і наслідки функціонування складових РТО не поширюються рівномірно по всій території, а локалізуються на певних його ділянках – окремих функціональних зонах.

**Функціональні зони** – це окремі складові РТО, які призначені, виділені та спеціально обладнані для забезпечення основних і допоміжних видів діяльності людини. Функціональне зонування, яке відображене на відповідній карті, складає один із основних результатів комплексного екологічного дослідження території РТО.

Карта функціонального зонування РТО містить інформацію про всі функціональні об'єкти, чутливі ділянки екосистем та відповідні обмеження, пов'язані із функціонуванням РТО.

Практична реалізація функціонального зонування РТО дає змогу забезпечити ефективне використання фінансових, матеріальних, технічних, інформаційних та екологічних ресурсів під час вирішення завдань управління станом його екосистеми.

3. Концептуалізація структури спостереження складається з біологічного і технічного аспектів. Для реалізації біологічного аспекту цього етапу методики необхідно виділити в мезоекосистемах РТО кінцеве число властивостей та процесів, які, з точки зору спеціалістів із системної екології, найбільш суттєві для вирішення завдання спостереження, прогнозу та управління станом екосистеми РТО.

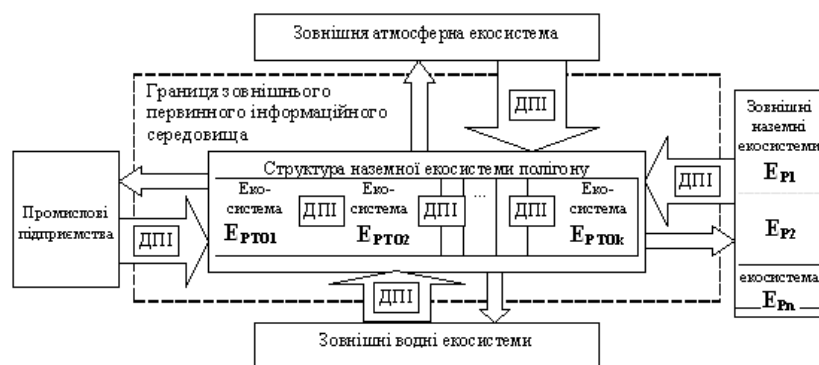
Технічний аспект концептуалізації спостереження полягає в обмеженні та конкретизації напрямків вивчення стану екосистеми й виборі технічних (апаратних) і алгоритмічних засобів (обробки інформації, що від них надходить).

Концептуалізація спостереження починається з виділення зовнішніх щодо екосистеми РТО зв'язків (впливів), які підлягають контролю (вимірюванню) (див. рис. 1).

Потім на основі концепції збереження речовини та енергії (дотримання балансових відношень) будується концептуальна модель спостереження на якісному рівні (або сценарій спостереження) за станом мезоекосистем РТО. Визначається місце мезоекосистем у загальному ландшафті РТО як системи більш високого рівня ієрархії. Встановлюються входи та виходи, що підлягають контролю (вимірюванню, обчисленню або алгоритмічному вимірюванню), зв'язки з сусідніми мезоекосистемами РТО. Функціонуванням (поведінкою) окремої наземної екосистеми (мезоекосистеми) РТО називаємо процес зміни властивостей її елементів у часі в результаті реакції на дію зовнішніх факторів та взаємодію між внутрішніми складовими екосистеми (див. рис. 2).

Внутрішній склад наземної мезоекосистеми РТО утворюють такі агреговані складові: приземний шар повітря; фітоценоз (рослинна спільнота); зооценоз (тваринний світ); мікробний світ; ґрунт; порода, що утворює ґрунт; ґрунтові води.

Між агрегатами наземної екосистеми існують речовинно-енергетичні та інформаційні зв'язки, які піддаються зовнішнім впливам. Комплекс зовнішніх зв'язків та внутрішніх впливів необхідно контролювати за допомогою технічних та біотичних (біоіндикатори, біосенсори) ДПП. На початковій стадії розробки системи первинного інформаційного забезпечення концептуальна



**Рис. 1. Структура основних зовнішніх зв'язків (матеріальних, енергетичних, інформаційних потоків):  $E_{PTO1}, E_{PTO2}, \dots, E_{PTOk}$  – складові наземної екосистеми РТО**

модель вимірювань будується на якісному рівні. Тоді ж надається словесний опис часової динаміки стану складових мезоекосистеми полігону та її взаємодії з зовнішніми системами.

Рішення про те, які саме компоненти мезоекосистеми РТО достатні для однозначного тлумачення процесу зміни в часі стану екосистеми РТО загалом, приймають спеціалісти з системної екології. Обраний ними рівень агрегування є вихідною інформацією для початку розробки (проектування) концептуальної моделі інформаційного забезпечення алгоритмів первинної обробки інформації (діагностики стану наземних екологічних систем).

Структура наземної мезоекосистеми полігону (рис. 2) є високоагрегованою та може бути віднесена до класу грубих (якісних) структур. Наразі, за рекомендаціями, припускається розглядати вузькі угруповання популяцій, які виділяються за токсологічною, просторовою (наприклад, із урахуванням ярусності), трофічною або іншими ознаками. Поряд із ґрунтом у якості самостійної мініекосистеми РТО, що служить для оцінки екосистеми, рекомендується використовувати підстилаючу поверхню. Необхідно зазначити, що кожний елемент узагальненої структури (рис. 2) насправді сам є підсистемою, тобто системою, яка стоїть на ступінь нижче у загальній ієрархічній структурі системної екології РТО. Популяції рослин, тварин, мікроорганізмів необхідно виділяти як елементи підсистем фітоценозу, тваринного світу або мікробного співтовариства відповідно і водночас вирішувати завдання внутрішнього та зовнішнього інформаційного забезпечення підсистем. Для аналізу екологічного стану РТО пропонується використовувати рівень агрегування, що обмежується популяцією осіб конкретного виду, які беруть участь у функціонуванні цієї екосистеми. Але, враховуючи високу кількість видів

наземних мезоекосистем РТО (особливо це стосується безхребетних тварин і мікроорганізмів) та неточності інформації щодо кількісних показників функціонування багатьох видів, під час описування екосистем рекомендується використовувати групи популяцій, які називаються функціональними або трофічними групами (або гільдіями). У цих групах агрегуються популяції декількох подібних за певними ознаками видів, загальна чисельність яких піддається більш точному вимірюванню та може служити основою для подальшої обробки у системі моніторингу та управління навколишнім природним середовищем.

4. Специфікація компонентів, що вимірюються, інвентаризація екологічних аномалій. Призначення цього етапу методики полягає в тому, що для кожного функціонального об'єкту зі складу РТО необхідно:

- визначити склад множини вхідних змінних та змінних стану математичної моделі екосистеми;
- задати структуру математичної моделі перетворення вхідних змінних у вихідні та вектор спостережень.

Натепер основу структури динамічних моделей екосистем з «n» змінними стану складає «n» диференціальних (різницевих) рівнянь, які виражають закон зміни кожної із змінних у часі із урахуванням статичних обмежень у формі рівностей або нерівностей.

Особлива увага приділяється властивостям екосистеми, що вимірюються, погодженню прийомів та технологій використання біоіндикаторів і біосенсорів у сполученні з технічними ДПП.

5. Планування експериментальних досліджень. За результатами специфікації та з огляду на концептуальну структуру спостережень плануються спостереження за динамікою властивостей екосистеми та середовища, що вивчаються (вихідні та вихідні змінні екосистеми, вектор стану).

6. Вибір типів ДПП. Основне завдання цього етапу полягає в такому виборі датчиків первинної інформації, які забезпечать вимірювання (контроль) усього комплексу зовнішніх впливів та внутрішніх зв'язків (пункт 3 методики), дадуть змогу контролювати поширення забруднень на території РТО та за його межі. Обов'язковою умовою є саме можливість

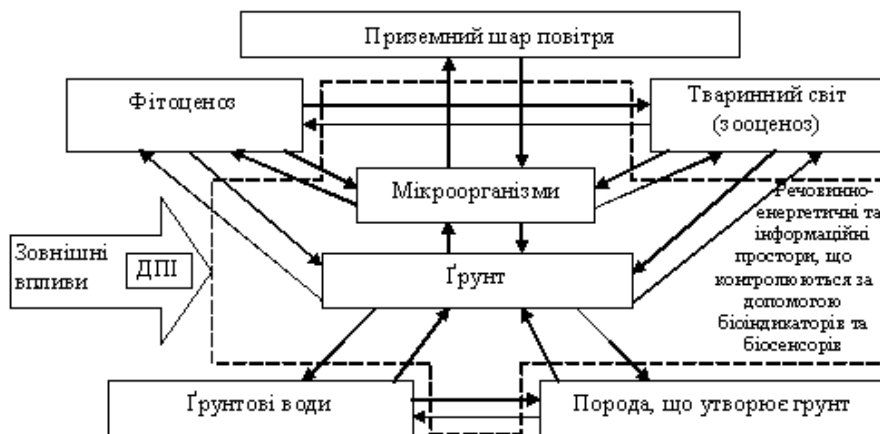


Рис. 2. Узагальнена внутрішня структура наземної екосистеми РТО

його контролювати. Водночас необхідно приділити увагу мобільності обраних ДПІ, що впливатиме на оперативність контролю стану НПС.

7. Побудова графіка (циклограми) спостережень (вимірювань) усередині РТО, погоджених зі спостереженнями (вимірюваннями) ззовні РТО. Поняття вимірювань (спостережень) всередині та ззовні РТО відображає факт просторового розташування місць, у яких виконуються відповідні виміри. Необхідність узгодженості системи спостереження за локальною екосистемою РТО, що входить до складу регіональної екосистеми, пояснюється відкритістю локальних систем для енергоресурсної та інформаційної взаємодії (обміну) з зовнішніми системами (рис. 1).

Зовнішніми будемо вважати вимірювання, що проводяться на зовнішній межі санітарної зони (рис. 3). Вони складаються із замірів, що виконуються за допомогою ДПІ та спостережень за міграцією тварин.

Внутрішніми будемо вважати всі вимірювання, що виконуються у внутрішніх точках РТО (внутрішній межі санітарної зони, функціонального об'єкту, мезоекосистеми РТО).

Вимірювання на внутрішній і зовнішній межах санітарної зони дають змогу з'ясувати просторовий градієнт забруднення та його зміну у часі, тобто зробити висновок щодо виходу забруднень

із санітарної зони РТО у зовнішні екосистеми або навпаки. Аналогічні висновки можуть бути отримані і для внутрішніх умовних санітарних зон між навчальними об'єктами та мезоекосистемами полігону. Спостереження за міграцією тварин та птахів крізь санітарну зону РТО та всередині РТО служать об'єктивною біотичною інформацією щодо стану екосистем РТО.

Для обчислення просторового градієнту необхідно заміри виконувати в той самий момент часу, але в різних пунктах. Проте через велике число точок замірів доцільно проводити їх або збирати проби за допомогою мобільних засобів на протязі малого відрізка часу.

Для обчислення швидкості зміни в часі забруднення, що осіло на поверхню землі, необхідно обрати інтервал часу, достатній для того, щоб тенденція виявилася на фоні випадкових флуктуацій. Для РТО (як показує досвід) достатньо проводити заміри через кожні 3–7 днів.

8. Побудова та перевірка моделі (сценарію) спостережень (вимірювань). Після усвідомлення складу вектору стану екологічної системи та структури спостережень (вимірювань) і складу комплексу ДПІ (апаратних та біотичних) оцінюються апаратно-алгоритмічні та екосистемні можливості щодо ідентифікації параметрів математичної моделі екосистеми та спостереження

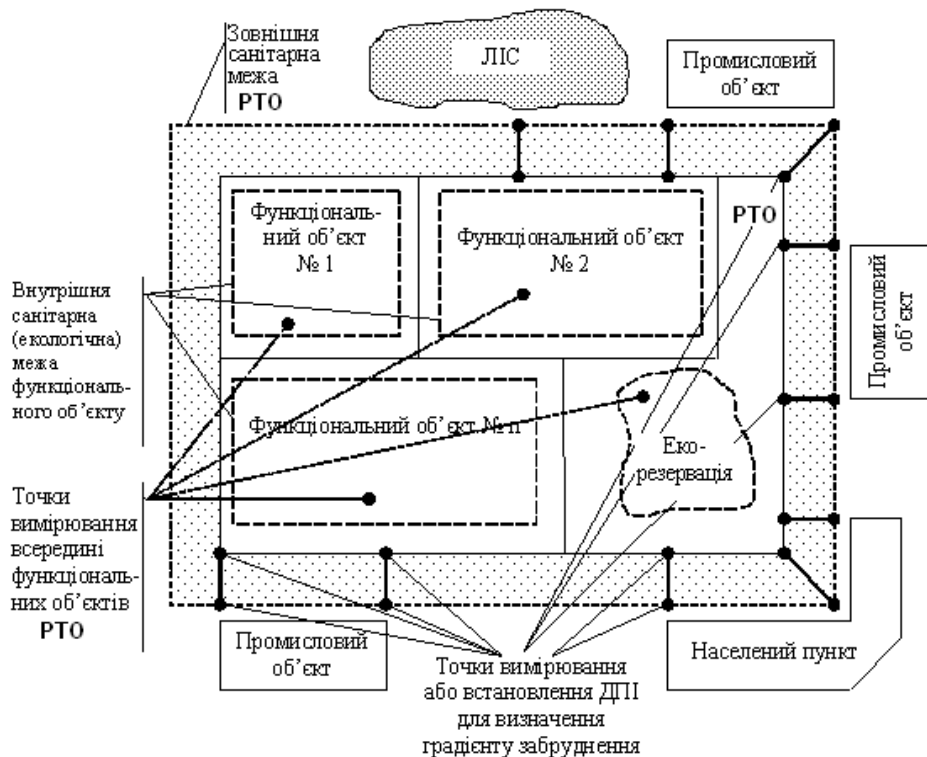


Рис. 3. Структурна схема екосистеми РТО

за вектором її стану. Здійснюється вибір територіально-просторового розташування технічних ДПП та пунктів спостереження за біоіндикаторами. Розробляються сценарії (циклограми) спостережень та алгоритми їх зміни, які придатні для наступного аналізу альтернатив.

Можливі три основних типи сценаріїв спостережень (вимірювань):

- a. синхронний;
- b. асинхронний;
- c. комбінований.

Суть **синхронного сценарію** спостереження (вимірювання) полягає в тому, що спостереження (вимірювання) в усіх точках просторового (у випадку використання дистанційних засобів зондування) або об'єктового розташування ДПП та біоспостерігачів відбувається строго відповідно до заданого часу, за такої умови можна використовувати синхронний одномоментний та синхронний різномоментний спосіб спостереження (вимірювань).

**Асинхронний сценарій** спостереження (вимірювання) полягає у тому, що спостереження та (або) вимірювання в певних пунктах РТО виконуються не в задані моменти часу, а за найбільш зручних зовнішніх умов, але місце спостереження (вимірювання) чітко фіксується (наприклад, заміри у місцях екологічних аномалій, епіцентрах природних та техногенних збурень).

**Комбінований сценарій** об'єднує позитивні якості синхронних та асинхронних способів спостереження (вимірювання) і дає змогу отримати загалом найкращий результат щодо ефективності вимірювань.

9. Безпосереднє спостереження за динамікою екосистеми. Відповідно до плану експериментальних досліджень, розроблених циклограм та сценарію спостережень (вимірювань) за допомогою обраних ДПП проводиться спостереження за динамікою екосистеми (вимірювання визначених параметрів). На цьому етапі визначаються показники компонентів наземної екосистеми – біомаса продуцентів, субстратів та консументів, уточнюється погодно-кліматичний вплив (дані метеорологічних служб). Результати спостережень (вимірювань) включаються до інтерактивної процедури уточнення концептуальної структури спостереження, а також використовуються в алгоритмах ідентифікації та верифікації (перевірки на адекватність) математичної моделі екосистеми РТО.

10. Дослідження системи первинного інформаційного забезпечення на моделі. Складається з двох підетапів:

a) перевірка адекватності математичної моделі опису поведінки екосистеми РТО та системи спостереження;

b) дослідження системних властивостей математичної моделі спостереження за вектором стану екосистем РТО.

**Під час перевірки адекватності математичної моделі** екосистеми РТО аналізуються прогностичні можливості моделі, з'ясовується, наскільки модель здатна відтворювати поведінку вектору стану системи-оригіналу.

Відповідно до методу системної динаміки остаточну відповідь щодо повної придатності математичної моделі не можна отримати ніколи, оскільки неможливо порівняти нескінченне число результатів моделювання з нескінченим числом експериментів як у сенсі континуальної нескінченності (тобто в кожній точці обмеженого інтервалу), так і концептуальної (тобто в сенсі нескінченної тривалості прогнозу навіть у дискретних точках). Проте практичний висновок можна зробити з частковою впевненістю з деякого об'єму співставлення результатів експериментів із результатами моделювання; водночас можливо використовувати математичну модель екосистеми в адаптивному режимі (режимі самонастроювання на знову отримані вимірювання).

Відповідно до наявних методик відомості, достатні для оцінки рівня адекватності динамічної моделі, можуть бути отримані з обмеженого об'єму попередньої інформації на підставі порівняння розрахованих (модельних) значень динаміки змінних стану ММ екосистеми РТО  $X(t_i)$  та (або) вихідних координат  $Y(t_i)$  в моменти часу  $t_i \in [t_0, t_f]$ ,  $i \in \{0, 1, \dots, N\}$  із експериментальними даними. За гарного збігу розрахункових та експериментальних значень у відповідні моменти часу (для кількісної оцінки ступеню збігу застосовуються різні чисельні міри та статистичні показники) вважається, що результати моделі не суперечать спостереженням і таким чином відсутня основа для перегляду структури або параметрів моделі. Якщо збіг незадовільний, тоді здійснюється повернення до етапу ідентифікації для уточнення математичної моделі.

Найбільш часто наразі для оцінки адекватності математичної моделі об'єкту-оригіналу використовуються такі ознаки збігу результатів моделювання з емпіричними даними:

- кількість точок екстремумів;
- розподіл точок екстремумів у часі;
- знак приросту екстремумів у часі;
- синфазність виникнення коливань та їхньої амплітуди;



– тренди (середні значення змінних приблизно збігаються, помилка прогнозування в контрольних точках утворює процес, близький до дискретного білого шуму з мінімальною дисперсією);

– одночасність досягання екстремальних значень для різних змінних;

– реакція на відомі зондувальні (типів) впливи.

За рахунок багатокрокової процедури уточнення структури та параметрів математичної моделі необхідно добитися практично прийнятного результату та перейти до наступного підетапу.

**Процес дослідження системних властивостей математичної моделі** спостереження за вектором стану екосистеми РТО включає такі кроки:

– вивчення загальних рис поведінки траєкторії  $\hat{X}(t)$ ,  $t \in [t_0, t_f]$  за типових збурень (існування та єдиність, обмеженість, періодичність, стійкість процесу на виході математичної моделі спостерігача стану екосистеми РТО);

– вивчення залежності рішення задачі спостереження від початкового стану (нульового наближення до оцінки стану екосистеми), структури математичної моделі екосистеми РТО та вектору вимірювань;

– вивчення чутливості процесу спостереження до неточності завдання параметрів спостерігача стану екосистеми РТО.

**11. Оптимізація (вибір найкращого варіанту) структури та параметрів системи спостереження за станом екосистеми РТО.** Показниками якості функціонування системи спостереження є повнота та точність інформації; надійність; оперативність і вартість.

У якості параметрів структури математичної моделі системи спостереження за вектором стану екосистеми РТО, які оптимізуються, використовуються розмірність та тип (лінійні або нелінійні) рівнянь, що описують вхід-вихідні співвідношення.

У якості параметрів апаратних засобів спостереження розглядаються такі: тип ДПП та характеристики точності; кількість ДПП та їх просторове розміщення; вартість; мобільність; інтервали часу опитування; вид отримуваної інформації; оперативність комп'ютерно-алгоритмічної обробки результатів спостереження.

**12. Заключний синтез системи спостереження (етап прийняття рішення).** Етап оптимізації структури та параметрів дає змогу побудувати інтерактивні процедури розробки структури моделей-претендентів, підібрати найкращі значення показника якості для цих моделей на заданих класах структур, автоматизувати процес вибору найкращої

моделі. Проте за своїм змістом завдання вибору ДПП для системи первинної обробки інформації щодо стану екосистеми є багатокритеріальною та комплексною. Для прийняття рішення щодо вибору структури та параметрів ДПП необхідно багаторазово повертатися до процедури оптимізації та залучати додаткову інформацію.

**13. Оцінка стану екосистеми РТО.** На основі отриманих результатів спостережень (етап 9 методики) та даних уражаючого впливу процесу функціонування РТО розраховується узагальнений індекс забруднення, з'ясовується відновлювальний вплив природоохоронних заходів (природних та штучних). Після цього уточнюються параметри математичної моделі екосистеми РТО. На основі отриманих результатів проводиться оцінка стану наземної екосистеми РТО.

Для оцінки загального стану РТО визначається найбільш чутливий до впливів елемент екосистеми. Оцінка його стану характеризує загальний стан екосистеми. Визначення чутливого елемента проводиться шляхом побудови спеціалістами системної екології орграфів трофічної багаторівневої структури.

**14. Прогнозування стану екосистеми РТО.** Із використанням отриманих у пункті 13 вказаної методики результатів проводиться прогнозування стану наземної екосистеми РТО на термін до 10 років. Отримані дані використовуються для корекції планів функціонування РТО з метою зменшення техногенного навантаження та планування відновлювальних (реабілітаційних) і природоохоронних заходів.

У цьому підрозділі детально розглянуто етапи методики оцінки та прогнозування стану наземних екосистем РТО. Виконання етапів згаданої методики дає можливість отримати інформацію щодо поточного стану наземної екологічної системи РТО та спрогнозувати розвиток ситуації з урахуванням інтенсивності функціонування РТО та відновлювальних (реабілітаційних) заходів.

### Висновки

1. Проведений загальний аналіз функціонування розподілених техногенних об'єктів (РТО) виявив високу потенційну загрозу впливу їхніх технологічних циклів на навколишнє природне середовище (НПС).

2. Аналіз стану системи екологічного моніторингу РТО виявив такі суттєві недоліки:

– методики оцінки та прогнозування стану НПС, що використовуються натеper, непристосовані для РТО, які характеризуються специфічним, заздалегідь спланованим або випадковим імпульсним техногенним впливом;

– оцінювання стану довкілля РТО проводиться головним чином шляхом контролювання техногенного впливу агресивної техногенної діяльності, а фактичний стан НПС майже не досліджується;

– відсутня система постійного спостереження за станом НПС. Спостереження починається лише у випадках виникнення надзвичайних ситуацій;

– для спостереження за якістю НПС застосовуються лише технічне обладнання і не використовується метод біоіндикації;

– у системі екологічного моніторингу НПС РТО відсутня всеохоплююча первинна різномірна інформація, яка може бути отримана від безпроводових сенсорних мереж.

3. Запропонована у статті методика обґрунтування вимог до безпроводових сенсорних мереж

інформаційного забезпечення систем оцінки та прогнозування стану природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів вказує на необхідність передбачити використання у складі БСМ датчиків первинної інформації про стан біотичних та абіотичних факторів НПС РТО.

4. Використання БСМ, склад сенсорів якої та їх розміщення будуть обґрунтовані на основі запропонованої методики, дадуть можливість застосувати концепцію індексно-біоіндикаторного підходу до побудови інтегральної оцінки поточного та прогнозного станів НПС РТО і тим самим забезпечити об'єктивність, точність та достовірність цих оцінок і врешті – сталий розвиток регіону розташування РТО, тобто завдяки використанню БСМ зробити ці РТО «зеленими».

### Список літератури:

1. Агробіорізноманіття України: Теорія, методологія, індикатори, приклади. Книга 1 / За редакцією О.О. Созінова, В.І. Придатка. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2005. 384 с.
2. Романченко І.С., Сбітнев А.І., Бутенко С.Г. Екологічна безпека: екологічний стан та методи його моніторингу. Київ : «Полісся», 2006. 560 с.
3. Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. Київ : НІСД, 2001. 312 с. Сер. «Екологічна безпека». Вип. 5.
4. Методологічні підходи до створення бази даних для системи керування станом навколишнього середовища в Збройних Силах України / І.С. Романченко, А.І. Сбітнев, С.М. Чумаченко, В.А. Слободяник. *Наука і оборона*. 2003. № 3. С. 50–56.
5. Дудкін О.В., Микитюк О.Ю. Національна доповідь про стан ІВА територій України / Українське товариство охорони птахів. Київ, 2001 р. 32 с.
6. Збереження і невиснажливе використання біорізноманіття України: стан та перспективи. / Під ред. Ю.Р. Шеляг-Сосонко. Київ : Хімджест, 2003. 246 с.
7. Збереження біорізноманіття України. Друга Національна доповідь. / Під ред. Я.І. Мовчана, Ю.Р. Шеляг-Сосонко. Київ : Хімджест, 2003. 110 с.
8. Галченко Ю.П. Методические подходы к оценке техногенного воздействия через изменение компонентов экосистем. *Экологические системы и приборы*. № 1. 2003. С. 29–37.
9. Данилишин Б.М., Ковтун В.В., Степаненко А.В. Наукові основи прогнозування природно-техногенної (екологічної) безпеки : монографія. Київ : Лекс Дім, 2004. 552 с.
10. Кучерявий В.П. Екологія. Львів : Світ, 2000. 500 с.
11. Математическая постановка задачи оптимального управления экологическим состоянием техногенно нагружаемых территорий. / А.И. Лысенко, С.Н. Чумаченко, И.В. Чеканова, А.Н. Турейчук. *Адаптивные системы автоматического управления*. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 5(25). Дніпропетровськ : Системні технології, 2002. С. 45–55.
12. Використання спостерігача Льюїнбергера для оцінки та прогнозування стану ускладненої агро-екосистеми із застосуванням математичного та комп'ютерного імітаційного моделювання / О.І. Лисенко, С.М. Чумаченко, І.В. Чеканова, А.М. Турейчук. *Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади*. Книга 2. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2005. С. 86–139.
13. EXPERT-MODELING DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE DEPLOYMENT AND MANAGEMENT OF A WIRELESS SENSOR NETWORK WITH MOBILE SENSORS AND TELECOMMUNICATION AIR PLATFORMS IN THE EMERGENCY ZONE SECURITY FORUM 2021 / Olexander Lysenko, Olena Tachinina, Valeriy Novikov, Iryna Alekseeva, Serhii Chumachenko, Andrii Tureichuk. 14th Annual International Scientific Conference February 10th, 2021 at Matej Bel University in Banská Bystrica, Slovakia Conference Proceedings Banská Bystrica, Slovakia, 2021. С. 249–258.
14. Принципи моделювання та прогнозування в екології / В.В. Богобоящий, К.Р. Курбанов, П.Б. Палій, В.М. Шмандій. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 216 с.
15. Лысенко А.И., Чумаченко С.Н., Турейчук А.Н. Комплексная оценка и прогнозирование состояния экосистемы техногенно-нагружаемой территории с применением балансовых уравнений и наблюдателя

Льюинбергера / Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6(35). Дніпропетровськ, 2004. С. 139–147.

16. Турейчук А.М. Місце сучасних програмних продуктів у забезпеченні екологічної безпеки техногенно-небезпечних видів діяльності. Нові технології. *Науковий вісник Інституту економіки та нових технологій ім. Кравченка*. Вип. 1(2). Кременчук, 2003. С. 66–59.

17. Intelligent control system for WSN and MANET / O. Lysenko, M. Sparavalo, V. Romaniuk, S. Valuiskyi. *Information and Telecommunication Sciences*, 2019. Volume 10. Number 2. P. 12–21. “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. ISSN 2312-4121. <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/188348>

18. Integrated computer technologies in mechanical engineering. O. Lysenko, V. Romaniuk, O. Tachinina, S. Valuiskyi. Chapter: The problems of control in wireless sensor and mobile ad-hoc networks, pages 385–404. Copyright: © 2020, Publisher Springer International Publishing, DOI: 978-3-030-37618-5\_33

19. Lysenko O., Tachinina O. *Handbook of Research on Artificial Intelligence Applications in the Aviation and Aerospace Industries*. Chapter 14. Methods for the Synthesis of Optimal Control of Deterministic Compound Dynamical Systems With Branch, p. 323–351.

20. SYNTHESIS OF DATA COLLECTION METHODS BY TELECOMMUNICATION AERIAL PLATFORMS IN WIRELESS SENSORS NETWORKS. / Anton V. Romaniuk, Valery A. Romaniuk, Myroslav Sparavalo, Olexandr I. Lysenko, Olexandr V. Zhuk. *Information and telecommunication sciences*. 2020. Vol. 11, no. 2.

21. Математичні моделі, методи та алгоритми оптимізації показників функціонування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами й телекомунікаційними аероплатформами. / В.І. Новіков, О.І. Лисенко, С.В. Валуйський, О.Г. Гуйда. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. Серія: Технічні науки. Т. 31(70). № 3. 2020. Ч. 1. С. 54–64.

**Lysenko O.I., Chumachenko S.M., Novikov V.I., Guida O.G., Tureychuk A.M., Sushyn I.O.**  
**METHODS OF SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS TO WIRELESS SENSOR NETWORKS OF INFORMATION SUPPORT OF SYSTEMS OF ASSESSMENT AND FORECASTING OF THE STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT OF THE TERRITORIES OF DISTRIBUTED TECHNOGENIC OBJECTS**

*The article is devoted to the development of methodological support for improving the objectivity of ecological monitoring of terrestrial ecological systems of distributed man-made objects on the basis of integrated use of information from wireless sensor networks on monitoring biotic and abiotic factors taking into account the accumulation of pollution in the environment distributed man-made objects.*

*The paper specifies the stages of a complex index-bioindicator methodology, which takes into account the applied (physical) formulation of the problem of assessing and forecasting the state of the ecological system of distributed man-made objects.*

*The method of substantiation of requirements to wireless sensor networks of information support of systems of estimation and forecasting of a condition of a natural environment of territories of the distributed technogenic objects is offered in article points to necessity to provide use as a part of wireless sensor networks objects.*

*It is substantiated that the use of wireless sensor networks, the composition of sensors and their location will be selected on the basis of the proposed method, will apply the concept of index-bioindicator approach to building an integrated assessment of current and forecast environmental conditions of distributed man-made objects. the effectiveness, accuracy and reliability of these estimates and, ultimately, the sustainable development of the region of location of distributed man-made objects.*

**Key words:** wireless sensor network, sensor, primary information sensor, distributed man-made object, environmental monitoring.

**Лихошерстов Д.О.**

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

**Лебедев Д.Ю.**

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

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ РОЗПІЗНАВАННЯ ДАКТИЛЬНОЇ-ЖЕСТОВОЇ МОВИ ДЛЯ СИСТЕМ СУРДОПЕРЕКЛАДУ

*У роботі проаналізовані сучасні рішення для визначення жестів при сурдоперекладі жестових мов, котрі базуються на основі розпізнавання жестів за допомогою різноманітних методів і підходів. Проаналізовані рішення, котрі використовують електронні системи на верхніх кінцівках людини. На противагу електронним системам, які носяться на кінцівках, досліджувалися рішення з окремими відеомодулями, котрі передавали відеоряд у програмні додатки обробки даних. Досліджувалася система сурдоперекладу із залученням людей в якості перекладача в реальному часі. Також розглядалися системи сурдоперекладу, що працюють на основі комп'ютерного зору. Сформовані основні, концептуальні недоліки кожного із рішень, які унеможливають інтеграцію досліджуваних систем у побут пересічних користувачів.*

*Доведено, що зазначені проблеми диктують необхідність створення єдиного програмно-апаратного підходу для систем розпізнавання дактильно-жестової мови під час сурдоперекладу та визначенно шляхи їх удосконалення, зокрема у напрямку спрощення використання. Розроблено удосконалену структурно-функціональну організацію системи розпізнавання дактильно-жестової мови.*

*На основі проведеного аналізу, запропоновані нові технічні рішення та розроблена блок-схема структури системи сурдоперекладу, що дозволить повноцінно вирішити процеси комунікації людей із вадами слуху та мовлення у суспільстві, а також у майбутньому, дозволить гарантувати людині з вадами слуху, що не потрібно буде проводити хірургічне втручання для встановлення кохлеарного імплантату. Обґрунтовано розширення функціональних можливостей системи розпізнавання жестів та сформовані напрями для їх подальшого вдосконалення.*

**Ключові слова:** сурдопереклад, дактиль, абетка жестів, передача даних, розпізнавання жестів.

**Постановка проблеми.** За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 430 млн людей у світі страждають на глухоту чи порушення слуху. 165 млн із них – особи у віці старше 65 років, 32 млн – діти молодші за 15 років. За оцінками, до 2050 р. понад 700 млн людей або кожен десятий буде мати проблеми зі слухом [1].

Відмінність людей із вродженими вадами слуху від людей, що втратили слух через різноманітні фактори, полягає у комунікації за допомогою мови жестів. Впорядкований рух руками та головою легко відтворює думки глухого і дана методика є значно зручнішою та швидшою, ніж методика комунікації набором тексту на клавіатурі цифрового пристрою. Складність виникає під час спілкування глухої людини з людиною без вад слуху, коли здорова людина не володіє мовою жестів.

В Україні згідно із різними даними налічується понад 120 тис. людей із порушенням слуху – глухих, котрі у повсякденному житті спілкуються за допомогою мови жестів.

Сучасні реалії України вказують на глибині проблеми комунікації людей із вадами слуху в суспільстві. За даними Всеукраїнської організації інвалідів «Українське товариство глухих», є лише 4 атестовані перекладачі [2] у Волинській області, і це більше ніж на 1 млн жителів [3]. Кількісно неможливо описати доступність об'єктів інфраструктури чи адаптованість середньої спеціальної або вищої освіти для осіб із вадами слуху. Тобто особливі потреби людей із вадами слуху майже повністю не адаптовано у суспільне життя в Україні.

Слід зазначити, що люди із вадами слуху використовують знакову мову спілкування. У сучасному світі існує декілька знакових систем спілкування для глухих:

- жестова мова – повноцінна знакова система й один із трьох засобів комунікації людей із вадами слуху;
- калькуюча жестова мова – будується на основі граматики словесної мови;
- дактильна азбука – кожен жест відповідає буквам алфавіту (рис. 1).



Рис. 1. Українська дактильна абетка

Для української дактильної абетки існують 33 дактильні жести (кожен жест відповідає кожній букві української абетки). Позначення дактилем в українській дактилології передається трьома способами:

- конфігурацією пальців;
- рухом пальців;
- рухом зап'ястя руки.

23 дактилеми зображаються лише конфігурацією пальців: А, Б, В, Г, Е, Ж, И, І, Л, М, Н, О, П, Р, С, Т, У, Ф, Х, Ш, Ч, Ю, Я.

9 дактилем – поєднанням конфігурації пальців і руху зап'ястя руки: Д, Є, З, І, Й, К, Ц, Щ, Ь.

Одна дактилема Г – поєднанням статичної конфігурації пальців і руху великого пальця. У роботі Ю.В. Крака, Ю.В. Барчукова, Б.А. Троценко «Побудова моделей дактилем для синтезу дактильної інформації» [4, с. 147] наведено приклад дактилем «Г – Г – Ь», що зображено на рис. 2.

Дактилеми	Зображення
Г – Г – Ь	

Рис. 2. Приклад дактилем «Г – Г – Ь»

Жестами можуть вважатися будь-які рухи та/або зміна положення кінцівок тіла. Вважається, що жестова мова є одним із найбільш популярних підходів до комунікації із людьми, що мають вади слуху.

Лише останніми роками держава, суспільство та наука почали працювати для покращення комунікативних умов життя глухонімих людей. Так, на сайті українського товариства глухих є набір відеороликів, котрі демонстру-

ють, як правильно відтворювати жестами слова української абетки [5].

Зазначені вище проблеми диктують необхідність проведення порівняльного аналізу наявних сьогодні систем розпізнавання дактильно-жестової мови для сурдоперекладу та визначення шляхів їх удосконалення, зокрема у напрямку популяризації та спрощення використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасному світі існують різні технології автоматичного розпізнавання мовних жестів. Будемо вважати жестами будь-які рухи або зміни положення частин тіла.

По-перше, необхідно розглянути системи, що використовують додаткові засоби для зчитування мови глухих. Допоміжним засобом може виступати носима електроніка на кінцівках людини для визначення жестів особи із вадами слуху. Так, у праці «Інерційна система розпізнавання жестів» М.О. Ярошенко, А.Ю. Варфоломеев, П.О. Яганов [6] розглядають інерційну систему розпізнавання жестів, котра реалізує процес ідентифікації жестів на основі алгоритму функціонування нейронної мережі BLSTM і використовує рукавицю, що одягається на руку людини.

Подібну концепцію було реалізовано групою студентів Вашингтонського університету у вигляді технологічної рукавиці SignAloud [7]. Набір датчиків у рукавицях фіксують положення і рух рук і надсилають дані через Bluetooth на центральний комп'ютер, який аналізує дані за допомогою різних послідовних статистичних регресій. Коли знайдено збіг із жестом, відповідне слово чи фраза відтворюється через динамік. В обох випадках основна ціль рукавиці – фіксувати положення долоні та пальців і таким чином передавати на обчислювальний комплекс набір жестів, котрі будуть перекладені. Такий підхід дозволяє у відносно простий спосіб визначати набір жестів і миттєво їх перекладати.

Основним недоліками таких рішень є рукавиця – у повсякденному житті людям не завжди зручно носити рукавицю із набором датчиків. Недоліком можна вважати й експлуатацію рукавиці у побуті.

По-друге, потрібно розглянути системи, що виконують переклад тексту чи голосу жестовою мовою за допомогою спеціалізованих додатків. У різних країнах на державному рівні реалізовані додатки, здатні виконувати переклад зі звукової мови знаковою із певними обмеженнями. Такі програми будемо називати однонаправленими, оскільки переклад виконується лише у напрямку жестової мови.

Як приклад, комп'ютерна програма ProDeaf (WebLibras), розроблена у Португалії у 2010 р., зчитує звуки або текст і перекладає португальською мовою жестів. Основним недоліком цього рішення є однонаправленість – можливість перекладати лише зі слів у жести. Зворотній процес не реалізовано.

В Україні Міністерство юстиції України інтегрує мобільний додаток ConnectPRO, що дозволить людям із порушенням слуху у більш зручний для себе спосіб отримати безоплатну правову допомогу на базі Четвертого київського місцевого центру з надання правової допомоги. Сама система працює у пілотному режимі за таким алгоритмом:

1. Адміністратор викликає перекладача жестової мови через додаток ConnectPRO.
2. Після встановлення відеозв'язку із перекладачем жестової мови адміністратор повертає пристрій до людини з вадами слуху.
3. Людина пояснює проблему жестами – оператор озвучує адміністратору жести та перекладає жестовою мовою слова адміністратора. Алгоритм зображено на рис. 3.



Рис. 3. Алгоритм роботи

Основними недоліками виступає людський фактор. Ніхто не може гарантувати наявність достатньої кількості сурдоперекладачів.

Нині актуальними є системи, які автоматично дозволяють виконувати сурдопереклад. Слід зазначити, що під автоматичним процесом перекладу розуміється фіксація у реальному часі жестів особи з вадами слуху в потоковому відеоряді, певним чином жести ідентифікувати і за допомогою обчислювальних систем ідентифіковані жести інтерпретувати у вигляді словесного/текстового вигляду. Також система повинна бути двонаправленою.

По-третє, розглянемо рішення, котрі використовують методи комп'ютерного зору для зчитування жестів у реальному часі.

Дослідники Китайської Академії наук разом зі спеціалістами Microsoft Research [8] використовують периферійний пристрій, сенсор рухів Microsoft

Kinect Xbox 360, для зчитування мови жестів осіб із вадами слуху, що стоять перед сенсором із подальшим перекладом його у розмовний текст.

Система, реалізована у праці В.Е. Нагапетяна та В.М. Хачумова [9, с. 59–66], працює із використанням сенсора-камери Asus Xtion Pro Live, котра зчитує положення руки та передає набір стоп-кадрів на обчислювальний комплекс для подальшого перекладу.

Загальним недоліком досліджуваних систем перекладу є відсутність універсальності, потреба у спеціалізованому обладнанні, що унеможливає використання їх у повсякденному житті.

**Постановка завдання.** На основі проведеного аналізу визначено параметри, що будуть покращуватися:

1. Слід розробити систему, яка не використовує специфічних підходів у реєстрації жестів. Замість камер або датчиків на кінцівках необхідно використовувати камери смартфонів. У повсякденному житті майже кожен має смартфон із камерою.

2. Розробити функціональний додаток, у якому реалізувати повний функціонал системи. Тобто додаток звертається до камери та зчитує потокове відео. Обробляє його, класифікує жести та виконує переклад. Відобразити для користувача переклад жестів.

3. Система повинна працювати й у зворотному напрямку – додаток використовує мікрофон для запису слів із подальшим перекладом жестами, котрі будуть показуватися на екрані смартфона для людини із вадами слуху.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проаналізувавши частину наявних рішень, пропонуємо підхід, що дозволить повноцінно вирішити процеси комунікації людей із вадами слуху та мовлення у суспільстві, а також у майбутньому дозволить гарантувати людині з вадами слуху, що не потрібно буде проводити хірургічне втручання для встановленню кохлеарного імплантата.

Для сурдоперекладу потрібно виділити на потоковому відеоряді об'єкт, який ідентифікують як «жест». Потім цей образ потрібно класифікувати. Крім того, у системах реального часу потрібно знати початок і кінець жесту у потоці відеокadrів. Для вирішення всіх складностей виникає потреба використання нейронних мереж.

Рішення базується на використанні смартфонів, на яких буде встановлений додаток сурдоперекладу, розробка якого буде виконана. Додаток залучає камеру смартфона для зчитування жестів. Далі відбувається обробка зчитаних даних на серверній частині та подальше відображення на дисплеї смартфона результатів перекладу.

Розроблювана повноцінна система, що буде функціонувати у реальному часі і здійснювати переклад між:

- об'єкт А – особа, що має вади слуху/мовлення;
- об'єкт Б – здорова особа.

В обох об'єктах чи в одного з об'єктів є смартфон, на якому запущений додаток, що виконує процеси цифрового сурдоперекладу. Кількість смартфонів не є ключовою, і запропонований алгоритм буде працювати на будь-якому пристрої із камерою та дисплеєм. У додатку будуть реалізовані режими роботи, які ґрунтуються на залученні одного або декілька смартфонів.

Слід зазначити, що ця система є двонаправленою, тобто здійснюється переклад того, що сказав об'єкт А до об'єкта Б та у зворотному напрямку. Отже, сам алгоритм можна описати такими процесами (будемо описувати алгоритм перекладу від об'єкта «А» до об'єкта «Б»):

1. Камера направлена на об'єкт А та здійснює фільмування об'єкта А. У реальному часі відеоряд передається на серверну частину, де на вхід нейромережі подається відеоряд.

2. Нейромережа з відеоряду класифікує жести, що відповідають за букви класичного алфавіту. Зображення із кожного кадра передається в таблицю відповідності, де кожному жесту ставиться у відповідність певна літера/слово. Сформований набір перекладеної інформації відправляється на смартфон іншого учасника.

3. Об'єкт Б бачить у додатку на смартфоні у текстовому форматі те, що сказав об'єкт А за допомогою жестів.

Удосконалена структурно-функціональна організація системи розпізнавання дактильно-жестової мови представлена на рис. 4, де літерою «П» позначають скорочення слова «процес», а цифра вказує на номер процесу в алгоритмі перекладу. У цій схемі представлено двох співрозмовників, у кожного є смартфон зі встановленим додатком.

Процес № 1: Відбувається зчитування інформації, котру потрібно буде перекласти. Якщо переклад від об'єкта «А» до об'єкта «Б», то використовуємо камеру смартфона, а якщо навпаки, то мікрофон або текстовий набір на дисплеї смартфона.

Процес № 2: Формування файлу вхідної інформації. Процес необхідний для визначення коректності введених даних.

Процес № 3: Сурдопереклад

– Процес № 3.1 Передача інформації із мобільного додатку на сервер для подальшої обробки може відбуватися за допомогою кодування даних [10, с. 81]. На сервері виконується обробка поточкового відео (із відеоряду визначається набір жестів, що відповідає українській дактильній абетці) та передача набору стоп-кадрів на вхід системи сурдоперекладу.

– Процес № 3.2 Оброблена інформація відправляється на смартфон іншого учасника.

Процес № 4: Виведення перекладеної інформації у додатку.

Процес № 5: Зчитування об'єктом інформації.

**Висновки.** Проведено аналіз наявних рішень для сурдоперекладу та встановлено, що нині не існує єдиного програмно-апаратного рішення, яке би вирішувало всі проблеми комунікації між особами з вадами слуху.

Наведені приклади систем демонструють, що вони не є універсальними та потребують значних покращень.

На основі порівняльного аналізу визначені основні критерії покращення систем сурдоперекладу, а саме удосконалена структурно-функціональна організація системи для спрощення використання.

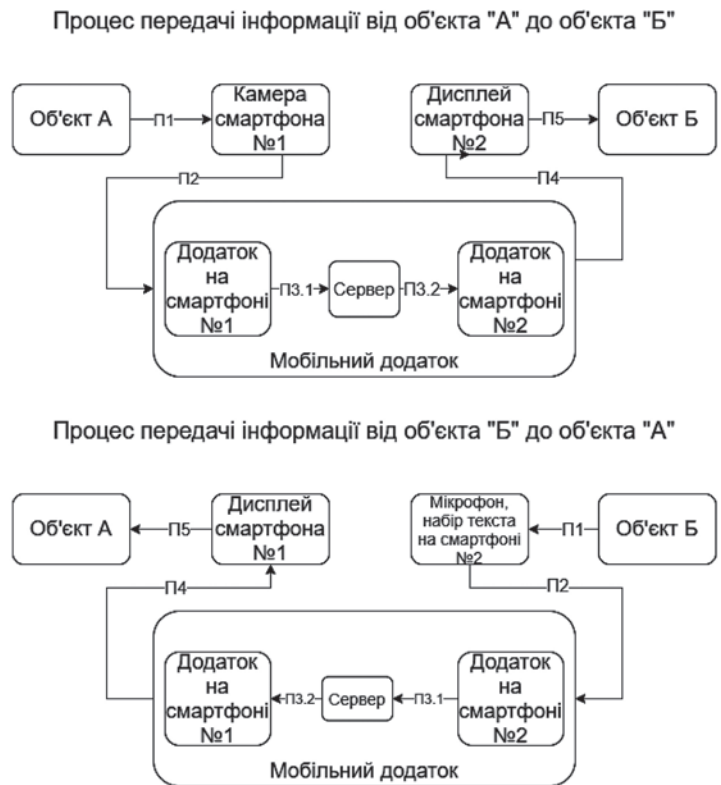


Рис. 4. Удосконалена структурно-функціональна організація системи розпізнавання дактильно-жестової мови

Напрямом подальших досліджень є реалізація запропонованих у роботі удосконалень, направлених на розширення функціональних можливостей систем розпізнавання дактильної-жестової мови для сурдоперекладу з елементами звукового контролю.

#### Список літератури:

1. Всесвітня організація охорони здоров'я. Deafness and hearing loss. 2021. URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>.
2. Українське товариство глухих. Реєстр перекладачів жестової мови. 2021. URL: <https://utog.org/perekladachi/reestr-perekladachiv>
3. Українське товариство глухих. Чисельність населення на 1 грудня 2020 року. 2021. URL: [http://www.lutsk.ukrstat.gov.ua/18\\_1\\_11.htm](http://www.lutsk.ukrstat.gov.ua/18_1_11.htm)
4. Крак Ю.В., Барчукова Ю.В., Троценко Б.А. Побудова моделей дактилем для синтезу дактильної інформації. *Штучний інтелект*. 2011. № 3. С. 147-155.
5. Про набір жестів в асоціації глухих. URL: <https://utog.org/zhestova-mova/vivchaemo-zhestovu-movu/>
6. Yaroshenko M.O., Varfolomeiev A.Y., Yaganov P.O. Інерційна система розпізнавання жестів. *Мікросистеми, електроніка та акустика*. 2019. № 24 (5). С. 42–47.
7. Рукавиці SignAloud. URL: <https://www.washington.edu/news/2016/04/12/uw-undergraduate-team-wins-10000-lemelson-mit-student-prize-for-gloves-that-translate-sign-language/>
8. Microsoft uses Kinect to interpret sign language from deaf people. URL: <https://www.pcworld.com/article/448415/microsoft-uses-kinect-to-interpret-sign-language-from-deaf-people.html>
9. Нагапетян В.Е., Хачумов В.М. Автоматичне перетворення жестів російської ручної азбуки в текстовий вигляд. *Штучний інтелект і прийняття рішень*. 2013. № 3. С. 59–67.
10. Шаповал І.В., Лебедев Д.Ю. Алгоритм роботи пристрою AES шифратора. *Проблеми інформатизації та управління*. 2016. № 1 (53). С. 87–91.

#### **Lykshosherstov D.O., Lebedev D.Yu. ANALYSIS OF MODERN DACTYL-GESTURE SPEECH RECOGNITION SYSTEMS FOR SURDOTRANSLATION WITH ELEMENTS OF SOUND CONTROL**

*The work analyzes modern solutions for the definition of gestures in sign language, which work on the basis of reading gestures using different approaches. In this paper, a review of solutions that use wearable electronics on the upper extremities. In contrast to wearable electronics, solutions with separate video modules that transmitted video for analyze to data processing software applications. Was studied the system of sign language translation with the involvement of people as a translator in real time. Computer-based sign language translation systems were also considered. Was formed the main, conceptual shortcomings of each of the solutions that make it impossible to integrate research systems into the lives of ordinary users.*

*It is proved that these problems dictate the need to create a single software and hardware approach for recognition of dactyl-sign language during sign language translation and identify ways to improve them, in particular, in the direction of popularization and simplification of use.*

*Based on the analysis, proposed ways to improve the technical solutions and developed a block diagram of the structure of the sign language translation system, which will fully address the communication processes of people with hearing and speech impairments in society.*

*This will guarantee a person with hearing impairments in the future that it will not be necessary to perform operations to install a cochlear implant. The expansion of the functional capabilities of the gesture recognition system is substantiated and vectors are formed for their further improvement.*

**Key words:** sign language translation, dactyl, sign alphabet, data transfer, gesture recognition.



## ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.032.26

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/08>

**Галаган Р.М.**

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

**Момот А.С.**

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

**Протасов А.Г.**

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

**Петрик В.Ф.**

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

**Богдан Г.А.**

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

### ТЕСТУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВИХ МОДУЛІВ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЇ ДЕФЕКТОМЕТРІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

*На основі аналізу існуючих видів та методів активного теплового контролю розроблено автоматизовану систему аналізу даних теплового контролю для визначення характеристик дефектів у багатошарових матеріалах. Основними складниками програмної частини системи є три нейромережеві модулі, кожен з яких призначений для вирішення окремої задачі – визначення типу, глибини залягання і товщини дефекту.*

*У середовищі NI LabVIEW розроблено застосунок у вигляді віртуального приладу, що реалізує алгоритм роботи системи теплової дефектометрії. Описано єдиний інтерфейс користувача, за допомогою якого виконується комплексний аналіз послідовностей термограм. Описано математичний апарат, який використовується в нейромережевих модулях.*

*За допомогою комп'ютерного моделювання отримано набори даних для тестування запропонованої системи. Описано схему структури віртуальних навчальних зразків із багатошарового вуглепластику, які використовувались для формування множини векторів температурних профілів від дефектів з різними характеристиками. Результати імітаційного моделювання процесу активного теплового контролю були опрацьовані нейромережевими модулями для виявлення та класифікації дефектів, визначення їх глибини залягання і товщини. На основі отриманих даних побудовано бінарну карту дефектів та зображення внутрішньої структури тестового зразка. Доведено високу ефективність визначення характеристик дефектів за якісними та кількісними показниками із застосуванням описаної автоматизованої системи.*

**Ключові слова:** теплові зображення, нейронні мережі, дефектометрія, неруйнівний контроль, моделювання.

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток теплового неруйнівного контролю (далі – НК) нерозривно пов'язаний з розробленням та впровадженням новітніх методів цифрової обробки термограм. Це зумовлено тим, що теплові зображення, які є вхідними даними для аналізу і на основі яких має бути прийнято рішення про наявність дефектів та їхні геометричні характеристики, зазвичай є досить зашумленими внаслідок впливу великої кількості взаємопов'язаних чинників. Класичні підходи до оброблення термограм, на жаль, в умовах дії високих рівнів завад не забезпечують достовірного виявлення дефектів [1]. Причому більшість із них дозволяють визначити тільки розташування та поперечні геометричні розміри і не дозволяють визначити товщину та глибину залягання дефектів. Саме тому актуальним завданням є розроблення автоматизованих систем теплового НК, які забезпечували би високу інформативність та достовірність.

Основним напрямом розвитку теплового контролю сьогодні є активний тепловий неруйнівний контроль (далі – АТНК), який полягає в аналізі динамічного теплового поля об'єкту контролю (далі – ОК) під час його нагрівання та охолодження. Під час цього процесу з певною кадровою частотою записуються послідовності термограм, які є двовимірними цифровими зображеннями. Проте термограми не несуть основну інформацію про параметри та характеристики дефектів. Основним джерелом інформації є одновимірні температурні профілі.

Температурні профілі – це графіки зміни температури в часі окремої ділянки виробу. Мінімальні розміри такої ділянки визначаються розмірами пікселів термограми. Температурні профілі відрізнятимуться для дефектної і бездефектної ділянок. На основі аналізу форми, часових і фазових характеристик температурних профілів визначають глибину залягання та розміри дефектів.

У роботі [2] було показано, що серед різноманітних методів цифрової обробки даних для аналізу температурних профілів найкраще застосовувати нейронні мережі (далі – НМ) зворотного поширення похибки. Перевагою нейронних мереж є їхня висока гнучкість та адаптивність, завдяки чому можливо вирішувати задачі, які сьогодні неможливо розв'язати традиційними статистичними або аналітичними методами. Зокрема, традиційними методами товщину (розкрив) дефектів у тепловому НК можна оцінити лише відносно [3]. Використання ж НМ дозволяє отримати кон-

кретні числові значення товщини дефектів з точністю до одиниць відсотків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх досліджень показує, що в АТНК для аналізу даних застосовується перетворення Фур'є або вейвлет-аналіз [4], які є основою методу динамічної теплової томографії [5]. Також популярним є метод аналізу головних компонент [6]. Як і метод динамічної теплової томографії, так і метод аналізу головних компонент мають свої переваги і недоліки, однак загальним для них є те, що вони не є універсальними та адаптивними [7]. У роботі [8] описано результати застосування методів глибинного навчання для контролю композиційних матеріалів. Зокрема, доведено ефективність застосування НМ для виявлення дефектних зон та їх класифікація.

У роботі [1] було виконано порівняння існуючих методів обробки термограм, зокрема, методу вейвлет-перетворення, аналізу головних компонент, динамічної теплової томографії та нейронних мереж. За результатами аналізу з урахуванням усіх переваг і недоліків рекомендовано у складі автоматизованих систем активного теплового контролю застосовувати НМ, які здатні працювати в умовах високих рівнів завад та ефективно вирішувати багатопараметрові нелінійні задачі [9]. Завдяки НМ у тепловому контролі вирішуються такі задачі, як: класифікація дефектів, дефектометрія, томографія та побудова карт дефектів.

**Постановка завдання.** Важливою складовою частиною автоматизованої системи АТНК є програмне забезпечення, яке потребує тестування та оцінки ефективності. З метою перевірки працездатності та ефективності розробленого програмного забезпечення необхідно виконати навчання нейромережових модулів та перевірити результат їхньої роботи на основі масиву вхідних даних. Однак виникає проблема з тим, де знайти необхідну кількість теплових зображень, адже їх необхідно тисячі для навчання мережі та перевірки її працездатності. Завдяки комп'ютерному моделюванню можна отримати послідовності термограм для різних ОК, умов та схем контролю. Це дозволить протестувати роботу всієї системи, оцінити її метрологічні характеристики, вибрати оптимальні налаштування та створити велику базу множин навчальних векторів для НМ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У середовищі NI LabVIEW було реалізовано алгоритми оброблення даних системи АТНК у вигляді віртуального приладу, передня панель якого показана на рис. 1.

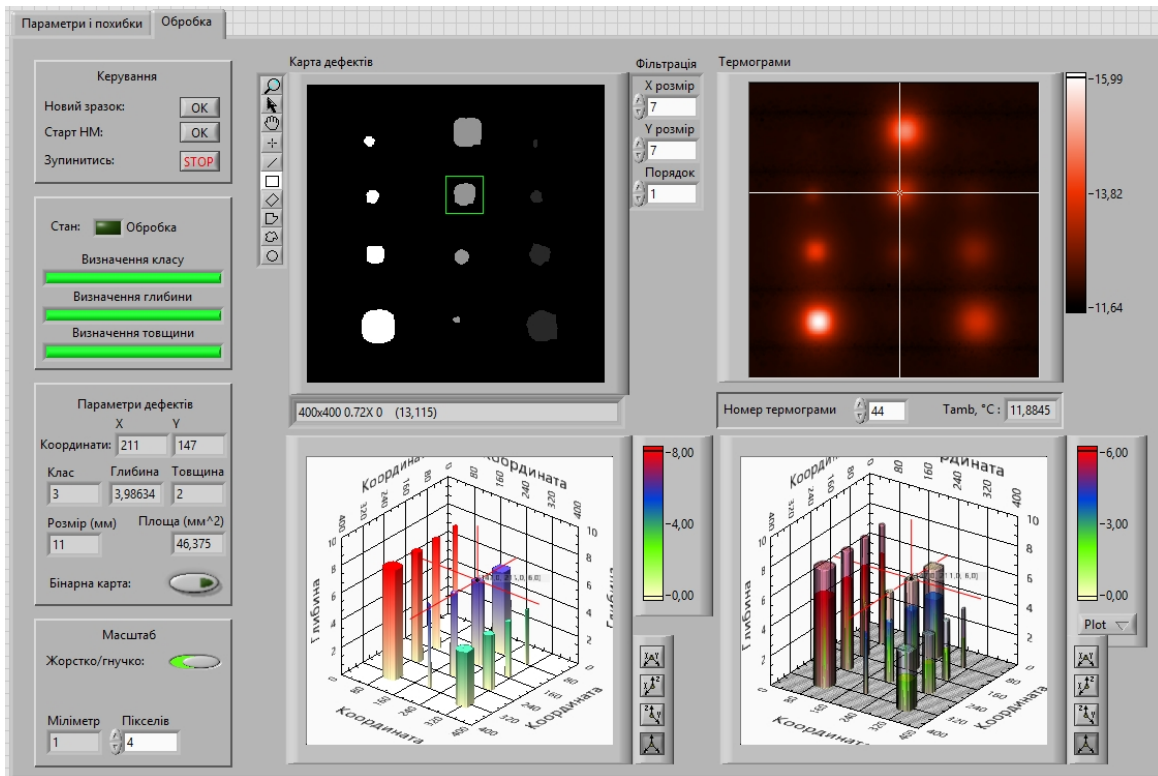


Рис. 1. Інтерфейс віртуального приладу системи теплової дефектометрії

Інтерфейс системи (див. рис. 1) складається із 4-х графічних вікон, в яких відображаються карти дефектів, початкові термограми та теплові томограми. Для кожного графічного вікна передбачено власний набір інструментів, який дозволяє оператору виконати дії, щоб отримати додаткову інформацію. Зокрема, на основі карти дефектів оператор може виміряти поперечні розміри та площу дефектів, їх глибину залягання та товщину. Ці характеристики відображаються на панелі «Параметри дефектів», де також вказується клас (а фактично тип) дефекту. У вікні відображення термограм можна вибрати номер записаної термограми та виміряти надлишкову температуру в тій чи іншій точці. У вікні теплової томограми відтворюється форма дефектів у вигляді напівпрозорих стовпчиків. Така спрощена структура відображення форми та товщини дефектів на теплових томограмах пов'язана лише з тим, що в середовищі NI LabVIEW немає ефективних засобів відтворення 3D-зображення.

Програмна частина системи теплової дефектометрії складається із трьох окремих нейромережових модулів, кожен з яких призначений для вирішення окремої задачі: 1) визначення типу дефекту, 2) визначення глибини залягання дефекту, 3) визначення товщини дефекту. Хоча всі три задачі можна було би вирішити за допомогою однієї НМ, проте такий підхід призвів би до зна-

чного зростання складності структури НМ, збільшення похибки та обчислювальних витрат. Усі нейромережові модулі побудовані з використанням інструментів NNtool середовища MATLAB за типовими алгоритмами нейронної мережі зворотного поширення похибки. Код MATLAB було інтегровано в середовище NI LabVIEW за допомогою модуля MathScriptRT. Такий підхід зумовлено тим, що MATLAB є більш низькорівневою мовою, ніж графічна мова програмування G, що використовується в NI LabVIEW. А це призводить до збільшення швидкодії, що є вкрай важливим за умови оброблення великих об'ємів даних.

На рис. 2 представлено блок-діаграму одного з нейромережових модулів.

Вхідними даними для роботи нейромережових модулів є набори термограм, які мають бути отримані з тепловізійної апаратури. При цьому дані можуть або передаватись у реальному часі, або бути заздалегідь збереженими, після чого імпортованими в програму. Параметри кожного нейромережового модуля задаються окремо оператором або за допомогою елементів керування на графічному інтерфейсі, або імпортуються із текстових файлів.

Із трьох нейромережових модулів першим відпрацьовує модуль визначення типу дефектів. Його робота починається з нормалізації та масштабування вхідних даних за формулою:

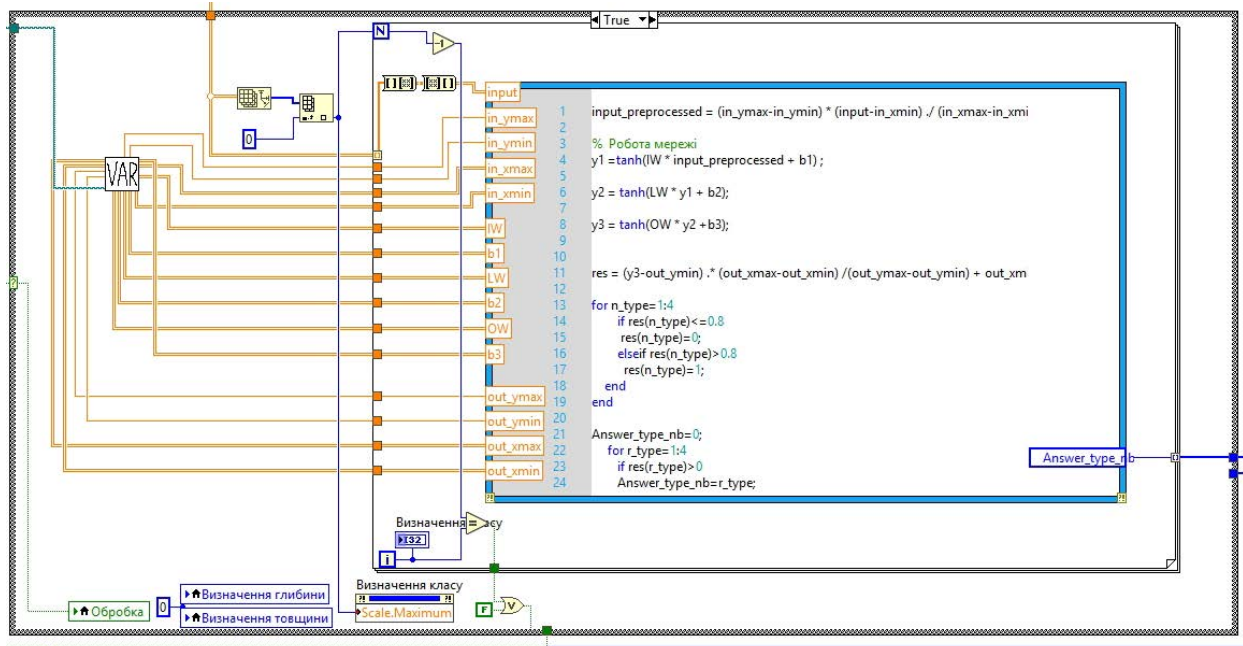


Рис. 2. Блок-діаграма модуля для роботи з НМ

$$in_{prep} = \frac{(y_{max} - y_{min}) \cdot (in - x_{min})}{(x_{max} - x_{min})} + y_{min},$$

де  $in_{prep}$  – нормалізований вхідний вектор,  $y_{max}$  та  $y_{min}$  – максимальне та мінімальне значення нейронів вхідного прошарку відповідно,  $in$  – вхідний вектор значень температурного профіля,  $x_{max}$  та  $x_{min}$  – максимальне та мінімальне значення вхідного вектора відповідно.

Далі обчислюються значення нейронів у прихованих прошарках. Зокрема, стан нейронів першого прихованого прошарку розраховується за формулою:

$$y_1 = \tanh(IW \times in_{prep} + b_1),$$

де  $y_1$  – вектор значень нейронів першого прихованого прошарку,  $IW$  – матриця синаптичних ваг між вхідним та першим прихованим прошарками,  $b_1$  – вектор зміщень нейронів першого прихованого прошарку.

Стан нейронів другого прихованого прошарку розраховується аналогічно до першого:

$$y_2 = \tanh(LW \times y_1 + b_2),$$

де  $y_2$  – вектор значень нейронів другого прихованого прошарку,  $LW$  – матриця синаптичних ваг між першим та другим прихованими прошарками,  $b_2$  – вектор зміщень нейронів другого прихованого прошарку.

Якщо є більше двох прихованих прошарків, то стан нейронів у них обчислюється аналогічно описаному вище.

Значення нейронів вихідного прошарку, які є відповідно мережі, розраховуються за формулою:

$$y_{out} = \tanh(OW \times y_n + b_{out}),$$

де  $y_{out}$  – вектор значень нейронів вихідного прошарку,  $OW$  – матриця синаптичних ваг між останнім прихованим  $y_n$  та вихідним прошарками,  $b_{out}$  – вектор зміщень нейронів вихідного прошарку,  $n$  – кількість прихованих прошарків.

Після того, як отримано значення нейронів вихідного прошарку, відбувається зворотне масштабування даних, яке необхідне для узгодження значень вихідних нейронів з діапазоном вхідних даних:

$$res = \frac{(y_{out} - y_{out\ min}) \cdot (x_{out\ max} - x_{out\ min})}{(y_{out\ max} - y_{out\ min})} + x_{out\ min},$$

де  $res$  – вихідний вектор,  $y_{out\ min}$  та  $y_{out\ max}$  – мінімальне та максимальне значення вихідного вектора відповідно,  $x_{out\ min}$  та  $x_{out\ max}$  – мінімальне та максимальне значення вихідних нейронів відповідно.

Дані, які містить вихідний вектор, фільтруються з використанням такої залежності:

$$Y[i] = \begin{cases} 1, & res[i] \geq 0,8, \\ 0, & res[i] \leq 0,8 \end{cases}$$

де  $Y[i]$  – вихідні значення після фільтрації,  $i = 1 \dots m$ ,  $m$  – кількість вихідних нейронів.

Таким чином, вихідний вектор  $Y$  міститиме тільки бінарні значення – «0» або «1». Значення «1» прийме елемент вихідного вектора (нейрон), номер якого відповідає номеру визначеного класу, всі інші елементи матимуть значення «0».

Після фільтрації бінарний код класу перетворюється в десятковий номер класу  $N_{cl}$  за таким алгоритмом:

$$N_{cl} = \begin{cases} 1, Y[1] = 1, \\ 2, Y[2] = 1, \\ \dots \\ m, Y[m] = 1 \end{cases}$$

Після визначення десяткового номера класу завершується поточна ітерація, а на вхід НМ подається наступний вектор значень температурного профілю, після чого всі дії повторюються. Після обробки всіх температурних профілів завершується цикл роботи НМ, що призначена для класифікації дефектів.

Після завершення роботи першої НМ будується карта дефектів. Цей етап є дуже важливим, оскільки на вхід наступних нейромережових модулів передаються лише вектори теплових профілів у точках термограми, які класифіковані як дефектні. Такий підхід дозволяє значно підвищити швидкість всієї системи. Після першого етапу запускається другий нейромережовий модуль, за допомогою якого визначають глибину залягання дефекту. Останнім відпрацьовує модуль визначення товщини дефектів. На основі результатів роботи двох останніх модулів будується теплова томограма.

Для тестування роботи розробленого програмного забезпечення було синтезовано набір вхідних даних за допомогою комп'ютерного моделювання активного теплового контролю у програмному пакеті COMSOL Multiphysics, який є одним із найбільш оптимальних рішень для аналізу, розв'язку та імітації різноманітних фізичних явищ та інженерних задач. Для вирішення поставлених задач використовувався модуль Heat transfer in solids.

У COMSOL Multiphysics були створені моделі пластин квадратної форми з довжиною сторони 100 мм та товщиною 10 мм, всередині яких на різній глибині розміщені штучні моделі дефектів різного розміру (рис. 3). Основними параметрами моделювання були такі: густина потужності теплового потоку – 10 кВт, час нагріву – 0,3 с. За результатами моделювання сформовано 50 термограм, що мають роздільну здатність 400x400 пікселів. Після цього відбулась конвертація даних таким чином, що в кожній із 160 000 точок були сформовані вектори температурних профілів, кожен з яких складався із 50 елементів (відповідно до кількості термограм).

Усього було створено моделі одного тестового та трьох навчальних зразків, які мали аналогічну конфігурацію, але відрізнялись місцезонаванням, розмірами дефектів та їх типом. Схема тестового зразка відповідає показаній на рис. 3. Різним кольором позначені дефекти різних типів:

білий – повітряні порожнини, червоний – паперові включення, синій – алюмінієві включення. На відміну від тестового кожен навчальний зразок містив дефекти лише одного конкретного типу. Під час моделювання процесу АТНК застосовувались однакові умови як для навчальних зразків, так і тестових.

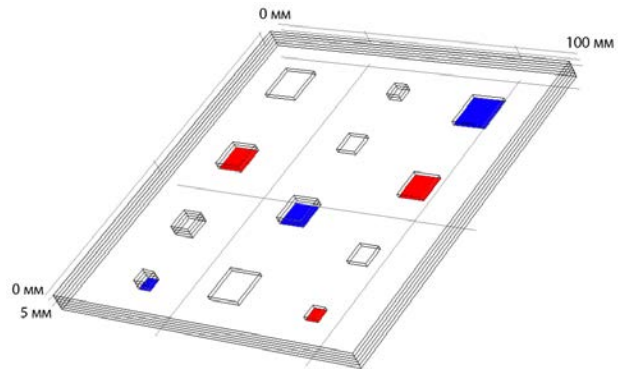


Рис. 3. Схема комп'ютерної моделі зразка

Вибірка температурних профілів формувалась із сигналів від усіх штучних дефектів, які містились у кожному навчальному зразку. Наступним етапом стало формування навчальних пар – векторів температурних профілів, які використовувались як предиктори, та відповідних їм цільових характеристик (клас (тип) дефекту, його глибина залягання та розкриття). Наприклад, навчальні пари для нейромережового модуля виявлення та класифікації дефектів складались із температурних профілів та правильних кодів класів, поданих у форматі one-hot encoding. Бездефектній ділянці у відповідність було поставлено клас № 1, дефекту у вигляді повітряної порожнини – клас № 2, дефекту у вигляді паперового включення – клас № 3, дефекту у вигляді алюмінієвого включення – клас № 4. Навчальні пари для модулів визначення глибини та товщини дефектів формувались аналогічно, тільки замість кодів класів цільовими значеннями (правильними відповідями мережі) були відповідні величини в кількісній шкалі (у мм).

Загальний обсяг навчальної вибірки становив 27 933 зразків температурних профілів. З них 53% відповідали точкам із бездефектних ділянок навчальних зразків, 23% – дефектам у вигляді повітряних порожнин, 11% – дефектам у вигляді алюмінієвих включень, 13% – дефектам у вигляді паперових включень. У такому розподілі спостерігається певна незбалансованість, що могло негативно вплинути на результати навчання нейронних мереж. Загальна множина вхідних векторів була розділена на навчальну, валідаційну

і тестову підмножину у співвідношенні 70% / 15% / 15% відповідно.

Архітектура всіх нейромережових модулів складалась із двох внутрішніх прошарків. Перший внутрішній прошарок містив 12 нейронів, другий – 4. Активаційною функцією для нейронів внутрішніх прошарків вибрано гіперболічний тангенс. Як оптимізатор використовувався алгоритм Левенберга-Маркарда. Критерієм якості нейромережової моделі вибрано середнє суми квадратів помилок (MSE).

У результаті навчання на тестовій множині отримано такі значення MSE: модуль виявлення та класифікації – 0,007, модуль визначення глибини залягання дефекту – 0,052 мм<sup>2</sup>, модуль визначення товщини дефекту – 0,037 мм<sup>2</sup>.

З метою оцінки якості роботи системи на даних, які взагалі не використовувались під час навчання нейромережових модулів, було проведено опрацювання результатів моделювання контролю тестового зразка. Отримані кількісні показники точності визначення характеристик дефектів наведені в таблиці 1.

Помилка класифікації температурних профілів становила 10,52%. Це досить велике значення, яке свідчить, що багато точок термограми були розпізнані як дефектні, хоча ними не є. Пояснюється це тим, що під час моделювання іміту-

вався вплив високого рівня теплової дифузії, щоб наблизити умови моделювання до реальних умов контролю. Внаслідок цього виникають значні спотворення форми теплових відбитків дефектів. Що стосується критерію Танімото, то його значення – 89,48%. Такий результат можна назвати дуже хорошим у порівнянні з аналогічними дослідженнями [10].

На рис. 4а показана бінарна карта дефектів, отримана в результаті аналізу запропонованою системою результатів контролю тестового зразка. Дефекти позначені різним кольором у відповідності до класу, до якого їх віднесла нейронна мережа (білий – повітряні порожнини, сірий – паперові вclusions, темно-сірий – алюмінієві вclusions). Порівнюючи карту зі схемою тестового зразка на рис. 3, можна зробити висновок, що в цілому класифікація за типом відбулась безпомилково. Неправильно класифіковані температурні профілі спостерігаються лише на межах дефектів. Зображення внутрішньої структури ОК показане на рис. 4б.

**Висновки.** Розроблено єдиний інтерфейс системи теплової дефектометрії, який містить зручні інструменти для аналізу результатів АТНК. Завдяки застосуванню нейромережових технологій вдалось автоматизувати процес виявлення та класифікації дефектів, а також визначення

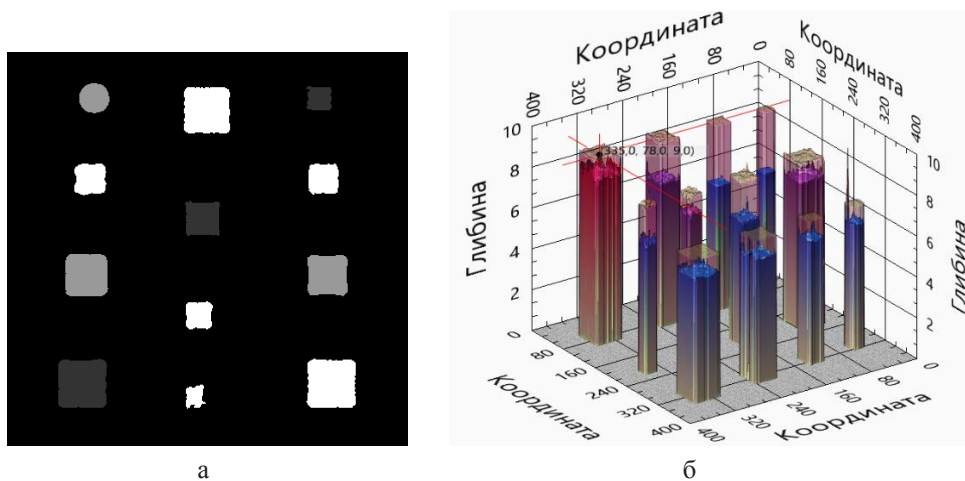


Рис. 4. Результати контролю тестового зразка: а – карта дефектів, б – внутрішня структура

Таблиця 1

Похибки вимірювання параметрів дефектів

Параметр	Клас (тип дефекту)	Глибина залягання	Товщина
Критерій Танімото, %	89,48	-	-
Помилка класифікації температурних профілів, %	10,52	-	-
Середнє суми квадратів помилок (MSE), мм <sup>2</sup>	-	0,1	0,49
Гранична відносна похибка, %		±7,97	±2,41

глибини їх залягання та товщини. Тестування нейромережових модулів на основі даних, що отримані за допомогою комп'ютерного моделювання, показало високу ефективність у класифікації дефектів та точність визначення геометричних характеристик дефектів навіть за наявності сильного впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Особливістю будь-якої системи на основі нейромережових технологій є необхідність великої кількості даних (датасетів) для навчання мережі. Для розробленої системи такими даними мали би бути десятки тисяч термограм, отриманих на основі контролю реальних зразків, однак їх поки що не існує. Саме тому формування датасету для навчання мережі та її тестування відбувалось на основі комп'ютерного моделювання.

Перед впровадженням подібної системи в реальні умови теплової дефектометрії необхідно буде вирішити питання з наявністю наборів реальних термограм для навчання НМ. Тому рекомендується використовувати дану систему для контролю однотипних виробів, що потребуватиме лише однократного навчання НМ та не призводитиме до ускладнення їхньої архітектури. Ще одним фактором, який буде впливати на результат і який доведеться врахувати, – це параметри тепловізійної апаратури.

Основним призначенням розробленої системи є контроль багат шарових та композиційних матеріалів. Подальші дослідження будуть пов'язані з тестуванням системи на реальних зразках, підвищенням її швидкодії та організації процесу оброблення даних у реальному часі.

#### Список літератури:

1. Галаган Р.М., Момот А.С. Аналіз методів цифрової обробки термограм. *Вісник Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут. Серія : «Приладобудування»*. 2018. № 55. С. 108–117.
2. Galagan R., Momot A. Analysis of application of neural networks to improve the reliability of active thermal NDT. *KPI Science News*. 2019. Vol. 1. P. 7–14.
3. Thermal (IR) and Other NDT Techniques for Improved Material Inspection / D. Balageas et.al. *Journal of Nondestructive Evaluation*. 2016. Vol. 35 (1).
4. Ahmed J., Gao B. Woo W. Wavelet-Integrated Alternating Sparse Dictionary Matrix Decomposition in Thermal Imaging CFRP Defect Detection. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2019. Vol. 15 (7). P. 4033–4043.
5. Vavilov V. Dynamic thermal tomography: Recent improvements and applications. *NDT & E International*. 2015. Vol. 71. P. 23–32.
6. Sun J. Analysis of data processing methods for pulsed thermal imaging characterization of delamination. *Quantitative InfraRed Thermography Journal*. 2013. Vol. 10 (1). P. 9–25.
7. A complex approach to the development of the method and equipment for thermal nondestructive testing of CFRP cylindrical parts. *Composites Part B: Engineering* / V. Vavilov et.al. 2015. Vol. 68. P. 375–384.
8. Saeed N., Omar M., Abdulrahman Y. A neural network approach for quantifying defects depth, for nondestructive testing thermograms. *Infrared Physics & Technology*. 2018. Vol. 94. P. 55–64.
9. Вавилов В.П., Нестерук Д.А. Активный тепловой контроль композиционных материалов с использованием нейронных сетей. *Дефектоскопия*. 2011. № 10. С. 10–18.
10. Analyzing efficiency of optical and THz infrared thermography in nondestructive testing of GFRPs by using the Tanimoto criterion / A. Chulkov et. al. *NDT & E International*. 2021. Vol. 117. P. 102–383.

#### **Galagan R.M., Momot A.S., Protasov A.G., Petryk V.F., Bohdan H.A. TESTING OF NEURAL NETWORK MODULES OF THERMAL DEFECTOMETRY SYSTEM USING SIMULATION MODELING**

*Based on the analysis of existing types and methods of active thermal non-destructive testing, an automated system of data analysis of thermal testing has been developed to determine the characteristics of defects in multilayer materials. The main components of the software part of the system are three neural network modules. The modular structure facilitates the construction and modification of the system, increases the overall efficiency of its work by optimizing the settings of the modules to solve specific problems.*

*In software NI LabVIEW was developed an application in the form of virtual instruments that implement the algorithm of the thermal data analysis system. A single user interface is described, through which a comprehensive analysis of thermogram sequences is performed. Describes the mathematics used in neural network modules.*

*The results of computer simulation of the process of active thermal testing were processed by neural network modules for detection and classification of defects, determination of their depth and thickness. Based on the obtained data, a binary map of defects and an image of the internal structure of the test sample were constructed. The high efficiency of determining the characteristics of defects by qualitative and quantitative indicators with the use of the described automated system is proved.*

**Key words:** *thermal images, neural networks, measurement characteristics of defects, non-destructive testing, modeling.*

**Гнедюк В.Л.**

Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз  
Служби безпеки України

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ І ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ЛЮДЬМИ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ В СУЧАСНОМУ СОЦІУМІ

*У сучасному світі надзвичайно швидкими темпами розвивається тенденція на автоматизацію різноманітних процесів, що дозволяє спростити життя членам соціуму. Автоматизація стосується всіх сфер людського життя, починаючи від робочих моментів, їх спрощення й автоматизації монотонних процесів, до управління великими системами, на кшталт житлового будинку. Системи автоматизації процесів усередині житлових приміщень та управління ними, або технології розумних будинків набувають широкої популярності в сучасному соціумі за рахунок спрощення побутових процесів у домі, які для деяких категорій людей стають абсолютно необхідними для нормального функціонування у власному домі.*

*У статті здійснено аналіз основних механізмів роботи розумних будинків з огляду на потреби людей з обмеженими фізичними можливостями. Проведено дослідження основних існуючих рішень з огляду на потреби людей з обмеженими фізичними можливостями, проведено оцінку можливості використання даних рішень у незмінному вигляді для помешкань людей з обмеженими фізичними можливостями.*

*На основі результатів створено гіпотезу про необхідність розроблення кастомного рішення, яке в повній мірі буде задовольняти потреби і вирішувати побутові необхідності людей з обмеженими фізичними можливостями, обґрунтовано актуальність подібного рішення та створено перелік основних вимог до функціонального складника подібного роду систем, що дасть можливість максимально адаптувати розуміння звичного розумного будинку під цілі й потреби людей з обмеженими фізичними можливостями.*

*Виходячи з порівняння отриманих функціональних вимог до систем розумних будинків, адаптованих для людей з обмеженими фізичними можливостями, з функціональними можливостями існуючих популярних рішень на ринку розумних будинків, зроблено висновок про неадаптованість сучасних розумних будинків під людей з обмеженими фізичними можливостями, їхні потреби, особливості й способи використання технології.*

**Ключові слова:** автоматизація, розумний будинок, людина з обмеженими фізичними можливостями, адаптація, функціональні вимоги, функціональні можливості.

**Постановка проблеми.** Технологічний прогрес сучасного світу рухається з величезною швидкістю та заповнює всі сфери людського життя. Технології оточують нас кожен день з усіх боків, починаючи з наших смартфонів і годинників і закінчуючи розумними будинками. Основна проблема дослідження полягає в необхідності аналізу адаптованості сучасних технологій розумних будинків під потреби людей з обмеженими фізичними можливостями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більша частина авторитетних публікацій стосовно технологій розумних будинків належить іноземним спеціалістам, таким як Чері Превілл, Мухаммед Асадулла, Ларс Бергер, Андреас Швагер, які займаються дослідженням і вдосконаленням технологій розумних будинків і мають велику вагу в даній сфері.

**Постановка завдання.** Мета статті – проаналізувати існуючі рішення у сфері технологій розум-

них будинків, виявити рівень їх адаптованості до потреб людей з обмеженими фізичними можливостями, розглянути актуальність створення власних кастомних рішень у даній сфері.

**Виклад основного матеріалу.** Усі рішення, пов'язані з апаратними системами, основані на мікроконтролерах. Мікроконтролер (MCU для блоку мікроконтролера) – це невеликий комп'ютер на одній мікросхемі інтегральної схеми (ІС) з оксиду напівпровідників металу (МОП). Мікроконтролер містить один або кілька процесорів (процесорних ядер) разом із пам'яттю та програмованими периферійними пристроями вводу/виводу. Пам'ять програм у вигляді сегментованої оперативної пам'яті, флеш-пам'яті NOR або ПЗП ОТР також часто входить до складу мікросхеми, а також невелика кількість оперативної пам'яті. Мікроконтролери призначені для вбудованих програм, на відміну від мікро-



процесорів, що використовуються в персональних комп'ютерах або інших рішеннях, які націлені на загальні потреби, що складаються з різних дискретних мікросхем.

У сучасних термінах мікроконтролер схожий на систему на чіпі SoC, але не такий складний. SoC може включати один із компонентів мікроконтролера, але зазвичай він інтегрує його з передовими периферійними пристроями, такими як графічний процесор (GPU), модуль Wi-Fi або один чи кілька співпроцесорів. Одна з галузей, де широко використовуються мікроконтролери – це ніша розумних будинків.



**Рис. 1. Плата ATmega2561, яка часто використовується для створення схем розумних будинків**

Тема розумних будинків останнім часом набуває популярності серед молодого покоління, яке намагається автоматизувати і спростити все, що можна, і наділити якимось інтелектом навіть пилосос.

Фактично, smart-home – це апаратно-програмна система, в якій поєднані електронні й механічні компоненти будинку, направлена на спрощення управління і зведення його до одного девайсу. Ці пристрої можна підключити до комп'ютерної мережі, щоб користувач зміг керувати ними за допомогою комп'ютера та надавати віддалений доступ через Інтернет. Завдяки інтеграції сімейних інформаційних технологій продуктивність усіх систем та пристроїв узгоджується між собою, порівнюючи зазначені процедури та зовнішні показники (середовище).

Система «розумний дім» допомагає ефективніше використовувати ділову діяльність, автоматизувати певні побутові процеси та урізноманітнювати дозвілля. Хоча розумний будинок – дорога технологія, яка вимагає планування із самого початку будівництва будинку та якісного обладнання, є й інші рішення. Найпростіший будинок у проекті можна доповнити деяким сучасним

обладнанням, яке розширить функції житлового простору та сприятиме мобільності.

Наприклад, зараз за допомогою технології розумного будинку печі можуть повідомляти власників, коли їх потрібно прибрати. І коли холодильник потребує технічного огляду, він це «скаже». Якщо в будинку є непроханий гість, сигналізація може викликати службу безпеки та номер власника будинку одночасно. За допомогою кількох кімнатних приміщень будинок може визначити, хто із членів сім'ї пересувається по квартирі, і ввімкнути освітлення (температуру/ музику тощо), відповідне цій людині. Або, наприклад, «розумний замок» використовує з'єднання Bluetooth для запису, коли людина зі смартфоном виходить із кімнати. Можна використовувати спеціально створені ключі, щоб надати доступ друзям та родині. Щоразу, коли хтось відкриває двері, власник отримує повідомлення на телефон.

Розумний будинок створений компанією, що займається розробками проектів розумного будинку за допомогою професійного дизайну та програмування. Програми, введені в алгоритм багатокімнатного розумного будинку, розроблені для задоволення конкретних потреб мешканців та ситуацій, пов'язаних зі змінами навколишнього середовища чи безпекою. Однією з характеристик розумного будинку є дистанційне управління, людина може натиснути кнопку на пульті дистанційного керування, щоб створити певне середовище. Водночас багатокімнатна система сама аналізує навколишні умови та параметри в кімнаті та виконує команди, вказані користувачем із відповідними налаштуваннями відповідно до власних висновків. Крім того, електронні пристрої, встановлені в розумному домі, можна об'єднати в побутову універсальну мережу «plug and play», яка має доступ до Інтернету.

Окрім звичних способів використання, в останній час активно набирають популярність рішення розумних будинків для людей з обмеженими фізичними можливостями. Через певні функціональні обмеження організму така людина не може в повній мірі забезпечувати свій побут, наприклад, на постійній основі контролювати стан вимикачів світла і води, стан ролетів на вікнах, будь-які побутові справи, які вимагають великої фізичної активності.

До того ж серед сучасних рішень існують варіанти розумних будинків, які керуються головними командами, без необхідності натискати кнопки, тримати смартфон чи мати доступ до комп'ютера, що дозволяє спростити життя цілком

паралізованій людині, адже в такому стані навіть буденні речі, на кшталт вимкнення телевізору або світла, стають проблемою.

Такий стан речей приносить легкість у деякі повсякденні справи, а іноді навіть рятує життя, якщо в системі є підсистема, яка відповідає за безпеку та охорону або виклик швидкої медичної допомоги.

Домашня автоматизація поширена в різних сферах, включаючи:

- Опалення, вентиляцію та кондиціонування повітря (HVAC): можливе дистанційне керування всіма домашніми моніторами енергії через Інтернет, що включає простий та дружній користувацький інтерфейс [1; 2];

- Систему управління освітленням: «розумна» мережа, яка включає зв'язок між різними входами та виходами системи освітлення, використовуючи один або кілька центральних обчислювальних пристроїв;

- Систему управління з урахуванням зайнятості: можна відчути заселення будинку за допомогою розумних лічильників [3] та датчиків навколишнього середовища, таких як датчики CO<sub>2</sub> [4], які можна інтегрувати в систему автоматизації будівель, щоб викликати автоматичні реакції на енергоефективність та будівництво;

- Управління побутовою технікою та інтеграція з інтелектуальною мережею й інтелектуальним лічильником, використовуючи, наприклад, високу продуктивність сонячних панелей у середині дня для роботи пральних машин [5; 6];

- Домашніх роботів та охорону: побутова система безпеки, інтегрована із системою домашньої автоматизації, може надавати додаткові послуги, такі як дистанційне спостереження за камерами безпеки через Інтернет або контроль доступу та центральне блокування всіх дверей та вікон по периметру [7];

- Виявлення витоків, детектори диму та CO [8];

- Системи позиціонування в приміщенні (IPS);

- Домашню автоматизацію для людей похилого віку та інвалідів;

- Догляд за домашніми тваринами та немовлятами, наприклад, відстеження рухів домашніх тварин і дітей та контроль за доступом до них [9];

- Контроль якості повітря (всередині й зовні). Наприклад, датчик якості повітря використовується людьми вдома для моніторингу якості повітря і рівня забруднення в місті та створення карти забруднення [10].

- Розумну кухню з інвентарем для холодильників, готовими програмами приготування їжі, стеженням за приготуванням їжі тощо.

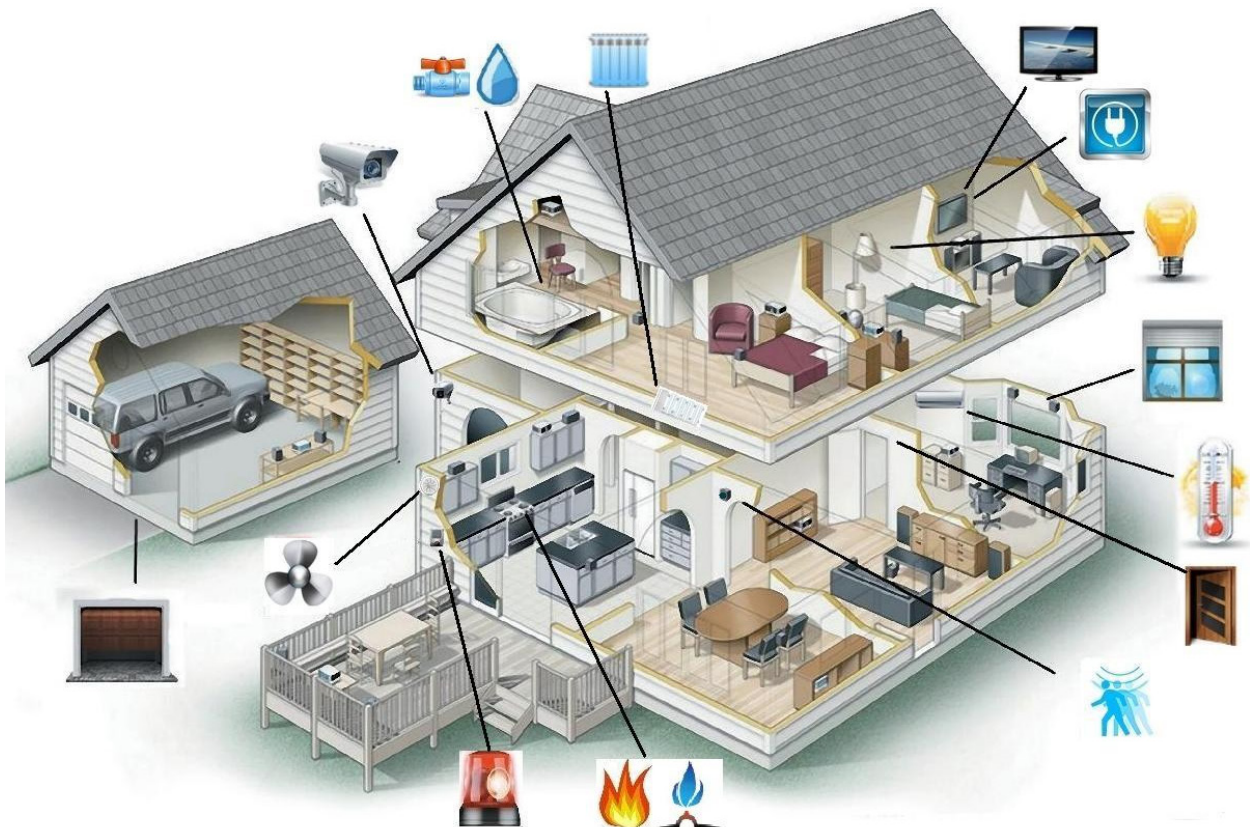


Рис. 2. Приблизна схема «стандартного» розумного будинку

– Пристрої голосового управління, такі як Amazon Alexa або Google Home, використовуються для управління побутовою технікою або системами.

*Існуючі варіанти систем розумного будинку. Провідна система автоматизації.* Суть дротової системи «розумний дім» полягає в тому, що все обладнання управління – датчики, вимикачі, обладнання клімат-контролю та різні панелі управління – з'єднані через одну дротову інформаційну шину, яка надсилається на виконання, розташоване в щиті (переважно).

Основні переваги:

- Надійність. Сигнал від виділеного проводу надійний;
- Різні інтегровані системи. У порівнянні з бездротовими системами дротові системи легше інтегрувати з режимами клімату, аудіо та відео;
- Тривалий термін служби. У системі немає обладнання, що живиться від акумулятора, і його потрібно регулярно міняти;
- Пожежна безпека. Усі вимикачі мають низький струм, електричні та пожегобезпечні.

Виробники провідних систем автоматизації:

- Z-Wave
- Vitrum
- Zamel
- Ectostroy

Основний недолік такого роду систем полягає саме в наявності основного щита, який знаходиться в певній кімнаті, що унеможливає використання подібного роду системи людиною з обмеженими фізичними можливостями.

*Децентралізована система автоматизації.* У розподіленій системі розумного будинку кожен привід має мікропроцесор з пам'яттю, яка не залежить від енергопостачання. Це пояснює надійність таких систем. Якщо виходить із ладу один пристрій, вся система працює нормально, за винятком пристрою, підключеного до даного девайсу. Рішенням, яке показує суть децентралізованої системи, є «smart-home», побудований за протоколом KNX. Його перевагами є:

- Надійність. Усі пристрої незалежні від сусідів і мають пам'ять, яка не залежить від енергопостачання;
- Популярність. Наприклад, стандарт KNX дуже популярний, і у вас не виникне труднощів з обслуговуванням;
- Можливість використання додаткових логічних блоків для відповідальності за конкретні сценарії;
- Великий вибір панелей управління за дизайном та функціональними можливостями.

Виробники децентралізованих систем:

- ABB
- Gira
- Berker
- Bticino
- Vimar
- Jung
- HDL

Даний вид систем нічим не відрізняється від попереднього, тобто абсолютно не пристосований до використання людьми з обмеженими фізичними можливостями.

*Відкрита система автоматизації протоколів.* Протокол – це мова для спілкування всіх пристроїв у «розумному домі». Якщо протокол KNX прийнятий, він відкритий. Багато виробників випускають пристрої, які працюють цією мовою. Асоціація KNX перевіряє їх сумісність.

Переваги:

- 1) Велика кількість виробників на вибір. Це означає, що існує велика кількість варіантів обладнання з точки зору дизайну, ціни та особливостей;
- 2) Постійні апдейти. Розробники конкурують у сегменті ринку, змушуючи їх розробляти та винаходити нові пристрої.

Виробники систем автоматизації відкритих протоколів:

- Berker
- Bticino
- Vimar
- Jung
- HDL

Основний недолік подібних систем з точки зору використання людиною з обмеженими фізичними можливостями – неможливість додавати спеціалізовані пристрої (наприклад, підйомник на сходах) через необхідність тестування і сертифікації кожного пристрою.

*Системи автоматизації із закритим протоколом.* З метою спрощення розроблення, зменшення фінансових витрат на створення устаткування розробники створюють девайси, які функціонують на власному закритому протоколі. Кожні розробники мають свої закриті протоколи, які недоступні іншим. Переваги закритої системи:

- надає цікаві рішення за нижчою ціною;
- вартість зазвичай нижча, ніж у відкритій системі протоколів (хоча це не завжди так);
- швидше реагує на ринковий попит.

Приклади виробників систем із закритим протоколом:

- ABB free @ home
- Vimar By-Me

- Vticino MY HOME
- HDL BUS PRO

Головний недолік такого роду систем – усічений функціонал та повна відсутність можливості швидко модернізувати систему під потреби людини, яка нею користується.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновки про відсутність на ринку систем розумних будинків, які адаптовані під потреби людей з обмеженими фізичними можливостями. Деякі виробники займаються виготовленням подібного роду систем під замовлення, проте це пов'язано з необґрунтованими фінансовими витратами.

Відсутність підходящих рішень на ринку означає однозначну необхідність створення власних систем, основними характеристиками яких будуть дешевизна, швидкість виготовлення, можливість кастомізації.

Основні вимоги до кастомних систем розумних будинків, створених для користувачів з обмеженими фізичними можливостями:

- невелика ціна;
- можливість швидко додавати до системи нові елементи;
- велика сумісність зі сторонніми модулями;
- повне голосове управління;
- відсутність великої кількості щитків і вимикачів;

– наявність функції виклику екстрених служб «із коробки»;

– наявність максимальної кількості сигнальних датчиків, пов'язаних з модулем виклику екстрених служб;

– можливість виклику людини зі списку «швидких контактів»;

– однократне налаштування всього функціоналу з пульта керування.

Система, яка буде мати в собі вищеописані функції, може вважатися адаптованою для людей з обмеженими фізичними можливостями за рахунок функціональних вимог, які базуються на чіткому розумінні особливостей життя і потреб таких людей.

**Висновки.** Отже, ринок сучасних розумних будинків не підготовлений до потреб і особливостей життя людей з обмеженнями фізичних можливостей, що призводить до підвищення актуальності створення власної реалізації системи розумного будинку, адаптованої до потреб даної групи членів соціуму.

Подальша перспектива дослідження полягає в проектуванні власного проекту розумного будинку, який буде задовольняти описаним функціональним вимогам, у результаті чого він буде затребуваний на ринку і серед користувачів.

#### Список літератури:

1. Cherie P. Control Your Castle: The Latest in HVAC Home Automation. ACHRNews, 2013.
2. Muhammad A. An Overview of Home Automation Systems Conference Paper. 2016. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7791223>
3. Spanos J. Virtual Occupancy Sensing: Using Smart Meters to Indicate Your Presence. IEEE Transactions on Mobile Computing. 2017. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7882676>
4. Spanos J. Occupancy Detection via Environmental Sensing. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering. 2016. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7742900>
5. Berger L. Smart Grid Applications, Communications, and Security. Devices, Circuits, and Systems. CRC Press. 2014. URL: <https://www.wiley.com/en-gb/Smart+Grid+Applications%2C+Communications%2C+and+Security-p-9781118004395>
6. Tips: Smart Appliances | Department of Energy // energy.gov. URL: <https://web.archive.org/web/20150929063327/http://energy.gov/energysaver/tips-smart-appliances>
7. Griffiths M. Smart Home Security. Homebuilding & Renovating. 2016. URL: <https://www.homebuilding.co.uk/technology>
8. Nest Protect / Smoke and CO Alarms – Consumer Reports News. 2016. URL: [www.consumerreports.org](http://www.consumerreports.org) ; URL: <http://www.consumerreports.org/cro/news/2014/02/consumer-reports-review-of-nest-protect-smoke-and-co-alarm/index.htm>
9. Sure Flap – Smart Cat Flap Coming Soon! – News – Smart Home Geeks // Smart Home Geeks. 2017. URL: <https://www.smarthomegeeks.co.uk/news/smart-cat-flap/>
10. Maged K. On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities. International Journal of Health Geographics. 2014. URL: <https://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-13-10>

**Gnediuk V.L. TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SMART HOME TECHNOLOGIES AND THEIR USE BY PEOPLE WITH DISABILITIES IN MODERN SOCIETY**

*In today's world, the trend towards automation of various processes is developing at an extremely fast pace, which allows to simplify the lives of members of society. Automation applies to all areas of human life, from work moments, their simplification and automation of monotonous processes, to the management of large systems, such as a house. Indoor process automation and control systems, or smart home technologies, are gaining popularity in modern society by simplifying household processes in the home, which for some categories of people become absolutely necessary for the proper functioning of their own home.*

*The article analyzes the main mechanisms of operation of smart homes in view of the needs of people with disabilities. A study of the main existing solutions taking into account the needs of people with disabilities, an assessment of the possibility of using these solutions in the same form for the homes of people with disabilities.*

*Based on the results, a hypothesis was created about the need to create your own, custom solution that will fully meet the needs and solve household problems of people with disabilities, substantiated the relevance of such a solution and created a list of basic requirements for the functional component of such systems. maximally adapt the understanding of the usual smart home to the goals and needs of people with disabilities.*

*Based on the comparison of the obtained functional requirements for smart home systems adapted for people with disabilities, with the functionality of existing popular solutions in the smart home market, it is concluded that modern smart homes are not adapted to people with disabilities, their needs, features and ways to use technology.*

**Key words:** *automation, smart home, people with disabilities, adaptation, functional requirements, functionality.*

**Дворецький М.Л.**

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

**Дворецька М.М.**

Миколаївський муніципальний колегіум імені Володимира Дмитровича Чайки  
Миколаївської міської ради Миколаївської області

**Фаленкова М.В.**

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

## **ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ЗНАЧЕНЬ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ**

*Серед різних способів оцінювання рівня знань учнів, отриманих під час навчання в загальноосвітній школі, особливої уваги заслуговує зовнішнє незалежне оцінювання (далі – ЗНО). Основним критерієм щодо ефективності системи прийому до закладу вищої освіти має бути забезпечення належної якості підготовки абітурієнтів, які прийняті на навчання. Але для оцінки якості знань абітурієнтів, які були зараховані, треба проводити додаткові дослідження щодо успішності навчання студентів першого або й інших курсів та порівнювати отримані дані з результатами зовнішнього незалежного оцінювання з різних предметів. Конкурсний бал абітурієнту складається з результатів ЗНО з декількох предметів та середнім балом атестата. Метою є виявлення ступеня впливу результатів кожного з предметів зовнішнього незалежного оцінювання на подальшу успішність студентів та визначення на його основі вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта для відповідної спеціальності. Для досягнення мети автором вирішено низку завдань. Так, розглянуто підходи оцінювання рівня знань учнів, проаналізовано дані щодо результатів ЗНО, вплив коефіцієнтів кожного зі складників на формування конкурсного бала абітурієнта. Створено математичну модель представлення вхідних даних результатів ЗНО та сесії студентів, а також визначено цільову функцію під час оцінювання ступеня оптимальності вагових коефіцієнтів. Завдання підбору оптимальних вагових коефіцієнтів вирішено за допомогою генетичного алгоритму та виконано аналіз отриманих результатів. У результаті було вивчено аспекти формування загального конкурсного бала абітурієнта, а також використання генетичних алгоритмів для подібного класу завдань, а на основі запропонованої математичної моделі знайдено оптимальні вагові коефіцієнти складників конкурсного бала абітурієнта.*

**Ключові слова:** ЗНО, конкурсний бал, абітурієнт, вагові коефіцієнти, цільова функція, природна нормалізація, генетичний алгоритм, фітнес-функція.

**Постановка проблеми.** Є різні способи оцінювання рівня знань учнів, отриманих під час навчання в загальноосвітній школі. Серед них можна згадати проведення випускних іспитів, аналіз бала атестата про загальну середню освіту, наявність успішних виступів на олімпіадах, сертифікатів про участь у позакласних заходах тощо. Зокрема, слід указати на роль зовнішнього незалежного оцінювання (далі – ЗНО) [1, с. 1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Система ЗНО в Україні почала формуватися за підтримки міжнародних та громадських організацій. Позитивними наслідками її впровадження стало наближення української освіти до міжнародних, зокрема європейських, стандартів, зменшення корупції, можливість вступу до університету неза-

лежно від матеріальних статків. Певна річ, ЗНО має і певні недоліки, як-от наявність помилок у завданнях, певна необ'єктивність, можливість скласти тест, діючи «навмання» та інші [2, с. 1]. Але слід пам'ятати, що ЗНО – це лише інструмент оцінювання випускників для вступу до закладу вищої освіти (далі – ЗВО). Він демонструє рівень знання шкільної програми і не призначений для вимірювання якості освіти [3, с. 1; 4, с. 1].

Якісна освіта передбачає володіння не лише знаннями, а й компетенціями, які тестує програма міжнародного оцінювання учнів PISA. Крім оцінки предметних компетенцій, метою PISA є також визначення чинників, що впливають на рівень навчальних досягнень учнів у світі [5, с. 1]. Але PISA проводить більш глибокий аналіз, що

може бути використано для визначення загальних тенденцій щодо рівня освіти і подальшого його розвитку. ЗНО ж покликане виявити поточний рівень знань із певного предмета окремого учня.

Основним критерієм щодо ефективності системи прийому до ЗВО має бути забезпечення належної якості підготовки абітурієнтів, які прийняті на навчання. Але для оцінки якості знань абітурієнтів, які були зараховані, треба проводити додаткові дослідження щодо успішності навчання студентів першого або й інших курсів та порівнювати отримані дані з результатами ЗНО з різних предметів.

Конкурсний бал абітурієнта складається з результатів ЗНО з декількох предметів та середнім балом атестата. Кожен зі складників має ваговий коефіцієнт і, відповідно, різний ступінь впливу на вступ абітурієнта до ЗВО на бюджетну або контрактну форму навчання. Ці коефіцієнти визначаються на розсуд ЗВО, однак не завжди є адекватними вимогам тієї чи іншої спеціальності [6, с. 1].

Для рішення завдань оптимізації, прикладом якої є підбір значень коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта, можуть бути використані приблизні методи рішень, до яких належать і генетичні алгоритми. Вони є методами перебору рішень для тих завдань, у яких неможливо знайти рішення за допомогою математичних формул.

Зважаючи на вищенаведене, дослідження з використання генетичного алгоритму для розрахунку значень вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта є актуальним.

**Постановка завдання.** Наукова гіпотеза полягає в такому: маючи дані щодо балів ЗНО та подальших результатів сесії студентів, можна визначити оптимальні значення вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта, за яких рейтинговий бал студентів за результатом сесії буде максимально наближеним до конкурсного бала абітурієнта.

Об'єктом дослідження є зв'язок результатів зовнішнього незалежного оцінювання та сесії студентів ЗВО. Предметом дослідження є визначення ступеня впливу окремих складників на загальний конкурсний бал абітурієнта. Метою дослідження є виявлення ступеня впливу результатів кожного з предметів зовнішнього незалежного оцінювання на подальшу успішність студентів, та визначення на його основі вагових коефіцієнтів складових конкурсного бала абітурієнта для відповідної спеціальності.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: розглянути підходи оцінювання рівня знань учнів, зокрема зовнішнє незалежне оцінювання, проаналізувати дані щодо результатів ЗНО, вивчити вплив коефіцієнтів складників на формування кон-

курсного бала абітурієнта; створити математичну модель представлення вхідних даних результатів ЗНО та сесії студентів, визначити цільову функцію під час оцінювання оптимальності обраних вагових коефіцієнтів; визначити переваги використання генетичного алгоритму порівняно з використанням точних методів на базі повного перебору; виконати вирішення завдання пошуку оптимальних вагових коефіцієнтів за допомогою генетичного алгоритму та навести аналіз одержаних результатів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Новацією умов прийому у 2015 р. є запровадження вагових коефіцієнтів до кожного зі складників конкурсного бала. Оскільки умовами прийому тепер не визначають профільний предмет для вступу. Це робить ЗВО, присвоюючи складникам конкурсного бала вагові коефіцієнти. Сума коефіцієнтів має дорівнювати одиниці [7, с. 1]. Для вступу на перший курс для здобуття ступеня бакалавра на основі повної загальної середньої освіти конкурсний бал (далі – КБ) обчислюється за такою формулою:

$$КБ = K1 \times П1 + K2 \times П2 + K3 \times П3 + K4 \times А + K5 \times МЛ + K6 \times ОУ, \quad (1)$$

де П1, П2 – оцінки зовнішнього незалежного оцінювання або вступних іспитів із першого та другого предметів; П3 – оцінка зовнішнього незалежного оцінювання, вступного іспиту з третього предмета або творчого конкурсу (за шкалою 100–200); А – середній бал атестата за шкалою 100–200 [6, с. 1; 8, с. 1]. Сума коефіцієнтів К1, К2, К3, К4, К5, К6 має дорівнювати 1.

Для перевірки відповідності конкурсного бала рейтинговому було складено порівняльну таблицю, фрагмент якої наведено на рис. 1. Таблиця включає місце за рейтингом для кожного складника та загального значення конкурсного бала. Для 3–7 колонок сірим кольором підсвічені комірки, результати складників конкурсного бала яких є значно гіршими за результати сесії (різниця більше 5); синім – трохи гірші за результати сесії (різниця між 3 та 5); жовтим – трохи краще (різниця між 3 та 5); зеленим – набагато краще (різниця більше 5). Для 1–2 та 8 колонок – ті ж самі кольори, але порівнюється результат сесії із загальним конкурсним балом.

#	Прізвище Ім'я По батькові	Укр. мова	Математика	Дисц. за вибором	Атестат	Загальний бал	Сесія
1	Шкіль Р. І.	9	9	10	1	10	1
2	Афонін Ю. С.	1	1	7	3	1	2
3	Бойко Д. Д.	26	27	31	30	31	3
4	Бектін К. О.	7	4	1	6	3	4

Рис. 1. Порівняння місця за рейтинговим та конкурсним балом

Під час розрахунку загального бала було використано дійсні коефіцієнти складників конкурсного бала на факультеті комп'ютерних наук ЧНУ імені П. Могили («укр. мова» – 0,5, «математика» – 0,2, «вибірковий предмет» – 0,2, «атестат» – 0,1). Дані порівняльної таблиці вказують на невідповідність місця згідно з конкурсним та рейтинговим балами, що може свідчити про некоректність дійсних вагових коефіцієнтів.

Далі проілюструємо, як саме встановлення різних коефіцієнтів може вплинути на значення конкурсного бала та рейтингове місце абітурієнта у вступному списку. Для цього наведемо фрагмент розрахунку конкурсного бала для спеціальності «Інженерія програмного забезпечення» за двома варіантами. 1-й варіант за поточними значеннями коефіцієнтів: математика – 0,2, українська мова – 0,5, фізика або іноземна мова – 0,2 та середній бал атестата – 0,1. 2-й варіант: математика – 0,5, українська мова – 0,2, фізика або іноземна мова – 0,2 та середній бал атестата – 0,1.

Отримані результати наведено в порівняльній таблиці (табл. 1), у якій також наведемо колонку «різниця у рейтингу», що показуватиме, на скільки місць могло б змінитися положення абітурієнта в рейтингу.

На значення конкурсного бала абітурієнта впливає шість таких складників: результати з трьох предметів зовнішнього незалежного оцінювання (або двох предметів та творчого конкурсу), середній бал атестата про загальну середню освіту, бал за мотиваційний лист та особливі успіхи. Так, на факультеті комп'ютерних наук Чорноморського національного університету імені Петра Могили першими двома предметами є українська мова та математика, а третім – дисципліна за вибором – фізика або іноземна мова (англійська, французька, німецька або іспанська) [8, с. 1].

Кожен зі складників конкурсного бала має всій ваговий коефіцієнт, відповідно до якого один із предметів має більший вплив на значення конкурсного бала порівняно з іншими.

Для можливості використання середнього бала атестата в загальній формулі необхідно виконати переведення до однієї одиниці виміру. Оскільки результати зі складання предметів зовнішнього незалежного оцінювання представлені у 200-бальній шкалі, а середній бал атестата – у 12-бальній, необхідно виконати переведення середнього бала атестата у 200-бальну шкалу за такою формулою:

$$A_{200} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } A_{12} < 1 \\ 100, & \text{якщо } 1 \leq A_{12} \leq 2 \\ 100 + (A_{12} - 2) \times 10, & \text{якщо } A_{12} > 2 \end{cases}, \quad (2)$$

де  $A_{12}$  – середній бал атестата у 12-бальній шкалі, а  $A_{200}$  – середній бал у 200-бальній шкалі.

Формула конкурсного бала виглядає так:

$$KB = \sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_i + \text{коэф}_A \times A_{200} + \text{коэф}_{\text{мл}} \times \text{МЛ} + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}, \quad (3)$$

де  $\Pi_i$  – результат зовнішнього незалежного оцінювання з  $i$ -го предмета у 200-бальній шкалі,  $\text{коэф}_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го предмета,  $A_{200}$  – середній бал у 200-бальній шкалі,  $\text{коэф}_A$  – коефіцієнт середнього бала атестата [9, с. 161].

Рейтинговий бал за результатами сесії складається з балів із дисциплін, що склалися студентами протягом однієї сесії. Цей рейтинг є індикатором успішності навчання студента та загального рівня засвоєння пройденого матеріалу. Безперечно, рівень засвоєння матеріалу студентами залежить від того базового рівня знань, із яким студенти розпочинають своє навчання у закладі вищої освіти, що відображений у конкурсному балі абітурієнта.

Під час розрахунку рейтингового бала студента за результатами сесії, окрім безпосередньо балів із дисципліни (за 100-бальною шкалою), беруть участь також вагові коефіцієнти дисциплін. Вагові коефіцієнти дисциплін залежать від обсягу дисципліни в кредитах. У загальному вигляді формула розрахунку рейтингового бала студента за результатами сесії виглядає так (4):

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз двох варіантів розрахунку конкурсного бала абітурієнтів за різних значень вагових коефіцієнтів**

Прізвище	Варіант розрахунку 1		Варіант розрахунку 2		Різниця у рейтингу
	Конкурсний бал	Місце за рейтингом	Конкурсний бал	Місце за рейтингом	
Банков Б.А.	192,92	6	194,48	4	+2
Колесніков М.О.	190,2	7	193,38	6	+1
Ткач Д.І.	189,7	8	186,58	11	-3



$$PB = \frac{\sum_{j=1}^N \text{кред}_j \times \text{Бал}_j}{\sum_{j=1}^N \text{кред}_j}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість дисциплін, що викладалися протягом семестру;  $\text{Бал}_j$  – оцінка, отримана студентом з  $j$ -ї дисципліни;  $\text{Кред}_j$  – кількість кредитів, що виділяється на викладання  $j$ -ї дисципліни [9, с. 163].

Як зазначалось, конкурсний бал абітурієнта представлено у 200-бальній шкалі, а рейтинговий бал студента – у 100-бальній. Крім того, мінімальне граничне значення задовільного складання предмета ЗНО – 100 балів, а аналогічний показник для оцінки з дисципліни, яку складає студент, – 60 балів. Ураховуючи наведене, для представлення конкурсного та рейтингового балів в одній шкалі використано природну нормалізацію. Цей підхід дає можливість представити значення на інтервалі між 0 та 1. У загальному вигляді формула природної нормалізації виглядає так:

$$\text{Знач}_{\text{норм}} = \frac{\text{Знач} - \text{Знач}_{\text{мін}}}{\text{Знач}_{\text{макс}} - \text{Знач}_{\text{мін}}}, \quad (5)$$

де  $\text{Знач}_{\text{мін}}$  – мінімальне значення, а  $\text{Знач}_{\text{макс}}$  – максимальне значення нормалізованого параметра.

Для конкурсного бала абітурієнта, враховуючи  $\text{мін}(\text{КБ}) = 100$  та  $\text{макс}(\text{КБ}) = 200$ , формула (5) набуває такого вигляду:

$$\text{КБ}^{\text{норм}} = \frac{\text{КБ}}{100} - 1 \quad (6)$$

Для рейтингового бала студента  $\text{мін}(\text{РБ}) = 60$  та  $\text{макс}(\text{РБ}) = 100$ , відповідно до чого:

$$\text{РБ}^{\text{норм}} = \frac{\text{РБ}}{40} - 1,5 \quad (7)$$

Дослідження має на меті пошук таких вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала, за яких його значення буде максимально наближеним до рейтингового бала студента за результатами сесії. Отже, з одного боку, для  $k$ -го студента маємо конкурсний бал абітурієнта  $\text{КБ}_k$ , розрахований за формулою (3) та пронормований за (6)  $\text{КБ}_k^{\text{норм}}$ . З іншого боку, для цього ж  $k$ -го студента маємо формулу для розрахунку рейтингового бала  $\text{РБ}_k$  за результатами сесії (4), пронормованого за (7) його значення  $\text{РБ}_k^{\text{норм}}$ . Виходячи з того, що в ідеалі рейтинговий бал за результатами сесії  $\text{РБ}_k^{\text{норм}}$  має відповідати конкурсному балу під час вступу  $\text{КБ}_k^{\text{норм}}$ , маємо таке рівняння (8):

$$\text{РБ}_k^{\text{норм}} - \text{КБ}_k^{\text{норм}} = 0 \quad (8)$$

У формулах розрахунку рейтингового бала  $\text{РБ}_k^{\text{норм}}$  немає невідомих, тому цю частину залишаємо без змін. Складник  $\text{КБ}_k^{\text{норм}}$  у (8) змінюємо згідно з (3) та (6):

$$\text{РБ}_k^{\text{норм}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_{i,k} + \text{коэф}_A \times A_{200,k} + \text{коэф}_{\text{ма}} \times \text{МЛ}_k + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}_k}{100 + 1} = 0, \quad (9)$$

де  $\Pi_{i,k}$  – результат  $k$ -го студента з  $i$ -го предмета, а  $A_{200,k}$  – середній бал атестата  $k$ -го студента, представлений у 200-бальній шкалі згідно з (2).

Невідомими в рівнянні (9) є вагові коефіцієнти предметів ЗНО  $\text{коэф}_i$ , коефіцієнт середнього бала атестата  $\text{коэф}_A$ , мотиваційного листа та особливих успіхів.

Ураховуючи наявність результатів сесії та ЗНО для  $m$  студентів, маємо систему з  $m+1$  лінійних рівнянь, яка доповнюється обмеженням того, що сума всіх вагових коефіцієнтів має дорівнювати одиниці (10):

$$\begin{cases} \text{РБ}_1^{\text{норм}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_{i,1} + \text{коэф}_A \times A_{200,1} + \text{коэф}_{\text{ма}} \times \text{МЛ}_1 + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}_1}{100 + 1} = 0 \\ \dots \\ \text{РБ}_m^{\text{норм}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_{i,m} + \text{коэф}_A \times A_{200,m} + \text{коэф}_{\text{ма}} \times \text{МЛ}_m + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}_m}{100 + 1} = 0 \\ \sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i + \text{коэф}_A + \text{коэф}_{\text{ма}} + \text{коэф}_{\text{оу}} = 1 \end{cases} \quad (10)$$

Це система малоімовірно матиме рішення, аналогічно до того, що декілька прямих малоімовірно перетинаються в одній точці. Для нашого випадку це означає, що не існуватиме таких вагових коефіцієнтів, за яких значення конкурсного бала для всіх студентів повністю збігатиметься зі значенням рейтингового бала за результатами сесії. Отже, рівність (9) може бути доповнена дельтою, або різницею між конкурсним та рейтинговим балами (11) [9, с. 163]:

$$\text{РБ}_j^{\text{норм}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_{i,j} + \text{коэф}_A \times A_{200,j} + \text{коэф}_{\text{ма}} \times \text{МЛ}_j + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}_j}{100 + 1} = \Delta_j \quad (11)$$

З огляду на наведені зміни, система (10) набуває такого вигляду:

$$\begin{cases} \text{РБ}_1^{\text{норм}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_{i,1} + \text{коэф}_A \times A_{200,1} + \text{коэф}_{\text{ма}} \times \text{МЛ}_1 + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}_1}{100 + 1} = \Delta_1 \\ \dots \\ \text{РБ}_m^{\text{норм}} - \left( \frac{\sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i \times \Pi_{i,m} + \text{коэф}_A \times A_{200,m} + \text{коэф}_{\text{ма}} \times \text{МЛ}_m + \text{коэф}_{\text{оу}} \times \text{ОУ}_m}{100 + 1} = \Delta_m \\ \sum_{i=1}^3 \text{коэф}_i + \text{коэф}_A + \text{коэф}_{\text{ма}} + \text{коэф}_{\text{оу}} = 1 \end{cases} \quad (12)$$

Кожне з  $m$  рівнянь системи (12) доповнено однією додатковою невідомою  $\Delta_j$ , відповідно, система отримала  $m$  додаткових невідомих. Отже, (12) є системою з  $m+1$  лінійних рівнянь, що має  $m+6$  невідомих. Така система має нескінченну кількість розв'язків, для визначення оптимального розв'язку необхідно сформулювати критерій його оптимальності.

Критерієм оптимальності під час підбору вагових коефіцієнтів буде мінімізація середнього відхилення між пронормованими значеннями рейтингового та конкурсного балів за всіма студентами [8, с. 1]. Відповідно до цього цільова функція для системи рівнянь (12) може бути представлена так:

$$f(\text{коэф}_1, \text{коэф}_2, \text{коэф}_3, \text{коэф}_4, \text{коэф}_{\text{мл}}, \text{коэф}_{\text{ов}}) = \frac{\sum_{i=1}^m |\Delta_k|}{m} \rightarrow 0 \quad (13)$$

На попередніх етапах дослідження завдання вирішувалось із використанням методу повного перебору. Так, було використано табулювання функції, тобто обчислення значень функції у разі зміни аргументу від деякого початкового значення до деякого кінцевого значення з певним кроком. Іншими словами, табуляція функції означає створення таблиці, в якій для кожного значення аргументу обчислено відповідне значення функції [10, с. 16; 11, с. 1]. Але збільшення кількості вхідних параметрів значно збільшує кількість розрахункових ітерацій.

Для рішення завдань оптимізації, прикладом яких є підбір значень коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта, можуть бути використані приблизні методи рішень, серед яких на окрему увагу заслуговують генетичні алгоритми. Генетичні алгоритми – адаптивні методи пошуку, які використовуються для вирішення завдань функціональної оптимізації. Вони засновані на механізмах і моделях еволюції і генетичних процесах біологічних алгоритмів [12, с. 10].

У найбільш розповсюдженому різновиді генетичного алгоритму особину представлено у вигляді хромосоми з використанням бітових рядків [13, с. 42]. При цьому кожному атрибуту об'єкта відповідає один ген. Ген – бітовий рядок, найчастіше фіксованої довжини, що представляє значення цієї ознаки [14, с. 3]. У разі завдання пошуку оптимальних коефіцієнтів складників конкурсного бала поняття «ген» відповідатиме значення окремого коефіцієнта, а «особина» (або «хромосома») – комбінація з вагових коефіцієнтів усіх складників конкурсного бала.

Кожен ваговий коефіцієнт має бути представлено у вигляді деякої послідовності нулів та одиниць, або біт. Ураховуючи діапазон значень коефіцієнта від 0 до 1 та крок 0,05 маємо 21 варіант значень коефіцієнта. Для збереження числа від 1 до 21 у двійковому форматі знадобиться 5 біт, оскільки  $2^4 = 16$ ,  $2^5 = 32$ , тобто  $2^4 < 21 < 2^5$ . Як прикладу на рис. 3.1 наведено представлення у вигляді хромосоми такої комбінації значень коефіцієнтів складників конкурсного бала: «Україна» – 0,5, «Математика» – 0,2, «Вибіркова дисципліна» – 0,2, «Атестат» – 0,1.

Класичний генетичний алгоритм складається з таких етапів: завдання початкової популяції; розрахунок функції придатності (фітнес-функції); відбір; розмноження; мутація; перевірка виконання критерію зупинки. Пункти 2–6 повторюються у циклі, доки не буде виконано умову зупинки [13, с. 62; 15, с. 84].

На першому етапі здійснюється ініціалізація початкової популяції, що складається з 10 випадкових особин (хромосом). Величина першого коефіцієнта  $\text{коэф}_1$  отримується в діапазоні від 0,05 до  $(1 - 3 \times 0,05)$  із кроком 0,05. Другий коефіцієнт  $\text{коэф}_2$  генерується в діапазоні від 0,05 до  $(1 - \text{коэф}_1 - 2 \times 0,05)$ , а третій  $\text{коэф}_3$  від 0,05 до  $(1 - \text{коэф}_1 - \text{коэф}_2 - 0,05)$  відповідно. Значення четвертого коефіцієнта може бути отримано як  $\text{коэф}_4 = 1 - \text{коэф}_1 - \text{коэф}_2 - \text{коэф}_3$  та визначається значеннями перших трьох.

Отримавши початкову популяцію, фрагмент прикладу якої наведено на рис. 3, виконується розрахунок значення придатності  $\text{Fitness}_j$  кожної з особин (хромосом), згідно з цільовою функцією (13).

Етап відбору проходять дві найкращі особини та не проходять дві найгірші [9, с. 164]. Для інших особин імовірність «виживання» визначається за такою формулою:

$$P_j = \frac{\text{Fitness}'_j}{\sum_{j=3}^{n-2} \text{Fitness}'_i}, \quad (14)$$

де  $\text{Fitness}' = 1/\text{Fitness}$ .

Після відбору в популяції залишається (виживає) половина особин, інші особини виключаються.

Предмет	Україна	Математика	Предмет за вибором	Атестат						
Значення	0,5	0,2	0,2	0,1						
Порядковий номер	10	4	4	2						
Двійкове представлення	0 1 0 1 0	0 0 1 0 0	0 0 1 0 0	0 0 0 1 0						
	Хромосома									

Рис. 2. Приклад хромосоми для комбінації значень вагових коефіцієнтів

Особини, що пройшли етап відбору, беруть участь у етапі розмноження. На цьому етапі з множини особин, «які вижили», випадково обирається 5 пар батьків, кожна з яких дає одного нащадка, причому одна і та ж особина може виступати в батьківській ролі в різних парах. На етапі розмноження один із генів успадковується від одного з батьків, а інший – від другого. Ураховуючи те, що кожному з генів відповідає один ваговий коефіцієнт, маємо чотири гени у хромосомі, два з яких успадковуються від батьків. Третій ген отримуємо в результаті застосування мутації, отримавши його випадково. Використовуючи рівність суми всіх коефіцієнтів одиниці, четвертий ген отримується через розрахунок четвертого коефіцієнта на базі трьох попередніх. На рис. 4 наведено приклад отримання «потомства» на базі особин початкової популяції, «які вижили».

Для отриманих у результаті нащадків розраховується фітнес-функція придатності особини, після чого вони доповнюють загальну популяцію, яка після цього знову складається з десяти особин.

Далі перевіряється виконання критерію зупинки, який для поточного завдання складається з двох умов. По-перше, найкраща особина у популяції має бути незмінною протягом п'яти ітерацій. По-друге, середнє значення функції при-

датності має бути меншим, ніж на попередньому кроці. У разі невиконання критерію повторюємо кроки «відбору», «розмноження» та «мутації».

Використовуючи математичну модель, функцію придатності (13) та описані етапи генетичного алгоритму, виконано пошук оптимальних коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта на основі даних щодо рейтингового бала студентів факультету комп'ютерних наук Чорноморського національного університету імені Петра Могили. На рис. 5 наведено зміну значення функції придатності найкращого представника популяції на кожному кроці виконання алгоритму для трьох різних спроб.

Відповідно до випадково отриманої початкової популяції оптимальне рішення отримано у всіх трьох випадках за різну кількість кроків, що є характерним для генетичних алгоритмів.

На рис. 6 наведено покрокову зміну значень коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта для трьох різних спроб розрахунку.

Ураховуючи отримані хоч і за різну кількість кроків, але однакові значення коефіцієнтів складників конкурсного бала для різних спроб їх розрахунку, можна зробити висновок про правильність роботи алгоритму та, відповідно, отриманих результатів. Отриманий результат указує на такі

#	Коефіцієнти				Номер по порядку				Двійкове представлення
	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	0.25	0.25	0.3	0.2	5	5	6	4	00101 00101 00110 00100
2	0.3	0.3	0.3	0.1	6	6	6	2	00110 00110 00110 00010
3	0.25	0.4	0.25	0.1	5	8	5	2	00101 01000 00101 00010

Рис. 3. Фрагмент прикладу початкової популяції

	Коефіцієнти				Двійкове представлення			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Батько 1	0.4	0.3	0.1	0.2	01000	00101	00010	00100
Батько 2	0.45	0.3	0.15	0.1	01001	00101	00010	00010
Нашадок	0.4	0.15	0.15	0.3	01000	00010	00010	00101

Рис. 4. Етап розмноження та мутації

оптимальні значення вагових коефіцієнтів під час вступу на факультет комп'ютерних наук Чорноморського національного університету імені Петра Могили: «українська мова» – 0,15, «математика» – 0,4, «вибірковий предмет» – 0,2 та «середній бал атестата» – 0,25. Порівняння отриманих значень із дійсними дає повну відповідність лише за вибірковим предметом. Результати з української мови мають набагато менший вплив (0,15 проти 0,5), а математика та середній бал атестату – більший (0,4 проти 0,2 та 0,25 проти 0,1 відповідно).

**Висновки.** У процесі дослідження створено математичну модель представлення вхідних даних, визначено цільову функцію, мінімальне значення якої досягається при оптимальних значеннях вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта.

Для розв'язання завдання запропоновано використати генетичний метод, що належить до групи приблизних методів рішення та використовується під час перебору рішень для тих завдань, у яких неможливо знайти рішення за допомогою матема-

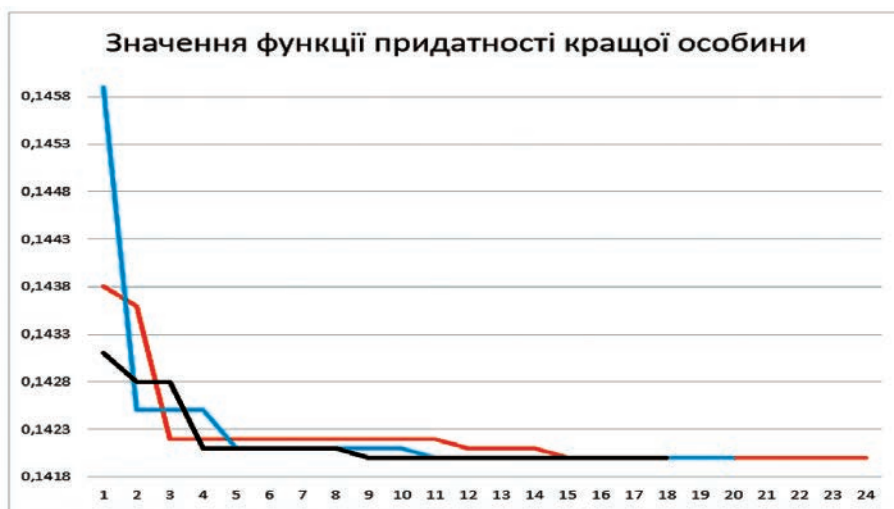


Рис. 5. Значення функції придатності кращої особи популяції покровоко для 3-х різних спроб

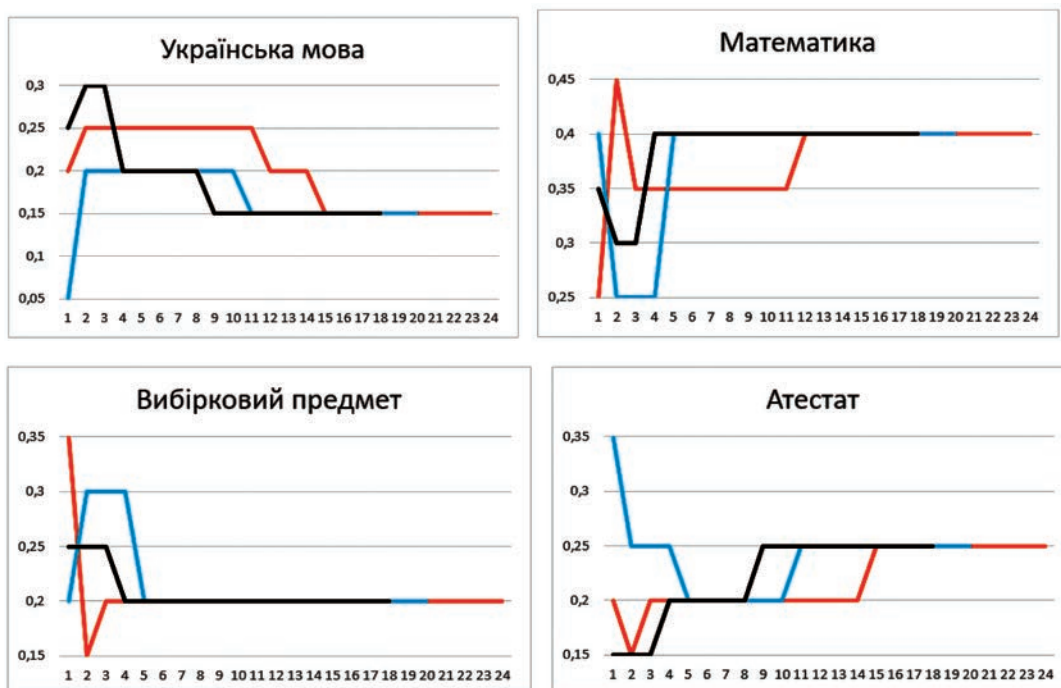


Рис. 6. Покровока зміна значень коефіцієнтів складників конкурсного бала абітурієнта для трьох різних спроб розрахунку

тичних формул. Ураховуючи отримані в результаті хоч і за різну кількість кроків, але однакові значення коефіцієнтів складників конкурсного бала для різних спроб їх розрахунку, можна зробити висновок про правильність роботи алгоритму та, відповідно, отриманих результатів.

Отримані результати дозволяють виокремити зміщення пріоритетів вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала в бік математики та середнього бала атестата. Також виявлено оптимальний коефіцієнт для одного з предметів на рівні 0,15, а середнього бала атестата на рівні 0,25, що гово-

рить про недоцільність обмежень мінімального значення коефіцієнтів для предметів на рівні 0,2 та максимального значення середнього бала атестата на рівні 0,1.

При цьому необхідно зазначити, що одним із недоліків дослідження була наявність у вибірці студентів, для яких результати всіх складників конкурсного бала відрізнялись від рейтингового бала. Так, серед перспектив розвитку є виявлення таких даних із подальшим їх виключенням під час розрахунку функції придатності особини популяції.

### Список літератури:

1. Про Український центр оцінювання якості знань. URL: <http://testportal.gov.ua/pro-utsoyao/> (дата звернення: 03.11.2021)
2. Аналоги ЗНО у країнах «Великої сімки». URL: <https://buki.com.ua/blogs/analohy-zno-u-krayinakh-velykoji-simky/> (дата звернення: 02.11.2021)
3. Що таке ЗНО? Важлива інформація, яка допоможе тобі краще зрозуміти, що таке ЗНО та навіщо воно потрібне. URL: <https://naurok.ua/student/blog/scho-take-zno> (дата звернення: 08.11.2021)
4. OpenData. Статистичні дані основної сесії ЗНО. URL: <https://zno.testportal.com.ua/opendata> (дата звернення: 02.01.2021)
5. Загальна інформація про PISA. Популярні запитання. URL: <http://pisa.testportal.gov.ua/populyarni-zapytannya/> (дата звернення: 10.11.2021)
6. Український центр оцінювання якості знань. Загальна інформація. URL: <http://testportal.gov.ua/zagalna-informatsiya-zno/> (дата звернення: 05.11.2021)
7. Абитурієнт-2015: доведеться вчити правила вступу. URL: <https://provse.te.ua/2015/08/abiturijent-2015-dovedetsya-vchity-pravyly-postupannya/> (дата звернення: 05.11.2021)
8. Правила прийому на навчання до Чорноморського національного університету імені Петра Могили у 2020 році. URL: [https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/PravilaprijomuCHNUimeniPetraMogili\\_2021.pdf](https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/12/PravilaprijomuCHNUimeniPetraMogili_2021.pdf) (дата звернення: 03.01.2021)
9. Дворецька М.М., Воробйова А.І. Пошук оптимальних значень коефіцієнтів складників конкурсного бала абитурієнта. *Інтелектуальні інформаційні системи* : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів і студентів : тези доп., 9–12 лютого 2021 р. ЧНУ ім. Петра Могили. Миколаїв, 2021. С. 161–164
10. Дворецька М.М., Співаченко Н.Ф. Визначення оптимальних значень вагових коефіцієнтів складників конкурсного бала абитурієнта на базі результатів сесії студентів ЗНО. URL: <https://manmathmk.files.wordpress.com/2020/12/d094d0b2d0bed180d0b5d186d0bad0b0d18f-2020.pdf> (дата звернення: 4.10.2021)
11. Табулювання функцій. URL: [https://informkon.at.ua/praktika/Excel/tabuljuvannja\\_funkcij.pdf](https://informkon.at.ua/praktika/Excel/tabuljuvannja_funkcij.pdf) (дата звернення: 5.11.2021)
12. Генетичний алгоритм – презентація онлайн. URL: <https://ppt-online.org/92580> (дата звернення: 5.11.2021)
13. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы : учебно-методическое пособие / под ред. Ю.Ю. Тарасевича. Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2007. 87 с.
14. Генетичні алгоритми. Ключові поняття і методи реалізації. URL: [http://www.znannya.org/?view=ga\\_general](http://www.znannya.org/?view=ga_general) (дата звернення: 6.11.2021)
15. Гладков Л.А. Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы : учебник / под ред. В.М. Курейчик. Москва : Физматлит, 2010. 317 с.

### **Dvoretzkyi M.L., Dvoretzka M.M., Falenkova M.V. GENETIC ALGORITHM USE FOR CALCULATION OF WEIGHT COEFFICIENTS VALUES**

*Among the different ways of evaluating the pupil's knowledge level that was acquired during their studies in secondary school, external independent testing (EIT) deserves special attention. The main effectiveness criterion of the system of admission to higher education should be to ensure the proper quality of enrollees' knowledge. However, in order to estimate the quality of knowledge of enrollees, it is necessary to conduct additional research on the students' success, and compare the data with the results of EIT in various subjects.*

*The enrollee's competitive score consists of the results of the EIT in several subjects and the average score of the certificate of complete secondary education. The aim is to identify the influence level of the results of all subjects of the EIT on the further students' progress. To achieve this goal, the author has solved a number of problems. So, approaches to evaluate the students' knowledge level are considered. The results of the EIT data were analyzed. The influence of the coefficients of each of the components in the formation of the competitive score of the applicant was given. The mathematical model for presenting the input data of the EIT results and student sessions has been created. Moreover, when assessing the level of optimality of the weight coefficients, the objective function has been determined. The problem of selecting the optimal weight coefficients was solved using a genetic algorithm. In the ending, the analysis of the obtained results was carried out. As a result, the aspects of the formation of the overall competitive score of the applicant were studied, as well as the use of genetic algorithms for this class of problems. On the basis of the proposed mathematical model, the optimal weights of the components of the applicants' competitive score were found.*

**Key words:** *external independent testing, competitive score, applicant, weights, objective function, natural normalization, genetic algorithm, fitness function.*

**Жуковський В.Р.**

Національний університет «Одеська політехніка»

## АНАЛІЗ КОРИСНОСТІ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОСОВОГО УПРАВЛІННЯ БАЗОВИМИ ФУНКЦІЯМИ КОМП'ЮТЕРА ТА ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ГОЛОСОВИХ ПОМІЧНИКІВ

Аналіз публікацій наукових досліджень і розробок технологій персональних голосових асистентів дає змогу виявити тенденцію до появи широкого спектра голосових помічників із різноманітними функціями. Уперше це реалізували Apple у далекому 2011 році, представивши свого голосового помічника Siri, пізніше, у 2015 році, Microsoft випускає голосового помічника Cortana. У 2018 році Яндекс випустив розумну колонку Яндекс, яка працює з голосовою помічницею Алісою, а Amazon представила свою голосову помічницю Alexa. В результаті вивчення історії створення та розвитку технології голосового помічника було зроблено припущення про появу в найближчому часі значного числа різноманітних голосових асистентів. Дійсно, подібна тенденція існує, і вона підтверджена в концептуальних дослідженнях проблеми [3, с. 165].

Концепція, викладена В.І. Городецьким, про те, що кожна річ рано чи пізно повинна стати «розумною», а користувач – отримати свого асистента, який допомагає вирішувати проблеми реального життя в реальному часі, лежить в основі обґрунтування практичного значення цього дослідження. Будь-яка річ, підкреслює В.І. Городецький, рано чи пізно повинна буде володіти не тільки датчиками та пристроями впливу на об'єкти зовнішнього світу й комунікації, а й приймати рішення, причому по можливості узгоджено з іншими речами [4, с. 16].

У такого підходу є важливий у теоретичному і практичному плані наслідок – реалізація, на наш погляд, передбачає розробку нових, більш ефективних поколінь голосових асистентів. Водночас необхідно буде враховувати економічні, психологічні, фізіологічні та соціальні аспекти поведінки людини для створення технологій голосових асистентів дійсно персоналізованих, максимально безпечних, зручних у використанні [1, с. 102].

У статті розглядається тема використання голосових асистентів. Описано основні проблеми, пов'язані з використанням таких помічників. Досліджено способи їх вирішення. Описано план розробки програмного забезпечення «голосовий помічник»

**Ключові слова:** голосовий помічник, розпізнавання мови, інтернет, програмне забезпечення, управління, автоматизація.

**Постановка проблеми.** Технологія voice assistant розглядається в науковій літературі як перспективний напрямок організації роботи користувачів з системою сучасних пристроїв. Персональні голосові асистенти створюють для користувача можливість комфортного взаємодії з цифровими пристроями, наближаючи його до комунікації зі співрозмовником. Виділяючи серед основних тенденцій розвитку технологій голосових асистентів появу на ринку значної кількості розробок, зазначу також тенденцію до дедалі більшої персоналізації та створення все більш простих алгоритмів роботи з асистентами. Налаштування помічника відповідно до смаків і побажань користувача дає змогу складати індивідуальний список «гарячих» команд, кодових слів для активації, персоналізувати голос асистента, приємний

для конкретного споживача. Високий потенціал розвитку технологій персональних голосових помічників зумовлений і тим, що середня швидкість вимови слів людиною – 150 слів за хвилину, значно більше, ніж середня швидкість набору слів на пристрої – близько 40 слів [1, с. 49].

За прогнозами Adweek, до кінця 2022 року ринок платформ розпізнавання голосу досягне 40 млрд доларів. Голосові помічники допомагають у міжособистісній комунікації, роблячи спілкування більш комфортним, враховуючи той факт, що набирати текст на пристрої значно складніше й довше, ніж говорити. Не можна не помічати і психологічну складову в цьому питанні. Усе більше людей починають свій ранок з діалогу з голосовим помічником, виникає нова звичка, формуються нові навички. Оскільки ця тема активно

досліджується і розвивається, актуальність дослідження постійно зростає.

**Постановка завдання.** Мета статті – проаналізувати проблеми, пов’язані з використанням голосових помічників та корисність створення голосових асистентів.

**Виклад основного матеріалу.** Інтернет речей – це концепція, що з’явилася на початку 2000-х років і з того часу надійно закріпилася серед найбільш популярних напрямків в області інформаційних технологій. У її основі лежить ідея про обчислювальні мережі пристроїв, здатних взаємодіяти один з одним і з зовнішнім світом [2, с. 22].

Рішення інтернету речей пропонують різні способи взаємодії користувача і системи пристроїв. Успішні розробки в області розпізнавання й синтезу мови сприяють появі нового виду людиномашинних інтерфейсів: голосових асистентів, здатних вести з користувачем діалог на природній мові і виконувати різні голосові команди.

За даними літературних джерел, візуальний канал дає 80–90% всієї інформації [5, с. 62], а другий найбільш важливий, слуховий, практично не задіяний у виробництві. Наприклад, якщо колега стоїть у майстерні поряд із бажаним дисплеєм, набагато простіше запитати його, ніж іти й шукати потрібний параметр самостійно. Крім того, оператори часто глибоко залучені в робочий процес, і голосове управління залишається єдиним можливим способом для взаємодії з інформаційною системою.

Наразі можливості голосових помічників значно розширені – від простого пошуку інформації до повного голосового управління різними побутовими пристроями. Звичайно, використання голосових помічників у виробничому середовищі має свої нюанси, такі як шум у виробничих приміщеннях, одночасне взаємодія з декількома операторами і проблеми безпеки.

Голосові помічники використовують у багатьох областях людської діяльності. Однак більшість досліджень застосовні тільки до побутового використання, наприклад, установка нагадування про важливу дату або час чи установка кінцевого пункту маршруту. Навпаки, практично немає досліджень із використання цієї технології у виробничій сфері, незважаючи на те, що ідея отримання інформації таким способом може бути успішним рішенням і для автоматизованого виробництва, де, наприклад, замість пошуку потрібного графічного дисплея візуально швидше використовувати голос. [6, с. 69].

Принцип роботи голосових помічників такий само простий, як і їх використання:

1. Пасивне зчитування звуку за допомогою активації функції із вбудованим кодовим словом;

2. Фільтрація сигналу – етап усунення шуму і перешкод, що виникають під час запису голосового запиту;

3. Оцифровка звуку – відбувається перетворення звукового сигналу в цифровий вигляд, зрозумілий комп’ютеру;

4. Аналіз сигналу – виділяються ділянки з мовленням, відбувається оцінка параметрів, таких, як частина мови, форма слова, зв’язок в один запит;

5. Пошук шаблонних даних – штучний інтелект збирає різні вимови слова, порівнює з шаблонами і видає результат.

Голосовий помічник можна написати практично за допомогою будь-якої мови програмування, але найбільш популярним у 2021 році є Python. Для написання програмного коду знадобиться знання мови, вміння працювати з підключенням різних бібліотек і чітке формулювання вхідних і вихідних даних.

Е.А. Артозей у своїй статті «Розробка алгоритмів розпізнавання голосових команд для управління бортовою системою автомобіля» пише, що «для візуального представлення процесів введення і подальшого розпізнавання голосових команд системою голосового управління використовується діаграма діяльності підсистеми ідентифікації. Діяльність підсистеми бере початок із введення голосової команди. Отриманий сигнал набуває цифрового вигляду та проходить процедуру фільтрації зовнішніх шумів. Далі перетворений сигнал потрапляє в підсистему ідентифікації. У названій підсистемі для розпізнавання команди спершу подається запит до бази даних сигналів. За умови збігу вхідного і збереженого сигналів розпізнавання проходить успішно, і команда передається на виконавчий пристрій, яке виконує певну дію. Якщо голосова команда не розпізнана, то система повертається до початку – введення голосової команди, і алгоритм дій повторюється знову, поки не буде досягнутий позитивний результат, тобто доти, поки голосова команда не розпізнається» [12, с. 99].

Однак існує ряд проблем, пов’язаних із використанням голосових помічників.

Присутність шуму на тлі мови диктора є одним із найскладніших випадків для систем автоматичного розпізнавання мови (АРР) через надмірну нестационарність перешкоди. Повною мірою впоратися з завданням якісного придушення шуму музики нездатні як класичні одноканальні методи (наприклад, фільтр Вінера), так і адаптивні багатоканальні алгоритми націлювання, такі як алго-



ритм мінімуму дисперсії шуму MVDR (Minimum Variance Distortionless Response). Але все-таки існують способи вирішення цієї проблеми. Підвищення якості АРР в умовах шуму музики можливо досягти, застосовуючи акустичні моделі, реалізовані на штучних нейронних мережах із застосуванням методів глибокого навчання. Для поліпшення мови на багатоканальних записах за останні кілька років було запропоновано низку підходів підвищення робастності алгоритмів націлювання за допомогою оцінювання їхніх параметрів акустичними моделями, зокрема оцінки бінарної шумової маски [6, с. 54], реалізації детектора мови [7, с. 88], оцінки коваріантної матриці [8, с. 19] і коефіцієнтів алгоритму націлювання безпосередньо [9, с. 55; 10, с. 87], а також метод оцінки реальної шумової маски і підрахунку коваріантної матриці для алгоритму MVDR. [11, с. 3]

Як було зазначено вище, існують і інші проблеми голосових помічників. Натепер існує велика різноманітність комерційних систем автоматичного розпізнавання мови: Google Cloud Speech-to-Text1, Amazon Transcribe, IBM Speech to Text, Yandex SpeechKit. Вказані системи вирішують велику кількість завдань і звільняють розробника від необхідності створювати таку комплексну і складну систему, як система автоматичного розпізнавання мови. Наприклад, розпізнавання мови за допомогою перевірених часом алгоритмів, що демонструють високі результати, можна реалізувати з використанням високопродуктивних обчислювальних ресурсів хмарних систем. Хмарні платформи надають стійкий програмний інтерфейс програми (API, Application Programming Interface) для розпізнавання мови, а також мають екосистеми з великою кількістю користувачів, куди легко вбудовувати власні додатки з голосовим інтерфейсом. Крім безперечних переваг, згадані вище системи мають і недоліки, а саме:

1. Перераховані системи є хмарними системами, тому робота з ними залежить від їхньої доступності, пропускнуої спроможності та інших факторів, що впливають на швидкість розпізнавання.

2. Немає можливості налаштувати системи розпізнавання мови для вирішення конкретного завдання. Якість розпізнавання залежить від використовуваної мовної моделі. У різних прикладних областях різна ймовірність певних слів. Стандартні системи використовують усереднену модель мови, або модель, розроблену для вирішення проблем, поставлених перед творцями платформи, що далеко не завжди збігається із завданнями користувачів системи.

3. Зазвичай робота з хмарними системами вимагає додаткових фінансових витрат, заданих правилами використання таких систем.

4. Ресурсовитратність голосової активації. За постійного запису звуку додатково витрачається інтернет-трафік. Але ці проблеми вирішуються роботою в напрямку створення автономних голосових помічників, що можуть використовуватися не тільки для автоматизованого виробництва.

Після розбору основ пристрою та принципу роботи слід зробити свого примітивного але перспективного помічника. Почнемо з вибору мови програмування. Як було сказано вище, найбільш популярною мовою для розробки голосових асистентів на 2021 г. є Python, тому його і візьму. Далі потрібно встановити всі необхідні бібліотеки.

Для перетворення тексту на мову була встановлена бібліотека pyttsx3. Далі стоїть завдання розпізнавання мови, для цього скористаюся описаною вище системою Google Cloud Speech-to-Text, тобто бібліотекою SpeechRecognition. Також потрібно зчитувати мову з мікрофону, у цьому допоможе бібліотека PyAudio. Тепер є можливість перетворювати текст на мову і навпаки, мову на текст, і, по суті, це все, що потрібно, щоб написати свого голосового асистента.

Таким чином був створений примітивний голосовий асистент, який уміє показувати час, повторювати за нами різні фрази, вмикати радіо і розповідати прості анекдоти. Лістинг коду представлений у репозиторії GitHub (URL: <https://pastebin.com/tPD0g802>).

Як можна зрозуміти зі статті, створити такого асистента нескладно і досить актуально сьогодні, однак мій асистент далекий від ідеалу і вимагає допрацювань функціоналу. Далі планується впровадити нейронну мережу, щоб можна було не тільки давати команди, а й вести бесіду з асистентом, а також розширити функціонал згаданого голосового помічника.

**Висновки.** На описаному етапі роботи були досліджені і проаналізовані проблеми використання голосових помічників на виробництві. Рішення цих проблем може бути досягнуто різними способами, але часто ці способи потребують додаткових досліджень у конкретному виробництві, що вимагає деяких засобів. Також був створений примітивний голосовий асистент із базовими функціями. Отже, в подальшій роботі необхідно досліджувати рішення, які спростять інтеграцію голосових помічників. Надалі планується розробка навичок для голосового асистента і його оптимізація для найбільш комфортного використання, а також експерименти з ним.

**Список літератури:**

1. Шыпота Н.А., Маколкіна М.А. Анализ использования технологии voice assistant в сетях связи пятого поколения. *Информационные технологии и телекоммуникации*. 2020. Т. 8. № 3. С. 86–93. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-86-93.
2. Gershenfeld N.A. *When Things Start to Think*. New York : Henry Holt and Company, 2000. 224 p.
3. Шыпота Н.А. Развитие коммуникационной инфраструктуры с использованием облачных сервисов программно-конфигурируемых сетей // Актуальні проблеми гуманітарних та природничих наук : V Міжнародна науково-практична конференція. Харків, 2018. С. 165–166.
4. Gorodetsky V. Internet of Agents: From Set of Autonomous Agents to Network Object. *Second International Workshop on Internet of Agents*. 2017. pp. 1–17.
5. Линдгрэн Н. Органы чувств и их электронные аналоги. *Электроника*. 1962. Вып. 35. № 7. С. 22–27.
6. Heymann J., Drude L., Haeb-Umbach R. Neural network based spectral mask estimation for acoustic beamforming. *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Shanghai, China, 2016. P. 196–200. doi: 10.1109/icassp.2016.7471664
7. Higuchi T., Ito N., Yoshioka T., Nakatani T. Robust MVDR beamforming using time-frequency masks for online/offline ASR in noise. *Proc. IEEE Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing*. Shanghai, China, 2016. P. 5210–5214. doi: 10.1109/icassp.2016.7472671
8. Li B., Sainath T.N., Weiss R.J., Wilson K.W., Bacchiani M. Neural network adaptive beamforming for robust multichannel speech recognition. *Proc. INTERSPEECH*. 2016. P. 1976–1980. doi: 10.21437/interspeech.2016-173
9. Yoshioka T. et al. The NTT CHiME-3 system: advances in speech enhancement and recognition for mobile multimicrophone devices. *Proc. IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding*. Scottsdale, USA, 2015. P. 436–443. doi: 10.1109/asru.2015.7404828
10. Du J. et al. The USTC-iFlyteck system for the CHiME4 challenge. *Proc. 4th Int. Workshop on Processing in Everyday Environments*. 2016.
11. Автоматическое распознавание речи в условиях шума музыки на многоканальных записях с удаленного микрофона / С.С. Астапов, Е.В. Шуранов, А.В. Лаврентьев, В.И. Кабаров. *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2019. Т. 19. № 3. С. 557–559. doi: 10.17586/2226-1494-2019-19-3-557-559
12. Артозей Е.А. Разработка алгоритмов идентификации голосовых команд для управления бортовой системой автомобиля. *Современная техника и технологии*. 2015. № 9. URL: <http://technology.snauka.ru/2015/09/7903>.

**Zhukovskiy V.R. ANALYSIS OF THE USEFULNESS OF DEVELOPING A COMPUTER-INTEGRATED VOICE CONTROL SYSTEM FOR BASIC COMPUTER FUNCTIONS AND THE PROBLEM OF USING VOICE ASSISTANTS**

*The analysis of publications of scientific researches and developments of technologies of personal voice assistants allows to mark a tendency to emergence of a wide range of voice assistants with various functions. This was first implemented by Apple back in 2011 with the introduction of its voice assistant Siri, after in 2015 Microsoft released a voice assistant Cortana. In 2018, Yandex released a smart column Yandex, which works with voice assistant Alice, and Amazon presents its voice assistant Alex. As a result of studying the history of creation and development of voice assistant technology, it was assumed that a significant number of different voice assistants will appear in the near future. Indeed, a similar trend exists, and it is confirmed in conceptual studies of the problem [3, c. 165].*

*The concept set out by VI Gorodetsky, that every thing sooner or later must become “smart”, and the user – to get his assistant who helps to solve real-life problems in real time, is the basis for substantiating the practical significance of this research. Anything, emphasizes VI Gorodetsky, sooner or later will have not only sensors and devices to influence the objects of the outside world and communication, but also to make decisions, and if possible consistent with other things [4, c. 16].*

*This approach has an important consequence in theoretical and practical terms - the implementation, in our opinion, involves the development of new, more efficient generations of voice assistants. It will be necessary to simultaneously take into account the economic, psychological, physiological and social aspects of human behavior to create technologies for voice assistants really personalized, safe, easy to use [1, c. 102].*

*The article considers the use of voice assistants. The main problems associated with the use of such assistants are described. The ways of their solution are investigated. Describes the software development plan “voice assistant”.*

**Key words:** Voice Assistant, Speech Recognition, Internet, Software, Microphone, Control, Automation.

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/12>

**Завгородній В.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Завгородня Г.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Дроботович К.Є.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Тенігін О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Шматко М.М.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ У МЕТОДАХ ФОРМАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

*У роботі розглянуті дослідження методів прийняття управлінських рішень в умовах конфлікту, заснованого на використанні методів теорії ігор. Для таких ситуацій якість та кількість наявної інформації про об'єкт управління та зовнішнє середовище визначають, яким чином може бути формалізоване та вирішене завдання прийняття рішення.*

*Метою побудови такої формалізованої моделі є вироблення рекомендацій для розумної поведінки гравців в ігрових ситуаціях, тобто визначення оптимальної стратегії кожного з гравців.*

*У роботі проведено математичний аналіз ігрових ситуацій та формалізовано їхній опис у вигляді математичної моделі.*

*Наведено формалізовану схему ігрової ситуації у вигляді її математичної моделі, а також сформульовано ігрову ситуацію, тобто схематизовано її для відображення стратегій учасників та чисельних результатів, до яких приводить кожна комбінація стратегій сторін, що беруть участь.*

*Формалізований опис поведінки гравців у тій чи іншій ігровій ситуації є ключовим завданням побудови загального рішення гри. В ідеальному випадку таке рішення представляє собою набір рекомендацій для кожного гравця, проте так буває далеко не завжди. У таких випадках рішення може бути представлено у вигляді набору результатів гри. Тобто рішення є набором раціональних, з точки зору поведінки гравців, ситуацій і тому повинні реалізовуватися лише ті ситуації, що належать рішенню. Водночас, якщо використання прямих стратегій не дає можливості знайти рішення гри, можуть складатися також і змішані стратегії.*

*Цінність модельних досліджень ігрових ситуацій безперечна, оскільки вони дають можливість, досліджуючи досить прості моделі, з'ясувати основні закономірності, які лежать в основі раціональної поведінки в ситуаціях, що моделюються.*

**Ключові слова:** теорія ігор, формалізована модель, ігрова стратегія, дерево гри, прийняття рішень.

**Постановка проблеми.** Прийняття управлінських рішень в умовах конфлікту вимагає спеціального дослідження, заснованого на використанні методів теорії ігор [1–3]. Для таких ситуацій якість та кількість наявної інформації про об'єкт управління та зовнішнє середовище визначають, яким чином може бути формалізоване та вирішене завдання прийняття рішення [4, 5].

Формалізація ситуації у формі гри полягає в описі її основних елементів, до яких належать суб'єкти гри, безліч їхніх стратегій, способи

вибору стратегій, інформація, якою володіє кожен гравець під час здійснення такого вибору, виграш кожного гравця за кожного набору вибраних стратегій [6–8]. Доступна гравцям інформація про наміри інших гравців та їхні можливості може суттєво вплинути на рішення, що приймається.

Метою побудови такої формалізованої моделі є вироблення рекомендацій для розумної поведінки гравців в ігрових ситуаціях, тобто визначення оптимальної стратегії кожного з гравців. Оптимальною стратегією гравця називається така

стратегія, яка за багаторазового повторення гри забезпечує цьому гравцю максимально можливий середній виграш.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перші математичні аспекти та програми теорії ігор були викладені в класичній книзі Дж. фон Неймана та О. Моргенштерна [9], напрацювання яких набули подальшого розвитку в роботах Дж. Неша.

Останнім часом методи дослідження операцій знову широко висвітлюються в публікаціях з оптимізації управління, зокрема в публікаціях Alessandro Bonatti [10], Mihai Manea [11], Erich Prisner [12], Muhamet Yildiz [13] та інших вчених.

Сьогодні ігрові моделі настільки різноманітні, що навряд чи можливо дати просте формальне визначення гри, яке включало б усі моделі.

**Постановка завдання.** Мета дослідження – провести математичний аналіз ігрових ситуацій та формалізувати їхній опис у вигляді математичної моделі.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- Навести формалізовану схему ігрової ситуації у вигляді її математичної моделі.
- Сформулювати ігрову ситуацію, тобто схематизувати її для відображення стратегій учасників та чисельних результатів, до яких приводить кожна комбінація стратегій сторін, що беруть участь.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Наведемо формальний опис ігрової ситуації. Позначимо множини стратегій як  $X$  та  $Y$ . Величини  $x \in X$  та  $y \in Y$  означають конкретні стратегії першого та другого гравців.

Щоб ввести в гру випадкові ходи, необхідно вважати, що у грі бере участь третій гравець, який робить випадкові ходи. Позначимо через  $H$  простір стратегій третього гравця.

Будь-яка стратегія третього гравця  $h \in H$ , що являє собою конкретну послідовність всіх випадкових ходів, відбуватиметься з імовірністю  $p(h)$ , яку легко порахувати, знаючи ймовірність кожного випадкового ходу в цій послідовності  $p(h)$ , являє собою розподіл імовірностей у просторі та задовольняє умові:

$$p(h) \geq 0, \sum_{h \in H} p(h) = 1 \quad (1)$$

Позначимо через  $q$  певний варіант гри. Варіант визначено, якщо вибрано стратегії гравців  $[x]$  та  $[y]$  та стратегію випадкових ходів  $h$ :

$$q = (x, y, z) \quad (2)$$

Результатом є виграш чи програш кожного з гравців.

Розглянемо одну конкретну ситуацію  $q(x, y, h)$  та позначимо через  $L_x(x, y, h)$  та  $L_y(x, y, h)$  програш або втрати першого та другого гравців відповідно.

При цьому виграші розглядаємо як від'ємні програші. Загальна сума програшів обох гравців дорівнює:

$$O = L_x(x, y, h) - L_y(x, y, h) \quad (3)$$

Далі розглядаються лише ігри з нульовою сумою, тобто такі ігри, у яких загальна сума програшу (3) дорівнює нулю. У таких іграх програш одного гравця дорівнює виграшу іншого гравця:

$$L_y(x, y, h) = -L_x(x, y, h) = L(x, y, h) \quad (4)$$

Оскільки стратегія  $h \in H$  випадковою, то за вибраних стратегій  $(x)$  та  $(y)$ , а також втрат  $L(x, y, h)$  вона буде випадковою з розподілом імовірностей  $p(h)$  на просторі  $H$ . Тому оцінити обрані стратегії  $(x)$  та  $(y)$  можна лише шляхом усереднення втрат  $L(x, y, h)$  у всьому просторі  $H$ , тобто ввівши поняття середніх втрат  $L(x, y)$ , що визначаються зі співвідношення:

$$L_x(x, y) = \sum L(x, y, h)p(h) \quad (5)$$

Гра буде визначена, якщо перераховані всі можливі стратегії гравців, тобто задані простори  $X$  та  $Y$ , і для будь-яких  $x \in X$  та  $y \in Y$  визначено втрати  $L(x, y)$ .

Таким чином, доходимо наведеного нижче формального визначення гри. Гра  $G$  визначається трійкою:

$$G = (X, Y, L) \quad (6)$$

де  $X$  та  $Y$  – деякі простори;  $L$  – обмежена числова функція, визначена на прямому добутку  $X$  і  $Y$ .

Тоді точки  $x \in X$  та  $y \in Y$  будемо називати стратегіями першого та другого гравців, а функцію  $L$  називати функцією втрат.

Ігри, в яких кожен гравець описується кінцевою кількістю стратегій, зручно задавати як матриці втрат. Нехай  $G = (X, Y, L)$  – кінцева гра, у якій  $X = \{x_1, \dots, x_m\}$ ,  $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$ .

Тоді матриця порядку  $(m \times n)$ :

$$Q = \|q_{ij}\| = \begin{vmatrix} q_{11} & \dots & q_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ q_{m1} & \dots & q_{mn} \end{vmatrix} \quad (7)$$

у якій  $q_{ij} = L(x_i, y_j)$  називається матрицею гри  $G$ .

Для того, щоб опис гри був закінченим, необхідно вказати цілі, якими керуються гравці у виборі своїх стратегій. Ці цілі прості. Перший гравець прагне зробити найбільший виграш, тобто максимізувати функцію  $L(x, y)$ , а другий гравець прагне зробити свій програш найменшим, тобто мінімізувати функцію  $L(x, y)$ .

Цілі гравців виявляються прямо протилежними. Специфічною складністю тут є те, що жоден із гравців не контролює повністю значення  $L(x, y)$ , оскільки перший гравець розпоряджається лише значенням  $(x)$ , а другий – лише значенням  $(y)$ .

Подолання цієї проблеми, тобто визначення найбільш раціонального способу ведення гри кожним із гравців і є сутністю ігор.

Іншим варіантом гри є гра з ненульовою сумою. У такій грі виграші одних гравців виходять не тільки за рахунок виграшів інших гравців, але й за рахунок будь-яких платежів, що надходять ззовні. Ці платежі розглядаються як програші деякого додаткового фіктивного гравця, що дає змогу звести гру ( $n$ ) осіб із ненульовою сумою до гри ( $n + 1$ ) осіб із нульовою сумою. Теорія ігор з ( $n$ ) учасникам для ( $n > 2$ ) є складним завданням, тому розглянемо ігри двох осіб із нульовою сумою.

На основі введених понять розглянемо гру, що складається з чотирьох ходів. Перший хід – власний. Перший гравець обирає одне із двох цілих чисел 1 або 2. Другий хід – випадковий. Кидається монета і, якщо випадає орел, вибір першого гравця повідомляється другому гравцю. Третій хід – власний. Другий гравець обирає одне із двох цілих чисел 3 або 4. Четвертий хід – випадковий. Вибирається випадковим чином із ймовірністю 0,4; 0,2; 0,4 одне із трьох цілих чисел 1, 2 або 3.

Результат гри: числа, вибрані на першому, третьому та четвертому ходах, складаються, і отримана сума сплачується другим гравцем першому гравцю, якщо вона парна, і першим гравцем другому гравцю, якщо вона непарна.

За попереднього аналізу гру зручно представити у вигляді дерева, у якому випадки, що вини-

кають у процесі гри, зображуються вершинами, а ходи – гілками, що з'єднують одну вершину з іншою. Дерево гри наведено на рис. 1.

Вершини, що відповідають власним ходам першого та другого гравців, позначені відповідно I і II. Вершини, що відповідають випадковим ходам, позначені 0. Кінцеві вершини, що визначають окремі варіанти гри, позначені цифрами, що означають програші другого гравця.

У різних вершинах, що відповідають власним ходам, гравець має певний вид інформації про попередні ходи. Якщо в кількох вершинах гравцю доступна та сама інформація, то ці вершини зручно об'єднати. Шляхом такого об'єднання виходять групи вершин  $S_i$ , які називаються класами інформації. У цьому прикладі є чотири класи інформації, зміст яких такий:

- 1)  $S_1$  – ходів ще не було, перший гравець повинен зробити перший хід;
- 2)  $S_2$  – перший гравець вибрав 1;
- 3)  $S_3$  – перший гравець вибрав 2;
- 4)  $S_4$  – невідомо, що вибрав перший гравець.

За потрапляння на вершину, що знаходиться в класі, другий гравець не має інформації про вибір першого гравця, тобто це гра з неповною інформацією. Якщо в клас інформації входить лише одна вершина, то гравець, який потрапляє на цю вершину, повністю обізнаний з усіма попередніми ходами, тобто має повну інформацію про гру.

Розглянемо простір стратегій гравців. Простір стратегій першого гравця, що складається всього

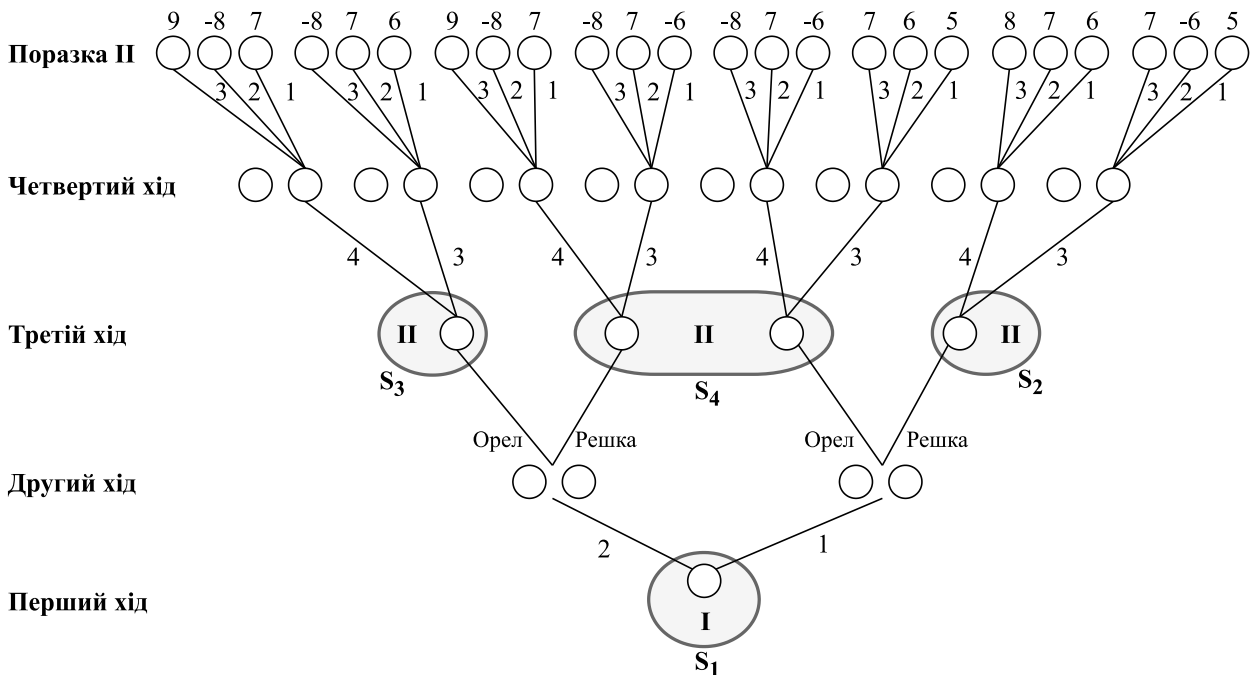


Рис. 1. Дерево гри

з двох елементів, яким відповідає вибір 1 або 2, наведено в таблиці 1, а). Стратегія другого гравця повинна вказувати його хід за будь-якого можливого варіанта гри. Варіант гри визначається класом інформації гравця. Для другого гравця є три класи інформації:  $S_2$ ,  $S_3$  та  $S_4$ . Отже, стратегія другого гравця полягає у вказівці, яке з двох чисел – 3 чи 4 – він вибирає в кожному класі інформації.

Таблиця 1

$x_1$	$x_2$
(1)	(2)

а)

$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$
(333)	(334)	(343)	(344)	(433)	(434)	(443)	(444)

б)

$h$	(O,1)	(O,2)	(O,3)	(P,1)	(P,2)	(P,3)
$p(h)$	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2

в)

Стратегія в класі інформації (4, 3, 3) означає, що другий гравець вибирає 4 в класі інформації  $S_2$  та  $S_3$  в класах інформації  $S_3$  та  $S_4$ . Простір стратегій другого гравця наведено у таблиці 1, б). Простір стратегій третього гравця представлено у таблиці 1, в).

**Висновки.** Формалізований опис поведінки гравців у тій чи іншій ігровій ситуації є ключовим завданням побудови загального рішення гри. В ідеальному випадку таке рішення представляє собою набір рекомендацій для кожного гравця, проте так буває далеко не завжди. У таких випадках рішення може бути представлене у вигляді набору результатів гри. Тобто рішення є набором раціональних, з точки зору поведінки гравців,

ситуацій і тому повинні реалізовуватися лише ті ситуації, що належать рішенню. Водночас, якщо використання прямих стратегій не дає можливості знайти рішення гри, можуть складатися також і змішані стратегії.

Сьогодні не існує єдиної концепції побудови рішень для різних класів ігор. Перш за все це пов'язано із застосуванням формального опису гри, який є лише спрощеною моделлю складних реальних процесів, що відбуваються в ході гри: обміну інформацією, можливих договорів між гравцями, самостійних дій гравців щодо збільшення своєї поінформованості. Не можна виключати й можливості ірраціональної поведінки гравців, яка натеper практично не піддається формалізації. Якщо спробувати включити всі подібні деталі до опису гри, вона може стати занадто складною для конструктивного аналізу.

Інша складність полягає в тому, що саме розуміння поняття раціональної поведінки у різних людей може відрізнитися. Те, що видається раціональним одному, може здатися нераціональним іншому, і сучасна наука часто не знає об'єктивних причин, що лежать за цими відмінностями в оцінці.

У зв'язку з цим теорія ігор не завжди може точно передбачити поведінку гравців у реальній ігровій ситуації або дати однозначну рекомендацію щодо ухвалення рішення. Це загальна проблема всіх формальних, модельних досліджень, і не тільки в теорії ігор. Проте цінність модельних досліджень ігрових ситуацій безперечно, оскільки вони дають можливість, досліджуючи досить прості моделі, з'ясувати основні закономірності, які лежать в основі раціональної поведінки у ситуаціях, що моделюються.

#### Список літератури:

1. Информационная технология разработки специализированной СППР оперативного управления производством полупроводниковых изделий / В.В. Завгородний, И.В. Шевченко, В.Ф. Шостак, С.С. Щербак (2013). *Вісник Академії митної служби України. Сер.: Технічні науки*. 2013. № 1. С. 69–76. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vamsutn\\_2013\\_1\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vamsutn_2013_1_13)
2. Devising a Method To Identify an Incoming Object Based on the Combination of Unified Information Spaces / V. Mukhin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. № 3(2). 111 p. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229568>
3. Дацко М.А. Моделирование сложных объектов. Москва : Максимум, 2015. 111 с.
4. Method of searching for information objects in unified information space. / A. Dodonov et al. *System research and information technologies*. 2021. № 1. Pp. 34–46. DOI: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2021.1.03>
5. Отрох С.І., Завгородній В.В., Завгородня Г.А. Аналіз взаємозв'язку збитку з ризиком при виникненні техногенних аварій в концепції прийнятного ризику. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2018. № 2. С. 117–123. DOI: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-87-95>
6. Диксит А., Нейлбафф Б. Теория игр: искусство стратегического мышления в бизнесе и жизни. Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2014. 464 с.
7. Якутенко И. Математика обмана. Москва : Вокруг света. № 11. 2014. С. 170-179.
8. Мейкисон Л.К. Моделирование – це легко. Москва : 3DNs, 2013. 313 с.

9. Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн. Теория игр и экономическое поведение : монография. Москва : Наука, 1970. 708 с.
10. Alessandro Bonatti. Game Theory for Strategic Advantage. Spring 2015. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>. License: Creative Commons BY-NC-SA.
11. Mihai Manea. Game Theory. Spring 2016. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>. License: Creative Commons BY-NC-SA.
12. Erich Prisner. Game Theory Through Examples. 1sted., Mathematical Association of America, 2014. JSTOR, [www.jstor.org/stable/10.4169/j.ctt6wpwgj](http://www.jstor.org/stable/10.4169/j.ctt6wpwgj).
13. Muhamet Yildiz. Economic Applications of Game Theory. Fall 2012. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>. License: Creative Commons BY-NC-SA.

**Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Drobotovich K.E., Tenigin O.V., Shmatko M.M.**

#### **MATHEMATICAL MODELING IN FORMAL RESEARCH METHODS**

*The research of methods of making managerial decisions in the conditions of the conflict based on use of methods of the theory of games is considered in the work. For such situations, the quality and quantity of available information about the object of management and the external environment determine how the decision-making task can be formalized and solved.*

*The purpose of building such a formalized model is to develop recommendations for reasonable behavior of players in game situations, ie to determine the optimal strategy of each player.*

*The mathematical analysis of game situations is carried out in the work and their description in the form of mathematical model is formalized.*

*The formalized scheme of the game situation in the form of its mathematical model is given, and also the game situation is formulated, ie it is schematized for reflection of strategies of participants and numerical results to which each combination of strategies of the participating parties leads.*

*A formalized description of the behavior of players in a given game situation is a key task in building the overall solution of the game. Ideally, this solution is a set of recommendations for each player, but this is not always the case. In such cases, the solution can be presented in the form of a set of game results. That is, the decision is a set of rational, in terms of player behavior, situations and therefore should be implemented only those situations that belong to the decision. At the same time, if the use of direct strategies does not allow to find solutions to the game, mixed strategies can also be developed.*

*The value of model studies of game situations is indisputable, because they provide an opportunity, exploring fairly simple models, to determine the basic patterns that underlie rational behavior in simulated situations.*

**Key words:** *game theory, formalized model, game strategy, game tree, decision making.*

**Зайченко В.В.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЧАСОВИХ РЯДІВ НА ОСНОВІ КОЛИВАНЬ ВОЛАТИЛЬНОСТІ КОМПАНІЙ НІМЕЦЬКОГО РИНКУ

*У статті проаналізовано два різних методи для прогнозування волатильності на фондовій біржі Німеччини. У першому підході використовуються комбінації методів часових рядів. Волатильність, яка застосовується у формуванні цін опціонів акцій німецьких компаній, є головною компонентою для другого підходу. Серед моделей часових рядів налічуються: модель стохастичної волатильності, чотири моделі ARCH типу, модель експоненціально зваженої ковзної середньої та модель історичного середнього значення.*

*Із використанням декількох моделей одновимірних часових рядів було спрогнозовано волатильності за допомогою ряду прибутковості DAX. Проаналізувавши вказаний ряд, зауважимо: помітно, що волатильність має тенденцію до кластерів і, крім того, не є постійною з плином часу. Для перевірки незалежності результатів було обрано декілька горизонтів прогнозу, а саме 1 торговий день, 10 торгових днів, 180 торгових днів та 45 календарних днів. Критеріями оцінки коректності та роботи моделей були декілька компонентів – функція втрат LINEX та середньоквадратична помилка прогнозування. Також було побудовано торгову стратегію для визначення корисності та ефективності моделей для прогнозування волатильності на основі часових рядів.*

*Провівши експериментальні дослідження, ми задокументували, що моделі сильно залежать від горизонтів прогнозу та вимірювань помилок. Аналіз результатів показав, що неможливо однозначно визначити, яка модель виграла. З одного боку, стохастична модель краще впоралася з прогнозуванням волатильності, яка застосовується у формуванні цін опціонів акцій німецьких компаній. Моделі ARCH типу краще застосовувати для мінімізації ризику оцінки вартості. Проаналізувавши торгову стратегію видно, що фактична волатильність має невелику похибку у порівнянні з волатильністю, яка була спрогнозована моделями часових рядів.*

**Ключові слова:** часовий ряд, волатильність, моделі ARCH типу, стохастична модель, регресія, прогнозування, кореляційний аналіз.

**Постановка проблеми.** Існує два способи прогнозування волатильності. Перший метод використовує тільки історичну інформацію про прибутковість, тоді як другий обирає для розрахунків волатильність, що використовується у формуванні цін опціонів. Найвні емпіричні дані суперечать один одному в трьох аспектах. По-перше, в рамках першого методу продуктивність моделей залежить від даних, горизонту прогнозування, частоти вибірки та критеріїв оцінки. По-друге, в рамках другого методу через типову особливість передбачуваної волатильності не зовсім ясно, як витягти волатильність з цін опціонів. По-третє, порівнявши прогнози часових рядів із прогнозами опціонів, люди виявили суперечливі докази, наприклад, праці Джоріона та Фіглевські [5] для доказів за і проти прогнозів опціонів відповідно.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом прогнозуванню нестабільності фінансового ринку приділяється значна увага в літературі академіками та практиками, зокрема

такими як С.-Х. Пун, Е. Грейнджер, К. Вест [1]. Хоча прогнозування волатильності є надзвичайно складним завданням, за словами Брейлсфорда та Фаффа [10], загалом вважається, що волатильність є передбачуваною, і тому ринок нестабільності не такий ефективний, як ринок прибутковості.

Стаття доповнює літературу трьома способами. По-перше, використано дані з країни, якій приділяється мало уваги в літературі, але яка все ж важлива в міжнародних рамках. По-друге, порівнюємо прогнози моделі стохастичної волатильності (далі - SV) з прогнозами опціонів. Модель SV забезпечує більш реалістичне і гнучке моделювання фінансових часових рядів, ніж моделі типу ARCH, оскільки вона, по суті, включає два шумових процеси. Краща відповідність моделі SV у вибірці порівняно з моделями ARCH типу було задокументовано в літературі (наприклад, праці J.L. Knight та S.S. Satchell [7]), однак моделі SV приділяється набагато менше уваги в літературі з прогнозування волатильності. Використовуючи



дані Нової Зеландії, Дж. Ю виявив, що модель SV працює краще, ніж усі інші одновимірні моделі часових рядів, включно з моделями архетипового типу [2]. Хоча останнім часом були спроби порівняти прогнози ARCH і прогнози опціонів, проте нічого не було зроблено для порівняння прогнозів SV і прогнозів опціонів. По-третє, горизонти прогнозу і вимірювання помилок були довільно обрані в літературі. У статті горизонти прогнозу та вимірювання помилок вибираються на основі використання прогнозів волатильності у фінансовій галузі. Зокрема, використовуємо ціноутворення опціонів і оцінку ризику (VAR) в якості практичного керівництва для вибору горизонтів прогнозу і вимірювання помилок.

**Постановка завдання.** Мета статті – порівняння двох основних підходів до прогнозування волатильності з використанням щоденних даних із німецького фондового ринку. Перший підхід використовує різні методи одновимірних часових рядів, а другий підхід – волатильність, що використовується у формуванні цін опціонів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Важливість німецької економіки відбивається на її фондовому ринку, який займає четверте місце за ринковою капіталізацією і третє за оборотом. Зокрема, швидке зростання німецької біржі опціонів і ф'ючерсів, яка є другою за величиною у світі, демонструє, що німецький фондовий ринок привернув велику міжнародну увагу, порівнюючи ринкову капіталізацію та обороти на шести найбільших міжнародних ринках у світі.

Фондовий ринок Німеччини складається з восьми регіональних фондових ринків, де найбільш важливою є Франкфуртська біржа з 78% сукупного обороту. Усі ці регіональні ринки засновані на відкритій торгівлі. Акції на регіональних фондових ринках торгуються двома різними способами. Ціни відкриття, полудня і закриття кожної акції розраховуються з використанням аукціонної системи. Торгівля між ними відбувається звичайним (безперервним) способом. Ціна відкриття – це ціна, за якою торгується найбільша кількість акцій. Те ж саме відбувається на аукціоні о першій годині дня та на закритті аукціону о п'ятій вечора. Оскільки існує мінімальний розмір замовлення для безперервної торгівлі, аукціонна система гарантує, що всі запити, особливо невеликі, будуть виконані. Найголовніше, що система закриття аукціону гарантує, що для більшості акцій ціна закриття буде заснована на торгівлі о п'ятій вечора.

Індекс Deutsche Aktien (DAX) представляє 30 найбільших вітчизняних акцій, що коти-

руються в Німеччині. Наприкінці поточного року акції, включені в індекс DAX, становили 76% від загальної ринкової капіталізації в Німеччині і 80% обороту акцій у Франкфурті, що робить DAX вельми репрезентативним індексом для німецького фондового ринку [9].

Щоб легше сигналізувати інвесторам про волатильність, німецька фондова біржа в грудні 1994 року ввела індекс волатильності, заснований на передбачуваний волатильності опціонів DAX. Він називається VDAX. Індекс VDAX заснований на лінійній інтерполяції мінливості двох субіндексів, які найближче до терміну служби, що залишився в 45 календарних днів.

Один із рядів даних, який доступний у відкритому вигляді – це щоденний індекс DAX з 1 січня 1988 року по 30 червня 2021 року, заснований на щоденних цінах закриття аукціону на Франкфуртській фондовій біржі. Він використовує логарифмічну прибутковість, розраховану на основі ряду DAX, в результаті чого було отримано 2876 щоденних спостережень за прибутковістю.

Середня денна прибутковість серії DAX становить 0,0585%. Стандартне відхилення денної прибутковості становить 0,01259, що еквівалентно річній волатильності в 20%. Ряд також демонструє негативну асиметрію -0,802 і надлишковий ексцес 9,8, що вказує на те, що доходи розподіляються ненормально [6].

За використання високочастотних даних, таких як дані по тіках, особливу увагу слід приділяти можливій негативній автокореляції, викликаній «відскоком попиту і пропозиції». Якщо ціни записуються з транзакцій, ціна кожної транзакції може коливатися між цінами пропозицій, викликаючи негативну автокореляцію. Нехтування негативною послідовною автокореляцією призведе до зміщення в бік підвищення оцінки денної волатильності.

Щоб оцінити ефективність різних методів, необхідно порівняти прогнозовані коливання з фактичними коливаннями. На жаль, фактична волатильність безпосередньо не спостерігається, і тому її необхідно оцінити. Поширений підхід у літературі полягає у використанні абсолютної або квадратної денної прибутковості для оцінки денної волатильності.

Було виявлено, що можна поліпшити оцінку фактичної волатильності на основі високочастотних даних. Наприклад, використовуючи 5-хвилинні внутрішньоденні дані, Т. Андерсен і Т. Боллерслев виявили, що модель GARCH забезпечує точні прогнози волатильності, а Б. Блер, С.-Х. Пун і С.Дж. Тейлор підтверджують це, повідомляючи

про збільшення на 11,5% до 41,4% прогнозу на один день вперед, коли денна волатильність була оцінена з використанням високочастотних даних [10]. Оскільки є тільки набір даних з щоденною частотою, ми обчислюємо волатильність за певний період просто як квадратний корінь з суми квадратів щоденної прибутковості за цей період:

$$G_t = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_T} r_i^2}$$

Моделі прогнозування, що використовують лише історичну інформацію про повернення, включають модель історичного середнього, модель експоненціально зваженої ковзної середньої (EWMA), модель GARCH, модель GJR-ГРАХА, модель EGARCH, модель GARCH-M і модель SV [8]. Модель історичного середнього, модель EWMA, модель GARCH і модель GJR-GRACH належать до другого підходу [3].

Модель EGARCH (p,q) визначається за формулами:

$$r_t = \mu + \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\log \sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i |\varepsilon_{t-i}| + \sum_{i=1}^q \gamma_i |\varepsilon_{t-i}| + \sum_{j=1}^p \beta_j \log \sigma_{t-j}^2$$

Модель GARCH-M(p,q) визначається за формулами:

$$r_t = \mu + \delta \sigma_t^2 + \sigma_t \varepsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^q \alpha_i r_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

Параметри системи у всіх моделях аروحного типу оцінюються з використанням методу максимальної правдоподібності. Параметри затримки p і q вибираються з використанням критерію ВІС. Щоб отримати прогноз волатильності на t крок вперед, ми користуємося формулою Енджело [4].

Модель SV визначається

$$r_t = \mu + \exp\left(\frac{h_t}{2}\right) \varepsilon_t$$

$$h_t = \mu + \alpha h_{t-1} + \eta_t$$

У порівнянні з моделями типу ARCH модель SV забезпечує більш гнучке моделювання фінансових часових рядів, оскільки вона включає два шумових процеси: один для спостережень і один для прихованої волатильності. На жаль, функція правдоподібності для моделі SV не має вираження в замкнутій формі, і тому застосовна оцінка максимальної правдоподібності (ML).

Перш ніж провести оцінку моделі, потрібно вирішити два питання. Перше – про те, як поділити вибірку. 2126 спостережень з 4 січня 1988 року по 28 червня 2010 року використовуються для підгонки моделей, а період без вибірки

охоплює решту 750 спостережень з 1 липня 2010 року по 30 червня 2020 року. Цей поділ є довільним, але період поза вибіркою охоплює періоди як низької, так і надзвичайно високої волатильності в 1998 році, що ускладнює точні прогнози волатильності. Інше питання полягає в тому, яку вибірку повинні використовувати для підгонки моделі, оскільки стануть доступні додаткові спостереження після 28 червня 2020 року. У статті використовується метод розширення. Тобто, починаючи з останнього дня періоду поза вибіркою, обчислюється прогноз волатильності для кожного горизонту.

Потрібно підкреслити, що тести, які будуть описані нижче, засновані на середніх помилках. Можна використовувати тестову статистику для порівняння відмінностей між двома розподілами помилок, наприклад, як це робили К. Вест і Д. Чо [1]. Хоча такий тест дозволяє зробити статистичний висновок про продуктивність моделі, у фінансах більш привабливим підходом є використання економічних міркувань для порівняння. У цій статті використовується торговельна стратегія для перевірки корисності моделей часових рядів.

Ця торгова стратегія заснована на купівлі або продажу колл-опціонів за індексом DAX. Формула ціноутворення опціонів є позитивною функцією очікуваної волатильності базової ціни акцій. Якщо відома майбутня волатильність, то створюється безризиковий портфель, через купівлю опціону та продаж базової акції чи індексу. Однак, оскільки очікувана або передбачувана волатильність опціону є тільки прогнозом, ця стратегія не є безризиковою і може принести прибуток або збиток залежно від істинної волатильності. Якщо справжня волатильність менша за передбачувану волатильність, покупка недооціненого опціону й продаж базової акції приносять прибуток. Аналогічно, продаж явно переоціненого опціону і покупка базової акції повернуть прибуток. Якщо прогнози волатильності, отримані за допомогою моделей часових рядів, перевершують передбачувану волатильність, можна використовувати цю торговельну стратегію для отримання прибутку.

Оскільки опціони, що використовуються для цієї торгової стратегії, мають терміни погашення від 10 до 45 календарних днів, оптимальна модель часових рядів обирається на основі середнього значення MAPE для тесту горизонту в 45 календарних днів і тесту горизонту в 10 торгових днів.

Використовуючи розрахункові (заключні) ціни для опціонів DAX з 2 липня 2020 року по 15 жовтня 2020 року, розраховується для кожного дня

припущена волатильність, заснована на опціоні за викликом з мінімальним терміном погашення (мінімум 10 днів) і припущена волатильність, заснована на середньостроковому опціоні з терміном погашення 45 та 180 днів. Ці дві передбачувані волатильності потім порівнюються з прогнозами, згенерованими моделлю EGARCH для горизонтів, що відповідають термінам погашення опціонів. Якщо прогноз моделі EGARCH на 20% перевищує передбачувану волатильність, купується опціон колл; якщо прогноз моделі EGARCH на 20% нижчий, опціон колл продається. Дохід – це дисконтовані витрати (виручка) від покупки (продажу) базового індексу, поділені на премію за опціон. Адже торгівля самим індексом надзвичайно витратна, і враховуючи, що висока неподільність фактично неможлива, використовується майбутнє індексу DAX в якості основи. Транзакційні витрати ф'ючерсу складаються зі ставкою-попиту в розмірі 0,5 індексних пунктів від розрахункової ціни і комісії в розмірі 1 євро за торгування ф'ючерсами, яку стягує EUREX. Ці транзакційні витрати типові для інституційних інвесторів і становлять лише частину витрат, які заплатили б роздрібні інвестори, виконуючи арбітраж по волатильності.

Низька стійкість моделі EGARCH очевидна. Для опціону з більш коротким терміном погашення (позначимо як варіант 1) у 29 з 45 торгових днів прогноз моделі EGARCH на 20% нижчий за передбачувану волатильність і на один день на 20% вищий. Для опціону з більш тривалим терміном погашення (позначимо як варіант 2), 35 з 45 торгових днів десять прогнозів волатильності моделі EGARCH на 20% нижчі, ніж реальна волатильність, і ніколи не перевищують припу-

щену волатильність. Це призводить до 29 угод для варіанту 1 і 35 угод для варіанту 2.

В результаті очікуємо, що якщо наша модель передбачає, що реалізована волатильність нижча, ніж мається на увазі в ціні опціону, ця угода принесе прибуток. Збиток виникне, коли реалізована волатильність виявиться вища за передбачувану.

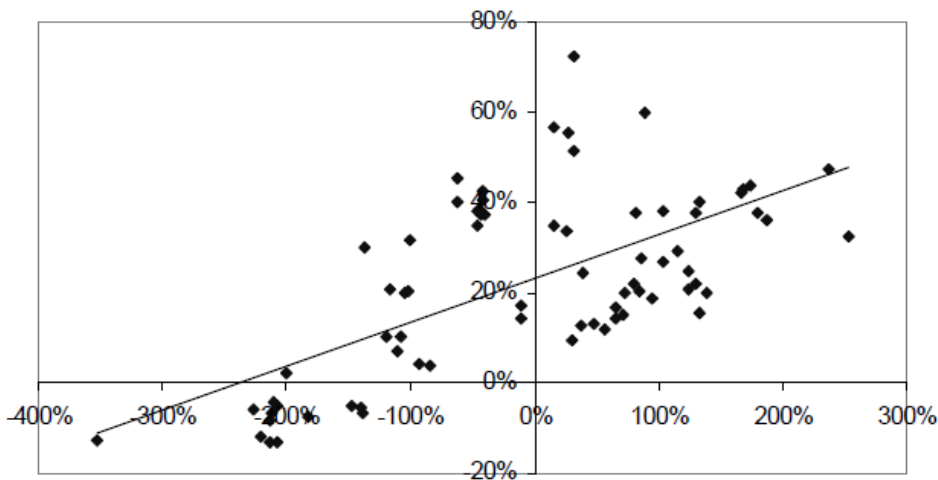
На рисунку показано, що дані підтверджують це очікування, оскільки більшість точок знаходяться в першому і третьому квадранті, тоді як відхилення викликані транзакційними витратами й недосконалістю ринку. Це також показує, що не всі угоди приносять позитивний прибуток. Насправді середня прибутковість негативна (-9,1%), хоча вона дуже мала і частково викликана транзакційними витратами. Що ще цікавіше, для 29 угод варіанту 1 середня прибутковість позитивна (0,89%), тоді як 45 угод варіанту 2 приносять середню прибутковість -18,9%. Цей результат зумовлений низькою стійкістю, в результаті чого модель EGARCH більшою мірою недооцінює волатильність для варіанту 2, ніж для варіанту 1.

Таблиця 1

**Порівняння середньої зміни волатильності**

	10 днів	45 днів	180 днів
Реальні значення	29.5%	239%	449%
EGARCH	28.9%	202%	403%
GARCH	28.4%	247%	467%
SV	23.2%	226%	425%

Висновок із цієї торгової стратегії полягає в тому, що моделі часових рядів не краще передбачають волатильність, ніж передбачувана волатильність, хоча, за загальним визнанням, ця торгова стратегія навряд чи є репрезентативною.



**Рис. 1. Графік відхилення між передбачуваною та реалізованою волатильністю**

**Висновки.** Порівнявши два основні підходи до прогнозування волатильності на німецькому фондовому ринку, можемо сказати таке. Результати дослідження показують, що ранжування чутливе до вимірювань помилок, а також до горизонтів прогнозу. Проаналізувавши результати, неможливо однозначно визначити, яка модель має гіршу похибку. Стохастична модель краще впоралася з прогнозуванням волатильності, яка застосовується у формуванні цін

опціонів акцій німецьких компаній. Моделі ARCH типу краще застосовувати для мінімізації ризику оцінки вартості. Проаналізувавши торгову стратегію, бачимо, що фактична волатильність має невелику похибку порівняно з волатильністю, яка була спрогнозована моделями часових рядів, що узгоджується з висновками Б. Блера, С.-Х. Пуна і С.Дж. Тейлора. Програмне забезпечення з названої теми буде реалізоване з подальшими дослідженнями.

#### Список літератури:

1. West K., Cho D. The predictive ability of several models of exchange rate volatility". *Journal of Econometrics*. 1995. 69(2). 367–391.
2. Yu, J. Forecasting volatility in the New Zealand stock market. *Applied Financial*. 1999.
3. Sandmann G., Koopman S.J. Estimation of Stochastic Volatility Models via Monte Carlo Maximum Likelihood. *Journal of Econometrics*. 1998. 87. 271–301.
4. Engle R.F., Ng K.V. Measuring and testing the impact of news on volatility. *The Journal of Finance*. 1993. 48(5). 1749–1778.
5. Figlewski S. Options Arbitrage in Imperfect Markets. *Journal of Finance*. 1989. 44. 1289–1311.
6. Nelson D.B. Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach. *Econometrica*. 1990. 59. 347–370.
7. Knight J.L., Satchell S.S., Yu J. Efficient estimation of the stochastic volatility model by the empirical characteristic function. Working paper, The University of Western Ontario, 1998.
8. Glosten L.R., Jagannathan R., Runkle D. On the relation between the expected value and the volatility of the normal excess return on stocks. *Journal of Finance*. 1993. 48. 1779–1801.
9. Gemmill G. The forecasting performance of stock options on the London Traded Option Markets. *Journal of Business Finance and Accounting*. 1986. 13,4. 535–546.
10. Blair B., Poon S.-H., Taylor S.J. Forecasting S&P 100 Volatility: The Incremental Information Content of Implied Volatilities and High Frequency Index Returns. *Journal of Banking and Finance*. Forthcoming, 2000.

#### Zaichenko V.V. ANALYSIS OF TIME SERIES METHODS BASED ON FLUCTUATION VOLATILITY OF GERMAN MARKET COMPANIES

*This article presents two different approaches for market volatility prediction in the German stock exchange (DAX). The first approach leverages a combination of time-series methods. The second approach is based on the volatility used for the formation of stock options for German companies. Time series models include: the stochastic volatility model; four arch-type models; one exponentially weighted moving average model; one historical average model.*

*Predicted the volatility using several one-dimensional time series models. Upon analysis, notice that volatility tends to cluster and changes over time. Selected different forecast horizons: 1 trading day, 10 trading days, 180 trading days, 45 calendar days to check the independence of the results. Used the LINEX loss function and the root-mean-square prediction error as criteria for evaluating the correctness for market volatility prediction. Then elaborated a strategy to determine usefulness and effectiveness of volatility prediction models based on time series.*

*Experimental studies showed that the models are strongly dependent on the forecast horizons and measurements errors. Examination of the results does not lead to a clear conclusion on which model is the best. The stochastic model allowed for high fidelity in volatility prediction, and it's used in the formation of stock options prices in German companies. Arch-type models excel when the main goal is minimizing the risk of cost estimation. After analyzing the trading strategy, conclude that the actual volatility and the volatility predicted by the series differ by minor errors.*

**Key words:** time series, volatility, ARCH type models, stochastic model, regression, prediction, correlation analysis.

**Зайченко І.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ДІЄВИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПЛАГІАТУ НАВЧАЛЬНИХ КОДОВИХ ПРОГРАМ

У статті розглядаються основні методи та програмні засоби для виявлення плагіату навчальних програм. Проведено дослідження та аналіз останніх публікацій на тему методів виявлення плагіату програмних проєктів. Виконано аналіз базових методів та методів програмних систем, що присутні на ринку та виявляють плагіат навчальних кодових програм. Було структуровано та досліджено такі методи: метод текстового аналізу; метод, орієнтований на атрибути коду; структурно-орієнтований метод; метод на основі абстрактного синтаксичного дерева; метод на основі токенів; метод на основі метрик програми; метод на основі орієнтованого графа; метод на основі аналізу стилю програмування; метод на основі ідентифікаційних міток. Проаналізовано методи виявлення плагіату перелічених нижче сервісних програм: SIM, MOSS, JPlag. Детально розібрано алгоритми виявлення плагіату в навчальних кодових програм найпопулярніших сервісів, зокрема MOSS, Jplag та SIM. Було проведено порівняння вказаних сервісів між собою. Серед порівнюваних елементів сервісів було розглянуто кількість підтримуваних мов програмування, основний алгоритм, виключення шаблонного коду, історичні порівняння, підтримка багатофайлового проєкту, відкритість коду та надання зручного користувачького інтерфейсу завантаження студентських робіт для виявлення плагіату. Кожна функція та особливість була оцінена з урахуванням важливості, повноти реалізації та зручності. Проведене дослідження та аналіз діючих програмних систем дає змогу систематизувати методи виявлення плагіату в навчальних кодових програмах. Внаслідок наведеного порівняльного аналізу наявних програмних систем для виявлення плагіату в навчальних кодових програмах було обґрунтовано доцільність розробки нового програмного рішення, орієнтованого на успішне поєднання та покращення методів і функціоналу систем виявлення плагіату

**Ключові слова:** плагіат, методи виявлення плагіату, плагіат кодових програм, системи антиплагіату, порівняння антиплагіатів.

**Постановка проблеми.** Незалежно від предметної області, плагіат є реальною проблемою для викладачів. Легкість, з якою студенти можуть копіювати комп'ютерний код, відкриває можливості для плагіату в проєктах програмування. Наразі викладачам надається мало інструментів, які допомагають їм у виявленні можливого плагіату в завданні. Тому часто рішенням є втомлива і схильна до помилок ручна перевірка робіт у пошуках схожості між будь-якими двома роботами.

Використання студентами плагіату зумовлено багатьма причинами, наприклад, іноді виникають деякі недоліки під час перевірки завдань викладачем, а іноді студент просто лінується писати власний код. Також гостро стоїть питання «академічної доброчесності» у багатьох вузах. Це поняття полягає в тому, що студенти мають самі виконувати всі свої завдання, а у випадку виявлення ознак свідомого плагіату вони можуть понести покарання (у деяких випадках – навіть відрахування з вищого навчального закладу).

Програмне забезпечення, яке могло б ідентифікувати проєкти, що містять високу ступінь подібності, було б корисним для викладачів, даючи їм змогу зосередити свій час, витрачений на пошук плагіату, на виконання інших запланованих завдань. Однак досить важко знайти систему, яка має весь необхідний функціонал і водночас використовує сучасний метод виявлення плагіату в навчальних кодових програмах.

Мета роботи – розширення функціоналу системи виявлення плагіату в навчальних кодових програмах шляхом аналізу й систематизації методів та функціональних можливостей систем-аналогів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Плагіат у кодуванні – не зовсім нове явище. Це питання раніше обговорювалося і вивчалася науковцями, щоб визначити серйозність проблеми й те, які фактори сприяють актам плагіату. Було проведено багато досліджень на тему методів виявлення плагіату. У статті [1] було винайдено власний алгоритм на основі фільтрації даних. Робота [2] надає інформацію про виявлення

плагіату вихідного коду програмного забезпечення за допомогою математичних метрик складності.

**Постановка завдання.** Головним завданням є огляд та систематизація методів та функціональних можливостей систем виявлення плагіату в навчальних кодових програмах. Мета аналізу – виявлення необхідного функціоналу для якісної реалізації власної системи антиплагіату кодових програм.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**  
Метод текстового аналізу. Під час визначення того, був текст плагіатом чи ні, може бути проведений аналіз тексту. Статистика використовується для визначення того, чи дійсно текст був плагіатом, на основі підрахунку частот слів і пропозицій. Наприклад, текст порівнюється з іншими текстами в базі даних для пошуку подібності у словах і складі пропозицій. Більш висока частота слів і кількість посилань будуть вказувати на вищу ймовірність плагіату.

Системні підходи, засновані на тексті, не підходять для виявлення плагіату коду, оскільки вони ігнорують синтаксис кодування і, крім того, зміни в скопійованому коді зможуть уникнути виявлення плагіату.

Метод, орієнтований на атрибути коду. Система, орієнтована на атрибути, націлена на ключові властивості коду й оцінює ці ключові властивості. Система, яка пояснюється Дональдсоном, використовує чотири атрибути і вимірює їх для виявлення плагіату:

- кількість унікальних операторів;
- число унікальних операндів;
- кількість входжень операторів;
- кількість входжень операндів.

Дві кодові програми апроксимуються шляхом вимірювання різниці між зазначеними вище атрибутами. Відзначається, що атрибутивно-орієнтовані системи дуже вузькі. Системи, орієнтовані на атрибути, корисні тільки для тих програм, які мають мінімум змін у коді. Найбільш часто використовуваний спосіб обходження цього методу – додавання або видалення непотрібного коду. Оскільки ця система перевіряє код рядок за рядком, існує можливість великої різниці між числом операндів і операторів по всьому коду. Також важко виявити плагіат у програмі з дуже великим кодом.

Структурно-орієнтований метод. Він заснований на комбінації двох методів: пошук подібності в структурі подання з двох частин вихідного коду, а також застосування атрибута методів підрахунку. У цих системах такі елементи, як коментарі, пробіли й імена змінних, ігноруються, тому що вони можуть бути легко змінені.

Існує безліч структурно-орієнтованих підходів, доступних для виявлення плагіату в вихідному коді. Кожен підхід фокусується на певних характеристиках коду. Наприклад, деякі підходи призначені тільки для перевірки на плагіат вихідного коду, написаного на різних мовах програмування. Деякі підходи доступні для перевірки плагіату дуже складних модифікацій коду, але їм потрібно багато часу, щоб виявити схожість. У структурно-орієнтованих системах схожість між двома програмами вимірюється на основі подібності структури двох вихідних кодів. За такого підходу вихідний код порівнюється в два етапи. На першому етапі генерується потік токенів програм, а другий – це етап порівняння потоків токенів з допомогою алгоритмів зіставлення рядків.

Метод на основі абстрактного синтаксичного дерева (далі – АСД). Пошук запозичень у коді на основі побудови абстрактного синтаксичного дерева дає змогу представити код у формі, не враховуючи інформацію, яка не впливає на оригінальність. Представлення коду враховує тільки логіку програми.

АСД – це структурне представлення коду, очищене від елементів синтаксису конкретної мови програмування, де вузлами є оператори, до яких приєднуються їхні аргументи, а вони, своєю чергою, теж можуть бути складовими вузлами. Перевагою використання цього уявлення є велика кількість парсерів для різних мов програмування. До недоліків належать складність реалізації та тривалий час роботи алгоритмів побудови й аналізу АСД.

Метод на основі токенів. Часто вузли АСД виходять із лексем, які виділяються на етапі лексичного аналізу. Тобто код перетворюється на послідовність лексичних одиниць із певним значенням, так званим токеном.

Токенізація здійснюється за таким алгоритмом:

1. Кожному оператору мови програмування або групі операторів, що мають подібне призначення, присвоюється унікальний ідентифікатор. Значення ідентифікаторів призначаються заздалегідь і для всіх класів операторів.

2. За отриманими ідентифікаторами будується рядок. У цьому рядку порядок токенів відповідає порядку прямування їх у вихідному коді.

Такий підхід дає змогу ігнорувати частини коду, які легко піддаються змінам, а також виявляти запозичені фрагменти скопійованого коду, розташованих у різних місцях програми.

Процес токенізації залежить від конкретної мови програмування, тобто підтримка декількох мов можлива тільки за умови використання декількох лексичних аналізаторів.

Метод на основі метрик програми. Подання ґрунтується на оцінці різних метрик програми, в якості метрики можуть використовуватися, наприклад, кількість викликів функцій, використовуваних змінних, циклів. Далі дві програми порівнюються з відповідними значеннями метрик, якщо вони близькі або збігаються, то виявляється плагіат.

Названий метод не прив'язаний до мови програмування, має високу продуктивність і хорошу масштабованість, але в невеликих програмах, якими найчастіше і є навчальні завдання, метод видає велику кількість неправильних даних для всіх типів запозичення.

Метод на основі орієнтованого графа. Запозичення виявляються на основі графа залежностей програми (далі – ГЗП) – орієнтованого графа.

Вершини ГЗП представляють операції програми, а ребра представляють залежності між ними. Ребра поділяють на залежності за даними і за управлінням. Після складання ГЗП аналізованих програм для них здійснюється пошук схожих підграфів. Підграфи визнаються подібними, якщо вони пов'язані і мають збіги багатьох ребер. Цей метод вирізняється тим, що граф зберігає інформацію і про семантику, і про структуру, сприяючи високій точності виявлення запозичень програмного коду. Недоліком подання є погана масштабованість графа і тривалий час його побудови та аналізу.

Метод на основі аналізу стилю програмування. В аналізі стилю програмування часто згадується родимі плями. Родимі плями – це певні властивості коду програми, які використовуються з самого початку написання програми, а потім тісно пов'язані в подальшій розробці програмного забезпечення. Вказана сутність вважається об'єктивною, тому вона ідеально підходить для підтвердження авторства та факту плагіату.

Кожному програмісту, який розробляє програмне забезпечення, пише код, властивий індивідуальний підхід та стиль написання. Ось чому в програмному коді часто можна простежити велику кількість родимих плям, які будуть характерні для конкретного розробника. Якщо розглянути на прикладі, то типовим кейсом може виступати ситуація, коли будуть використані шаблони для рішення типової проблематики, такі шаблони з'являються в розробників за роки написання програмного забезпечення.

Помилки також є складовою родимих плям автора вихідного тексту. Повторення унікальної помилки також може предстати доказом плагіату, адже ймовірність отримання однакових специфічних помилок дуже мала.

Метод на основі ідентифікаційних міток. Ідентифікаційна мітка – це певна інформація, яка належить автору та неочевидна для випадкового розпізнання. Вона допомагає підтвердити авторство своєю присутністю. Зазвичай ідентифікаційні мітки кодуються способом, відомим лише самому автору.

Несподіване розташування та невизначеність – головна складова ефективності та доцільності використання ідентифікаційних міток. Присутність таких міток повинна бути проінформована. Це забезпечує додатковий захист проти зловмисника, який завершить спробу запозичення тексту з названими елементами. Збереження вихідного тексту визначає справжнього автора, незважаючи на спроби зловмисника додати додаткові ідентифікаційні мітки.

Основну увагу потрібно приділити принципу побудови ідентифікаційних міток. Адже за правильної розробки вони будуть добре захищені від різноманітних модифікацій та видалення. Якщо зловмисник буде знати принцип побудови, то зникне весь сенс використання міток.

Слід зауважити, що важливим аспектом проблеми, виявлення та видалення особливих тегів автора є знання зловмисником будь-якої конфіденційної інформації. Щоб уникнути цієї проблеми, рекомендується шифрувати інформацію з мітками автора. Однак не варто зациклюватись на цьому, оскільки складне шифрування не забезпечує коректне розшифрування даних, тому що чим більша складність алгоритму шифрування, тим більша вірогідність невірному розшифрування даних.

Метод, який використовує сервіс SIM [3]. SIM використовується для виявлення плагіату коду, написаного на мові програмування Java, C, Pascal, Lisp та тексту на природній мові.

Щоб виявити плагіат, SIM проводить токенизацію вихідного коду, а потім створює таблицю символів (для збереження динамічно призначених ідентифікаторів токенів), після цього порівнює токенизовані кодові рядки програм, використовуючи алгоритм локального вирівнювання рядків.

SIM використовується для перевірки подібності між звичайними текстовими файлами. Система перетворює вихідний код рядка, а потім порівнює їх за допомогою методу вирівнювання рядків динамічного програмування. Названий метод використовується для зіставлення рядків ДНК. Вирівнювання є дорогим та вичерпним з точки зору обчислення для всіх систем, адже для великих текстів коду SIM не масштабується.

Оптимальне вирівнювання двох рядків – це максимальне значення цільової функції всіх комбінацій конкретного вирівнювання.

Алгоритм у системі SIM є таким:

1. Отримуються токеновані рядки A1 і A2 програм.

2. A2 ділиться на певні секції, що являє собою модуль програми.

3. Для кожної секції A1 обчислюються значення оптимального вирівнювання.

4. Результати між собою комбінуються.

Даний підхід дає змогу SIM коректно обробляти перестановки модулів програми.

Вихідний код SIM публічно доступний, але він більш активно не підтримується.

Метод, який використовує сервіс MOSS [4]. MOSS доступний для використання в академічних колах і в якості онлайн-сервісу. Сервіс підтримує програми мов Ada, C, C++, Java, звичайний текст, Паскаль та інші. MOSS підтримує операційні системи UNIX та Windows.

Згаданий вебсервіс використовує алгоритм відбитків документа – алгоритм просіювання. У цьому алгоритмі відбитків токенована програма надається у вигляді набору міток, щоб набори для подібних програм перетиналися.

Алгоритм методу відбитків:

1. Один за одним хешуються підрядки токенованого проєкту A1 довжини n.

2. Виділяється підмножина хеш-значень, що характеризує A1. Ті самі кроки виконуються і для інших програм, їхні хеш-значення зберігаються у таблицю.

3. За допомогою таблиці отримується набір ділянок коду P, підозрілих на плагіат.

4. Відбувається аналіз отриманих даних.

Важлива частина алгоритму – це вибір n та 2 крок. n обмежує довжину підрядка, з якої працює алгоритм. Мале його значення сприяє ігноруванню шумів, що не дає алгоритму пропустити випадок плагіату.

Метод, який використовує сервіс JPlag [5]. JPlag доступний як безкоштовний сервіс. Сервіс

використовується для перевірки на плагіат коду, написаного на Java, C, C++, Scheme та інші. Надається проєкт готових файлів програм у якості вхідних даних у JPlag.

JPlag, оскільки є десктопним додатком та має відкритий код, надає можливість використання його в розробці проєкту для взаємодії інших систем для виявлення плагіату. Система перетворює код у рядки токенів, що представляють структуру коду. Далі йде порівняння рядків токенів алгоритмом жадібного рядкового замощення.

Цей алгоритм використовує дані евристики:

1. Довгі послідовні збіги для порівняння рядків-токенів – це набагато краще, чим набір менших і непослідовних.

2. Алгоритм ігнорує збіги, менші за вказане значення.

Друга евристика фільтрує шуми – невеликі частини коду, що випадково збігаються в кодах.

Кінцевим результатом жадібного алгоритму буде набір спільних підрядків, які не перетинаються. Підрядок, який входить у набір, є тайлом. Чим більша нормалізована сума довжин тайлів, тим більша схожість цих підрядків.

Рабіна-Карпа оптимізував алгоритм жадібного рядкового замощення на порівнянні підрядків за хеш-значеннями:

1. Хеш обчислюються для підрядків довжини min в A1 і A2.

2. Кожен хеш рядка A1 порівнюється з кожним відповідним A2. Якщо значення однакові, значить, знайдено збіг підрядків для цього токена.

3. Хеш-таблиця розміщує підрядки A2, які мають однакові значення хешу з A1, що зменшує обчислення аж до лінійної кількості кроків алгоритму.

Порівняння систем виявлення програмного плагіату. Порівняння буде відбуватися за такими критеріями (див. табл. 1):

Таблиця 1

Порівняння за критеріями систем виявлення плагіату

	SIM	MOSS	JPlag
Кількість підтримуваних мов програмування	5	23	7
Основний алгоритм	Токенізація, вирівнювання рядків	Токенізація, вирівнювання рядків, алгоритм відбитків	Токенізація, оптимізоване жадібне рядкове заміщення
Виключення шаблонного коду	–	–	+
Історичні порівняння	–	+	–
Підтримка багатофайлового проєкту	–	+	+
Відкритість коду	+	–	+
Зручний користувацький інтерфейс	–	–	–



1. Кількість підтримуваних мов програмування.
2. Основний алгоритм методу роботи системи.
3. Виключення шаблонного коду – наявність ігнорування системою певної частини коду, спільної для всіх.
4. Історичні порівняння – наявність порівняння нового програмного коду з попередніми.
5. Підтримка багатофайлового проекту – оцінка системою на плагіат у межах одного чи багатьох файлів проекту.
6. Відкритість коду – вихідний код системи доступний для користувачів.
7. Зручний користувацький інтерфейс для завантаження робіт, які потім будуть проходити виявлення плагіату.

Системи JPlag та MOSS дають користувачу подібну функціональність, Алгоритми, що лежать у їхній основі, надають подібні результати виявлення плагіату.

Лише MOSS із методом просіювання надає змогу організувати базу коду, в якій можна шукати збіги в іншому програмному коді за деякий вказаний час, а не перевіряти знову на плагіат із кожним елементом бази. Це завдяки тому, що MOSS використовує хеш-таблицю.

JPlag є десктопним сервісом та його код відкритий для користувача. Це дає можливість змінювати його для власних потреб та використовувати у своєму кодові й не бути залежним від інших вебсервісів.

SIM використовує алгоритм, який в основі має вирівнювання рядків, що на невеликих частинах коду може надавати хибні збіги.

Використовуючи дослідження методів та порівняльний аналіз популярних сервісів для виявлення програмного плагіату, можна зробити висновок про функціональні можливості методів і сервісів, а також і про їхні переваги й недоліки.

**Висновки.** Було розглянуто та систематизовано методи виявлення плагіату вихідного коду. Проведений аналіз популярних сервісів, призначених для виявлення плагіату в навчальних кодових програмах, систематизовано функціонал цих сервісів та виявлено їхні переваги та недоліки. Серед наявних сервісів наразі досить складно знайти комплексне рішення, що якісно поєднує в собі всі наведені вимоги: підтримання великої кількості підтримуваних мов програмування; ефективність основного алгоритму; виключення шаблонного коду; можливість історичних порівнянь; підтримка багатофайлового проекту; відкритість коду та надання зручного користувацького інтерфейсу для завантаження студентських робіт. Результати аналізу статті обґрунтовують необхідність розробки нового програмного забезпечення, орієнтованого на поєднання та розширення функціоналу систем для виявлення плагіату в кодових програмах. Подальші дослідження будуть спрямовані на реалізацію такого програмного забезпечення.

### Список літератури:

1. Кірічек А.А., Амонс А.А., Кірічек Г.Г. Алгоритм фільтрації для системи визначення плагіату у програмному коді. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2013. Вип. 16(989). Ч. 1. С. 76–82.
2. Виявлення плагіату вихідного коду програмного забезпечення за допомогою математичних метрик складності. 2017. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-1965/paper7.pdf>
3. SIM : вебсайт. URL: <https://www.simge.edu.sg>
4. MOSS : вебсайт. URL: <https://yangdanny97.github.io/blog/2019/05/03/MOSS>
5. JPlag : вебсайт. URL: <https://github.com/jplag/jplag>

### Zaichenko I.V. ANALYSIS OF METHODS FOR DETECTING PLAGIARISM OF EDUCATIONAL CODE PROGRAMS

*This article discusses the main methods and software tools for detecting curriculum plagiarism. Research and analysis of recent publications on the methods of detecting plagiarism of software projects. The analysis of basic methods and methods of software systems that are present on the market and detect plagiarism of educational code programs is performed. The following methods were structured and investigated: text analysis method; the method focuses on code attributes; structurally-oriented method; method based on the abstract syntactic tree; token-based method; method based on program metrics; method based on the oriented graph; method based on analysis of programming style; method based on identification labels. Methods of detecting plagiarism of data of service programs are analyzed: SIM, MOSS, JPlag. Algorithms for detecting plagiarism in educational code programs of the most popular services, including MOSS, Jplag, and SIM, are analyzed in detail. A comparison of these services with each other. Among the compared elements of the services were considered the number of supported programming languages, the main algorithm, template code exclusion, historical comparisons,*

*multifile project support, code openness, and providing a user-friendly interface for downloading student work to detect plagiarism. Each function and feature were evaluated taking into account the importance, completeness of implementation, and convenience. The conducted research and analysis of existing software systems allows systematizing the methods of plagiarism detection in educational code programs. As a result of the given comparative analysis of the existing software systems for plagiarism detection in educational code programs the expediency of development of the new software decision focused on successful combination and improvement of methods and functionality of plagiarism detection systems was substantiated.*

**Key words:** *plagiarism, methods of plagiarism detection, plagiarism of code programs, antiplagiarism systems, comparison of antiplagiarism.*

UDC 004.912

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/15>**Zashcholkin K.V.**

Odessa Polytechnic State University

**Ivanova O.M.**

Odessa Polytechnic State University

**Kuznietsov M.O.**

Odessa Polytechnic State University

**Sulima Y.Y.**Separated Structural Subdivision "Odessa Technical Applied College  
Odessa National Academy of Food Technologies"

## APPROACH TO THE AUTOMATED TEXT BORROWING ASSESSMENT BASED ON THE CLASSIFICATION OF SOURCES AND DESTINATIONS IN E-LEARNING SYSTEMS

*The article is devoted to one of the aspects of eLearning process - the analysis of the impact of the volume and nature of textual borrowing on the quality and the final assessment of academic works. A form of knowledge control, based on the assessment of academic work, the results of which are presented in the form of a set of text files, is considered. The disadvantages of the existing e-learning systems in terms of providing such control are noted. The paper specifies the disadvantages of the existing approaches to automated analysis and evaluation of the legitimate text borrowing (without signs of plagiarism) in students' works. Within the framework of the existing approaches the presence of such kinds of borrowing either does not influence on a students' work mark or reduces it if the total amount of borrowing exceeds some threshold. The proposed approach is based on the numerical appraisal of borrowing effect on the quality of students' works and the final mark. It is different from the existing ones as it is founded on the differentiation of text sources and location of borrowing in students' works (hereinafter sources and destinations). The principal thesis of the approach is as follows: a source of borrowing from one hand and its destination from the other hand are able to have either positive or negative influence on the quality of students' works. Within the framework of the proposed approach the classification is performed and as a result each of the borrowing is referred to the two created classes: class-source and class-destination. The numerical assessments assigned to each of the classes as well as the amount of borrowing of each of the classes are the arguments of the resultant function which indicates the borrowing influence on the quality of students' works. The paper represents the proposed approach advantages and possibilities of its practical implementation.*

**Key words:** e-learning, text borrowing, automated assessment of text borrowing, borrowing search in students' works, learning management systems.

**Introduction and statement of problem.** Out-of-class tasks are an important constituent of training process frequently used in the University system of education. Such kind of tasks is natural for graduate and course works and partially laboratory works of engineering specialties. The course of doing such kind of tasks consists of the following stages: getting a task; its immediate doing; creating a report on the task done; probably defending the results and at last its final evaluation. As a result of the task done a student forms the text information totality: the notes or report of the work carried out. This text information is typically demonstrated in the form of a file or multiple files represented in one of the popular electronic formats

of text documents: doc, docx, odt, pdf. The mentioned files are given to an instructor or automated knowledge management system for examination. The instructor analyses the information, if necessary he (she) asks the student for some explanation as to the details of the task done, and marks it.

The student's tasks of the described type are characterized by the usage of text borrowing [1]. The borrowing can be both of legitimate character (containing all the necessary references to sources made in a proper way) and illegitimate one (possessing the plagiarism) [2]. Hereinafter in the given paper an analysis of only the legitimate text borrowing without plagiarism signs is being considered.

The traditional approaches to the students' work evaluation do not consider text borrowing used in work as a factor effecting on the work quality. In the authors' opinion it is a disadvantage of the existing approaches. The goal and way of the borrowing usage along with the other factors characterize the level of students' knowledge and skills. In evaluating the task done by an instructor (without automation means application) the borrowing factor effects on the final mark. However if the instructor takes into account this factor he (she) has to examine in detail the links between the borrowing, methods of its representation in the text and student's explanations on the contents of the task done. The procedure of such kind of verification of student's knowledge and correctness of borrowing usage takes a lot of time (wherein one should take into account that the time required for verification is limited). Under these conditions the decision about the borrowing effect on the task quality is made by the instructor on the basis of incomplete data and dependent on the instructor's experience.

#### **Analysis of recent research and publications.**

The borrowing factor should be obviously taken into consideration in using the computer-aided estimation system including in Learning Management Systems (LMS). However the existing LMSs [3; 4] possess only two scenarios of borrowing processing:

– *scenario 1*: legitimate borrowing is considered as a neutral factor and its presence does not influence on the mark;

– *scenario 2*: legitimate borrowing is considered as a neutral factor however in exceeding some threshold of the total amount of borrowing the task is transferred to the class of illegitimate work [5–7].

The example of the second scenario implementation is the system Turnitin [8], which at present is the standard de facto in the field of plagiarism verification and the verification process control. This system refers the works containing a large amount of legitimate borrowing to the class of illegitimate ones [9]. According to the Turnitin's classification such kind of works are referred to the type "Aggregator" and defined as "Includes proper citation to sources but the paper contains almost no original work" [10]. Turnitin in his survey [11] estimates the frequency of occurrence of this types of works as 4.4 according to 10-point scale.

Thus within the framework of both of the first scenario and the second one the presence of the legitimate text borrowing does not effect on the assessment. The second scenario just permits to define a work as legitimate or illegitimate depending on the exceeding of stated threshold of the total amount of borrowing in text.

On this basis we can argue that the existing approaches to automated assessment of students' tasks (and software systems realizing them):

a) in the area of their functioning, which is performed without instructor's participation (automatic part), solve only the trivial problem of selection of works containing a large portion of legitimate borrowing;

b) concentrate in the nonautomatic part (implemented by an instructor) the analysis how borrowing influences on the work quality without offering means of its (analysis) formalization and methods of (analysis) performance.

**The goal of the paper.** In the authors' opinion the borrowing influence assessment process on the students' task quality can be substantially formalized and transferred to the automatic area of the functioning of automated estimation systems. In the connection with this fact *the goal of the given paper* is as follows – to improve the approach to analysis of text borrowing in students' tasks by assessing in numerical way the borrowing effect on work quality and its final mark.

**The proposed approach to text borrowing analysis.** The approach to the text borrowing analysis offered in the given paper is as follows: to consider different types of borrowing as heterogeneous objects, which being present in the text, influence differently on the mark of a task. To classify different types of borrowing the two new characteristics are distinguished: kind of the borrowing source and borrowing place (borrowing destination) in the assessed work. According to these two characteristics classification as well as the characteristic of amount of borrowing, the numerical assessment of the degree of borrowing effect on the task mark is offered. The proposed approach is determined by the following basic thesis.

The *first thesis* determines that text borrowing used in students' tasks possesses different nature of origin, various roles and purposes. Depending on the mentioned characteristics the borrowing can be: negative phenomena and in this case they make the mark lower; of neutral character and do not effect on the mark of a task; considered as a positive phenomena and on the contrary make the mark higher [12].

The *second thesis* permits to find out the character and origin of borrowing by classifying them according to the attribute of borrowing source. The basic classes have been distinguished in order to carry out the classification:

–  $CS_1$  – the statement of task and instructions how to do it;

- $CS_2$  – methodological literature, which covers the issue;
- $CS_3$  – scholarly literature, which covers the issue;
- $CS_4$  – the results obtained from the engineering experience generalizing systems of such type as StackOverflow [13], MathOverflow [14];
- $CS_5$  – borrowing represented as answers received at topical Internet forums on the corresponding fields;
- $CS_6$  – borrowing from the web sites representing the documentation on technology, equipment, means, which are characteristic for the field of the task performed;
- $CS_7$  – text fragments represented as the solutions of analogous problems solved by students before and obtained from the Internet.

The list of classes mentioned above is not comprehensive and closed and can be added depending on the peculiarity of task and estimation priority.

The *third thesis* deals with the numerical assessment of each class of the borrowing sources according to some scale with the view to differentiate the borrowing sources and indicate the degree of their effect on the task quality and future mark [15].

The *fourth thesis* allows to indicate the borrowing role in the evaluated task by classifying them according to their place (location) in the text of task (borrowing destination). In order to create such kind of classification the structural model of the estimated task is necessary with the view of indicating its structural elements and links between them. By structural elements we mean e.g. the chapters or smaller structural units of the task.

The *fifth thesis* represents the numerical assessment of each of the destination class according to some scale with the view to differentiate the structural elements of the considered task in which the borrowing is located (placed).

The *sixth thesis* proposes the numerical assessment of each of the borrowing found in the task with considering the numerical assessment of source classes and destination classes of borrowing as well as the relative amount of borrowing in the total volume of task.

In accordance with the thesis mentioned above each of the borrowing  $B_i$  is characterized with the three parameters:  $A_{S_i}$  – numerical assessment of the borrowing source;  $A_{D_i}$  – numerical assessment of its destination;  $V_i$  – relative amount of borrowing. Where the amount  $V_i$  is indicated as the ratio of the number of borrowing symbols  $B_i$  to the total amount of symbols in the task. In the case of including the borrowing

in the preset classes of sources and destinations the assessments  $A_{S_i}$  and  $A_{D_i}$  are equal to the assessments of the corresponding classes. If the borrowing cannot be referred to one of the preset classes then these assessments are assigned to the borrowing manually.

#### **Technique of the proposed approach usage.**

The sequence of actions, which are necessary to assess the borrowing influence on the task quality is the basis of the proposed technique. The technique is implemented with the help of software called hereinafter automated borrowing assessment system (ABAS). The technique consists of two parts. The first is performed once in initializing ABAS and is its initial starting adjustment. The second part is applied in each of the student's tasks being considered.

The part of the technique performed once (ABAS initiation) consists of the following stages.

*Stage 1.* ABAS proposes the instructor to input the source classes in the system and carry out their formal description. This description is to contain a characteristic attitude permitting to refer the source to the definite class. Such kinds of attitudes can be: web site addresses, authors' names, book and article titles. As a results of this stage a set of source classes  $CS = \{CS_1, CS_2, \dots, CS_n\}$ , where  $CS_i = \langle description_i \rangle$ ,  $description_i$  is the formal description of  $i$ -source class, is formed in ABAS database.

*Stage 2.* ABAS offers the instructor to give a numerical assessment to each of the source classes. The instructor independently states the scale of assessment or chooses one of some predetermined scales offered by the system. The assessment assigned to each of the source classes expresses the degree of positive, neutral or negative influence of borrowing of the given class on the task quality. As a result of this stage the numerical assessment  $A_{CS_i}$  is added to each of the source classes; the class description has the form  $CS_i = \langle description_i, A_{CS_i} \rangle$  in ABAS database.

*Stage 3.* ABAS proposes the instructor to input the borrowing destination classes (distinctive structural elements of student's task) into the system and perform their formal description. This description is to contain the attributes permitting to include a destination in the specific class. The titles of task chapters or key words of the chapter titles are offered to be used as such kinds of attributes. As a result of this stage a set of destination classes  $CD = \{CD_1, CD_2, \dots, CD_m\}$ , where  $CD_i = \langle description_i \rangle$ ,  $description_i$  is formal description of  $i$ -class of destinations, is formed in ABAS database.

*Stage 4.* ABAS offers the instructor to give the numerical assessment to each of the destination classes in the stated or predetermined scale. This assessment

expresses the degree of borrowing pertinence in the given structural element of the task. As a result of this stage a numerical assessment  $A_{CD_i}$  is added to each of the destination classes; the class description has the form  $CD_i = \langle description, A_{CD_i} \rangle$  in ABAS database.

Stage 5. ABAS offers the instructor to state (or choose of the variants proposed by the system) the equation of borrowing assessment function:

$$A_B = f(A_S, A_D, V), \quad (1)$$

where  $A_S$  – borrowing source assessment;  $A_D$  – borrowing destination assessment;  $V$  – relative amount of assessment.

Stage 6. ABAS offers the instructor to state (or choose of the variants offered by the system) the equation of the function of the resultant borrowing assessment in student’s task:

$$A_W = f(A_{B1}, A_{B2}, \dots, A_{Bp}). \quad (2)$$

This function arguments are assessments  $A_{Bi}$  of each of the borrowing used in the task.

The part of the technique applied for each of the student’s task consists of the following stages.

Stage 1. ABAS enters the student’s work into the plagiarism search system, which indicates whether there is any illegitimate borrowing in the work. If there is some the measure set by the System setups are taken: the work is automatically rejected or given to an instructor with the list of illegitimate borrowing sources.

Stage 2. ABAS performs the classification of legitimate borrowing containing in student’s work according to its (borrowing) source attitude (Fig. 1). If the source of some borrowing cannot be referred to one of the formed classes  $CS$ , then ABAS offers the instructor to create a class for this source and numerically assess it without including it in any of classes.

Stage 3. ABAS divides the text of work into structural elements (borrowing destinations) and forms the structural model of work. The instructor has the possibility to interfere this process and divide the work into the structural elements in detail.

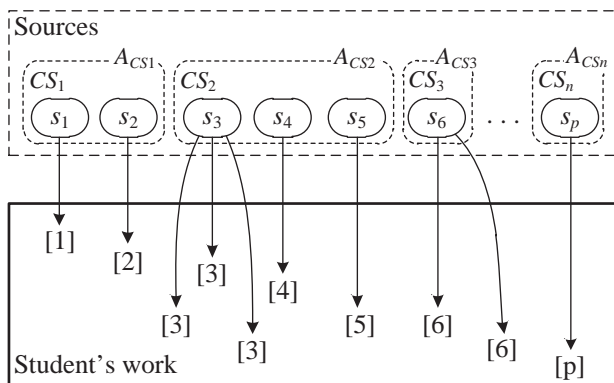


Fig. 1. Example of the borrowing source classification

Stage 4. Depending on the location in the text of work the borrowing is referred to this or that destination  $CD_i$  class (Fig. 2). If the destination of some borrowing cannot be included in one of the stated classes then ABAS offers the instructor to create a class for this destination and numerically assesses it without referring it to any of classes.

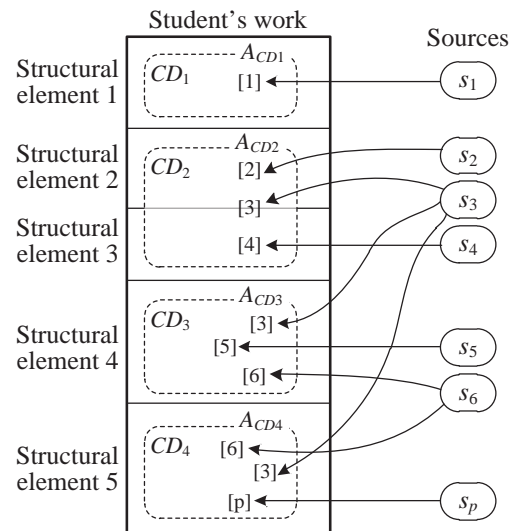


Fig. 2. Example of the borrowing destination classification

Stage 5. For each of the borrowing the assessment function (1) value is calculated.

Stage 6. The value of the resultant assessment function (2) of borrowing in student’s task is calculated.

Stage 7. A report of the initial data and assessment results is visualized for the instructor.

The advantages of the software implementation of the student’s task examination offered in the given paper are as follows:

a) the additional information of the nature of borrowing used in students’ tasks, links between borrowing and ways of its representation in text is provided;

b) the final information about the influence of the borrowing factor on the task quality is represented in the numerical form;

c) the period of time necessary for analyzing the work is decreased on account of introducing the borrowing analysis in the automatic part of LMS functioning.

**Conclusions.** The approach proposed in the paper considers the legitimate text borrowing in students’ works as a factor effecting on the work quality and their marks. This effect is conditioned by the fact

that borrowing can possess the different nature of origin, the variety of roles and purposes in works. The proposed approach and technique of its application permit to carry out the numerical assessment of the borrowing effect on the student's work quality.

Theoretical offers of the given paper are just the preliminary results of the research dedicated to numerical borrowing assessment based on the borrowing source and destination classification. The further research in this field will concern the following issues:

– the types of mathematical functions, which are required for the description of local (1) and resultant (2) functions of borrowing assessment; the situations in which these or those of the types of functions should be applied;

– the type of scale, which should be used in representing the results of assessment of borrowing effect on student's work quality; result representation in the way apprehensible for the instructor;

– calculation of reduction of time required for the student's work estimation as a result of usage of the offered approach implementing software;

– the differences between evaluation results obtained without using the automated assessment system and the ones if the automated assessment system is used.

The research of these issues will permit to give the recommendations on the effective usage of the proposed approach and implement the represented software under the conditions of training process.

### References:

1. Carroll J. Handbook for Deterring Plagiarism in Higher Education. Oxford : OCSLD, 2014.
2. Howard R., Robillard A. Pluralizing Plagiarism: Identities, Contexts, Pedagogies. Portsmouth : Heinemann, 2008.
3. Clark R., Mayere R. E-learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning. New Jersey : Wiley, 2016.
4. Sofia D., Jose D., Leontios H.: Towards an Intelligent Learning Management System Under Blended Learning: Trends, Profiles and Modeling Perspectives. Switzerland, Cham : Springer, 2014.
5. Pecorari D. Academic Writing and Plagiarism: A Linguistic Analysis. London : Continuum, 2008.
6. Halak B., El-Hajjar M. Plagiarism detection and prevention techniques in engineering education. *11th European Workshop on Microelectronics Education, EWME*. 2016. P. 1-3, DOI: 10.1109/EWME.2016.7496465.
7. Agrawal M., Sharma D., A state of art on source code plagiarism detection. *2nd International Conference on Next Generation Computing Technologies, NGCT*. 2016. P. 236–241. DOI: 10.1109/NGCT.2016.7877421.
8. Turnitin Homepage. URL: <http://turnitin.com>.
9. Fan Z., Fujimoto T. Design and application of the prevention model based on the examination of academic plagiarism. *International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI*. 2020. P. 1383-1388, DOI: 10.1109/CSCI51800.2020.00257.
10. Turnitin, The Plagiarism Spectrum. URL: [http://turnitin.com/assets/en\\_us/media/plagiarism-spectrum](http://turnitin.com/assets/en_us/media/plagiarism-spectrum).
11. The Plagiarism Spectrum: Tagging 10 Types of Unoriginal Work.
12. Иванова Е.Н., Защелкин К.В. Дифференцированный подход к организации анализа текстовых заимствований в рамках автоматизированной системы контроля знаний. *Проблемы информатики и моделирования, ПИМ-2016* : тезисы международной научно-технической конференции. Одесса, 2016. С. 38.
13. Stackoverflow. URL: <https://stackoverflow.com>.
14. Mathoverflow. URL: <https://mathoverflow.net>.
15. Иванова О.М., Зацолкін К.В. Автоматизований аналіз текстових запозичень з диференціацією їх джерел та локалізації для задач E-learning. *Інфокомунікації – сучасність та майбутнє*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Одеса, 2016. С. 132–134.

**Зацолкін К.В., Иванова О.М., Кузнєцов М.О., Суліма Ю.Ю.**

### **ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ, БАЗОВАНИЙ НА КЛАСИФІКАЦІЇ ЇХ ДЖЕРЕЛ ТА ПРИЙМАЧІВ У СИСТЕМАХ E-LEARNING**

Статтю присвячено одному з аспектів процесу функціонування систем електронного навчання (e-learning) – аналізу впливу характеру та обсягу легітимних текстових запозичень на якість та кінцеву оцінку навчальних робіт. Розглянуто форму контролю знань, базовану на оцінці навчальної роботи, результати виконання якої представлені у вигляді сукупності текстових файлів. Визначено недоліки систем електронного навчання щодо забезпечення такого контролю. Зокрема, розглянуто недоліки наявних підходів до автоматизованого аналізу та оцінювання легітимних текстових запозичень (таких, що не містять ознак плагіату) у навчальних роботах. У межах наявних підходів такі

запозичення або не впливають на оцінку роботи, або знижують цю оцінку в разі перевищення деякого порога сумарного обсягу запозичень. Запропоновано підхід, що ґрунтується на чисельному оцінюванні впливу запозичень на якість навчальної роботи та її кінцеву оцінку. Запропонований підхід відрізняється від наявних тим, що в його основу покладено диференціацію джерел та приймачів запозичень. Основним положенням підходу є те, що джерело запозичення, з одного боку, та приймач запозичення (місце його локалізації у тексті роботи), з іншого боку, можуть визначати як позитивний, так і негативний вплив на якість роботи. У межах запропонованого підходу здійснюється класифікація, у результаті якої кожне запозичення уналежнює до елементів таких двох виділених класів, як елементи класу-джерела та елементи класу-приймача. Для кожного із зазначених класів задається чисельна оцінка, яка визначає ступінь впливу запозичення на якість роботи. Ці оцінки, а також обсяг запозичень кожного класу є аргументами результувальної функції, що визначає вплив запозичень на якість навчальної роботи. У статті показано переваги запропонованого підходу та наведено інформацію про можливість його практичної реалізації.

**Ключові слова:** e-learning, текстові запозичення, автоматизована оцінка текстових запозичень, пошук запозичень в навчальних роботах, системи керування навчанням.



**Мальцев А.Ю.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ОГЛЯД ПРИНЦИПІВ ГЛИБОКОГО НАВЧАННЯ ЯК ДИНАМІЧНОЇ ТЕОРІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

*У статті проведено огляд принципів глибокого навчання як динамічної теорії штучного інтелекту. Розкрито перспективні напрями застосування глибокого навчання на базі теорії штучного інтелекту у різноманітних сферах: обробки зображень, комп'ютерного зору, розпізнавання мови, машинного перекладу, мистецтва, медичної візуалізації, обробки медичної інформації, робототехніки й управління, біоінформатики, обробки природної мови, кібербезпеки та багато інших. Визначено основні підходи до глибокого навчання, такі як контрольовані, частково контрольовані або частково неконтрольовані та неконтрольовані. Графічно представлено діаграму співіснування різних підходів глибокого навчання. Кожен окремих підтип детально описано та запропоновано принципи взаємодії. Наголошується, що кожен окремих тип має власну сферу застосування та співпрацює з кількома мережами. Застосування того чи іншого типу залежить від масштабів проблеми або обсягу, на основі чого можна вирішити, який тип навчання з підкріпленням необхідно застосувати для вирішення завдання. Якщо проблема полягає в оптимізації безлічі параметрів, найкраще підійде глибоке навчання із підкріпленням. Якщо завдання має менше параметрів для оптимізації, підхід навчання із підкріпленням без деривації буде найкращим рішенням. Підкреслено, головну відмінність між традиційним машинним навчанням і глибоким навчанням, яка полягає у тому, як витягаються функції. Традиційні підходи до машинного навчання використовують створені вручну інженерні функції шляхом застосування декількох алгоритмів вилучення ознак, а потім застосовують алгоритми навчання. Крім того, є інші підходи до посилення навчання: часто використовується метод, коли кілька алгоритмів навчання застосовуються до функцій однієї задачі або набору даних, і рішення приймається відповідно до кількох результатів різних алгоритмів. Наведено концептуальну схему глибокого навчання з підкріпленням і детально описано принципи роботи інтелектуального агента та середовища. Визначено поняття Q-навчання та математично обґрунтовано принцип реалізації. Сформовано низку властивостей Q-навчання та запропоновано варіанти прискорення швидкодії.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, штучний інтелект, глибоке навчання, навчання з підкріпленням, навчання з вчителем, навчання без вчителя.

**Постановка проблеми.** Останніми роками глибоке навчання досягло максимальних висот у різних сферах застосування. Ця нова галузь машинного навчання швидко зростає та застосовується у більшості традиційних сфер додатків, а також у деяких нових сферах, які надають більше можливостей. Сьогодні в умовах розвитку сучасної наукової думки, запропоновані різні методи, засновані на різних категоріях навчання, включаючи навчання з учителем, частково з учителем і без нього. Експериментальні результати показують найвищу продуктивність у використанні глибокого навчання порівняно із традиційними підходами машинного навчання у сферах обробки зображень, комп'ютерного зору, розпізнавання мови, машинного перекладу, мистецтва, медичної візуалізації, обробки медичної інформації, робототехніки й управління, біоінформатики, обробки природної мови, кібербезпеки та ін. За останні кілька десятиліть невелика підгрупа штучного

інтелекту, звана машинним навчанням, зробила революцію у кількох галузях. Нейронні мережі – це один із напрямів машинного навчання, і саме цей напрям є початком глибокого навчання, його підґрунтям. З моменту свого створення глибоке навчання демонструє успіхи застосування майже в усіх сферах. Глибоке навчання, яке використовує або глибоку архітектуру навчання, або ієрархічний підхід до навчання, є класом машинного навчання. Навчання – це процедура, що складається з оцінки параметрів моделі, щоб вивчена модель (алгоритм) могла виконувати конкретну поставлену задачу. Глибоке навчання складається з декількох рівнів між вхідним і вихідним шарами, що дозволяє виконувати операції на багатьох етапах обробки нелінійної інформації з ієрархічною архітектурою, які використовуються для вивчення функцій і класифікації шаблонів [1; 2]. Методи навчання, засновані на уявленнях даних, також можна визначити як навчання уявленням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками з'являється дедалі більше робіт, у яких описуються механізми та принципи застосування глибокого навчання та штучного інтелекту на різних пристроях та у різних сферах науки.

У [3] стверджується, що навчання репрезентації на основі глибокого навчання включає в себе ієрархію функцій або концепцій, де концепції високого рівня можуть бути визначені з концепцій низького рівня, а концепції низького рівня – з концепцій високого. У деяких статтях глибоке навчання описується як універсальний підхід до навчання, який може вирішувати практично всі види завдань у різних галузях додатків. Іншими словами, глибоке навчання не залежить від конкретного завдання [4].

Ю.В. Хома й А.Я. Бенч [5] провели порівняльний аналіз найпопулярніших програмних фреймворків, таких як Caffe, Theano, Torch, MXNet, Tensorflow, Neon, CNTK. Науковцями описано переваги GPU-рішень на основі CUDA і cuDNN. Авторами розглянуто перспективи FPGA як високошвидкісних та енергоефективних рішень для розроблення алгоритмів глибокого навчання, особливо у поєднанні з мовою OpenCL.

Аналітичний огляд перспективи застосування штучного інтелекту в медицині здійснили М.О. Бубела, В.О. Шевчук та Л.І. Поліщук [6]. Авторами підкреслено, що системи, побудовані на основах штучного інтелекту, можна використовувати для прогнозування поведінки живого об'єкта, який активно використовується у медицині. Із праць зарубіжних авторів варто відзначити такі роботи, як: Zohuri, Bahman & Zadeh, Siamak [7], L. Deng and D. Yu. [8], Zohuri, Bahman & Moghaddam, Masoud [9], Christopher M. [10], Zohuri, Bahman & Mossavar-Rahmani, Farhang [11], Mostapha Zbakh, Mohammed Essaaidi, Pierre Manneback, Chunming Rong [12], Zohuri, Bahman & Mossavar-Rahmani, Farhang [13] та ін.

Проте, враховуючи описані наукові набутки за темою, питання огляду принципів глибокого навчання як динамічної теорії штучного інтелекту залишається відкритим і потребує детального опрацювання.

**Постановка завдання.** Здійснити огляд принципів глибокого навчання як динамічної теорії штучного інтелекту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Підходи до глибокого навчання можна розділити на такі категорії: контрольовані, частково контрольовані або частково неконтрольовані та неконтрольовані. Крім того, існує ще одна категорія підхо-

дів до навчання, зване навчанням із підкріпленням або глибоким посиленням навчанням, які часто обговорюються в рамках напівконтрольованих, а іноді й неконтрольованих підходів до навчання. На рис. 1 представлена графічна діаграма співіснування різних підходів глибокого навчання.

1) Глибоке навчання з учителем.

Навчання з учителем – це метод навчання, у якому використовуються розмічені дані. Уразі контрольованих підходів середовище глибокого навчання має набір входів і відповідних виходів  $(x_i, y_i) \sim \rho$ . Наприклад, якщо для введення  $x_i$  інтелектуальний агент передбачає  $\hat{y}_i = f(x_i)$ , агент отримає значення збитку  $l(y_i, \hat{y}_i)$ .



Рис. 1. Графічна діаграма співіснування різних підходів глибокого навчання

Потім агент буде ітеративно змінювати параметри мережі для кращого наближення до бажаних результатів. Після успішного навчання агент зможе отримати правильні відповіді на питання з оточення. Існують різні підходи до контрольованого навчання для глибокого вивчення, у тому числі глибокі нейронні мережі, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі, включаючи довгострокову короткострокову пам'ять і закриті рекурентні одиниці.

2) Глибоке напівконтрольоване навчання.

Напівконтрольоване навчання – це навчання, яке відбувається на основі частково розмічених наборів даних. Подеколи глибоке посилене навчання і генеруючі змагальні мережі (генеративно-змагальні нейронні мережі) використовуються як методи напівконтрольованого навчання.

3) Глибоке навчання без учителя.

Системи неконтрольованого навчання – це ті системи, які можуть працювати без міток даних. У цьому разі агент вивчає внутрішнє уявлення або важливі функції, щоб виявляти невідомі відносини

або структуру у вхідних даних. Часто кластеризація, зменшення розмірності та генеративні методи розглядаються як підходи до навчання без учителя. Є кілька «членів сімейства» глибокого навчання, які добре підходять для кластеризації та зменшення нелінійної розмірності, включаючи автокодувальники, обмежені машини Больцмана та недавно розроблені генеративні змагальні мережі. Крім того, рекурентні нейронні мережі, такі як довгострокова короткострокова пам'ять і глибоке навчання з підкріпленням, також використовуються для неконтрольованого навчання у багатьох сферах додатків.

4) Глибоке навчання з підкріпленням.

Глибоке навчання з підкріпленням – це метод навчання для використання у невідомих середовищах. Глибоке навчання з підкріпленням було відкрито у 2013 р. [14]. Відтоді було запропоновано кілька вдосконалених методів на основі навчання із підкріпленням. Наприклад: Якщо середовище виконує вибірку вхідних даних:  $x_t \sim \rho$ , агент передбачає:  $\hat{y}_t = f(x_t)$ , агент отримує:  $c_t \sim P(c_t | x_t, \hat{y}_t)$ , де  $P$  – невідомий розподіл ймовірностей, середа задає агенту питання і дає зашумлену оцінку як відповідь. Іноді цей підхід також називають навчанням із напіввчителем. На основі цієї концепції було реалізовано безліч методів із частково контрольованим і неконтрольованим управлінням. У навчання з підкріпленням у нас немає прямої функції втрат, що ускладнює навчання порівняно із традиційними контрольованими підходами. Фундаментальні відмінності між навчанням із підкріпленням і контрольованим навчанням полягають у такому: по-перше, немає повного доступу до функції, яку користувач намагається оптимізувати; користувач повинен

запитувати її через взаємодію, і, по-друге, користувач взаємодіє із середовищем на основі станів: вхідне значення  $x_t$  залежить від попередніх дій.

Залежно від масштабів проблеми або обсягу можна вирішити, який тип навчання з підкріпленням необхідно застосувати для вирішення завдання. Якщо проблема вимагає в оптимізації безлічі параметрів, найкраще підійде глибоке навчання із підкріпленням. Якщо завдання має менше параметрів для оптимізації, підхід навчання із підкріпленням без деривації буде найкращим рішенням. Прикладом цього є методи відпалу та крос-ентропійні методи.

Ключова відмінність між традиційним машинним навчанням і глибоким навчанням полягає у тому, як витягуються функції. Традиційні підходи до машинного навчання використовують створені вручну інженерні функції шляхом застосування декількох алгоритмів вилучення ознак, а потім застосовують алгоритми навчання. Крім того, є інші підходи до посилення навчання: часто використовується метод, коли кілька алгоритмів навчання застосовуються до функцій однієї задачі або набору даних, і рішення приймається відповідно до кількох результатів різних алгоритмів.

З іншого боку, у разі глибокого навчання функції вивчаються автоматично й ієрархічно представлені на декількох рівнях. У цьому сильна сторона глибокого навчання порівняно із традиційними підходами до машинного навчання. У таблиці 1 показані різні підходи до навчання на основі особливостей із різними етапами навчання.

Контрольовані та неконтрольовані підходи до глибокого навчання використовуються для прогнозування, класифікації, кодування, декодування, генерації тощо.

Таблиця 1

Підходи до навчання на основі особливостей із різними етапами навчання

Види навчання	Етапи навчання				
	Вхід	Індивідуальне складання функції	Вихід		
Навчання на основі правил	Вхід	Індивідуальне складання функції	Вихід		
Традиційне машинне навчання	Вхід	Індивідуальне складання функції	Відображення із функцій	Вихід	
Репрезентативне навчання	Вхід	Функції	Відображення із функцій	Вихід	
Глибоке навчання	Вхід	Прості функції	Складні функції	Відображення із функцій	Вихід

Глибоке навчання із підкріпленням – це навчальний підхід, який вчить діяти у невідомій реальному середовищі, керуючись реальними даними. Концептуальна схема підходу показана на рис. 2.

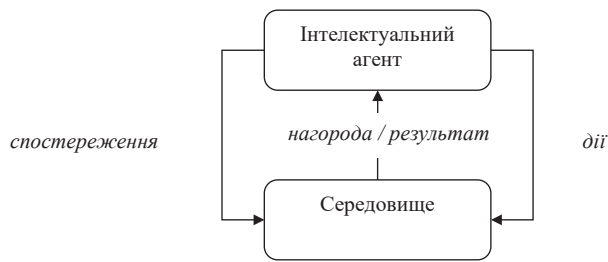


Рис. 2. Концептуальна схема глибокого навчання із підкріпленням

Глибоке навчання із підкріпленням може застосовуватися у різних сферах, включаючи фундаментальні науки для прийняття рішень, машинне навчання з погляду інформатики, у галузі інженерії та математики, оптимальне управління, управління робототехнікою, управління електростанціями, вітряними турбінами й у нейробіології – стратегія винагороди широко вивчається у сучасній літературі [15].

Навчання з підкріпленням – це методика того, що робити і як зіставити ситуацію з дією. Навчання з підкріпленням відрізняється від методів навчання з вчителем та інших видів підходів до навчання, які діють останнім часом, включаючи традиційне машинне навчання, статистичне розпізнавання образів і штучні нейронні мережі.

На відміну від загального машинного навчання з учителем і без учителя, навчання із підкріпленням здійснюється не шляхом характеристики методів навчання, а шляхом характеристики проблеми навчання. Згідно зі стратегією навчання техніка навчання з підкріпленням здійснюється за допомогою спостереження. Для спостереження за навколишнім середовищем залежно від простору спостереження використовуються методи глибокого навчання, включаючи згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі, довгу короточасну пам'ять і вентильний рекурентний вузол. Отже, оскільки методи глибокого навчання кодують дані ефективно, наступний етап дії виконується більш точно. Внаслідок дії агент отримує відповідну винагороду. Весь підхід навчання із підкріпленням стає більш ефективним для навчання та взаємодії у середовищі.

Є кілька фундаментальних стратегій, які необхідно знати для роботи із глибоким навчанням з підкріпленням. По-перше, підхід до навчання із підкріпленням має функцію, яка обчислює якість комбінації стану і дії, яка називається Q-функція.

Q-навчання визначається як безмодельний підхід до навчання з підкріпленням, котрий використовується для пошуку оптимальної політики вибору дій для будь-якого заданого (кінцевого) марковського процесу прийняття рішень. Марковський процес прийняття рішень – це математична основа для моделювання рішень з використанням стану, дії і винагород. При реалізації Q-навчання необхідно знати тільки про доступні стани та можливі дії у кожному стані.

На кожному кроці обирається дія, яка максимізує наступну функцію  $Q(s, a)$

$Q$  – це оціночна функція корисності, вказує наскільки добре виконано дію у певному стані.

$r(s, a)$  – негайна винагорода за виконання дії з максимальною користю ( $Q$ ) для результуючого стану. Це можна сформулювати за допомогою рекурсивного визначення таким чином:

$$Q(s, a) = r(s, a) + \gamma \max_{a'} (Q(s', a'))$$

Це рівняння називається рівнянням Беллмана, яке є основним рівнянням для навчанням із підкріпленням. Тут  $r(s, a)$  – це негайна винагорода, відносно значення затримки порівняно із негайною винагородою  $[0, 1]$   $s'$  це новий стан після дії.  $a$  та  $a'$  є відповідною дією у стані  $s$  та  $s'$ . Дія вибирається на основі

$$\pi(s) = \arg \max_a Q(s, a)$$

У кожному стані присвоюється значення, зване Q-значенням. Винагорода отримується при проходженні певного стану, щоб оновити оціночну вартість для цього стану. Оскільки винагорода є стохастичною, в результаті потрібно відвідувати стан багато разів. Крім того, не гарантується, що винагорода буде ідентичною в іншому епізоді. Підсумовування майбутніх нагород в епізодичних завданнях і середовищах непередбачувано, її може бути виражено по-різному:

$$G_t = R_{t+1} + R_{t+2} + R_{t+3} + \dots + R_T.$$

Сума дисконтованих майбутніх винагород в обох випадках є скалярним фактором.

$$G_t = \gamma R_{t+1} + \gamma^2 R_{t+2} + \gamma^3 R_{t+3} + \dots + \gamma^T R_T.$$

де  $\gamma$  – константа. Чим більше знаходимося у майбутньому, тим менше враховуємо нагороду.

Властивості Q-навчання:

- відповідність Q-функції: наближення буде сходиться до істинної Q-функції, але воно повинно відвідувати можливу пару стан-дія нескінченно багато разів;

- розмір таблиці станів може варіюватися залежно від сфери спостереження та складності. Невидимі значення при спостереженні не враховуються.

Спосіб вирішити ці проблеми – використовувати нейронну мережу (зокрема штучну нейронну мережу) як апроксимацію замість таблиці станів. Входи штучної нейронної мережі – це стан і дія, а виходи – числа від 0 до 1, які представляють утиліту, що правильно кодує стан і дії. Це те місце, де підходи глибокого навчання сприяють прийняттю кращих рішень щодо конфіденційної інформації. Здебільшого для спостереження за навколишнім середовищем використовують кілька пристроїв збору даних, включаючи камеру або інші сенсорні пристрої для спостереження за навчальним середовищем.

Однак складно розробити агент, який міг би взаємодіяти або добре працював у будь-якому середовищі спостереження. Таким чином, більшість дослідників у цій сфері вибирають свій простір дії або середу, перш ніж навчати агента роботи у цьому середовищі. У цьому разі концепція тестування трохи відрізняється від контрольованого або неконтрольованого глибокого навчання. Через розмаїття середовищ еталонний тест залежить від того, який рівень складності розглядало середовище порівняно із попередніми або наявними

дослідженнями. Складність залежить від різних параметрів, кількості агентів, способу взаємодії між агентами, кількості гравців і т. д.

**Висновки.** У роботі здійснено огляд принципів глибокого навчання як динамічної теорії штучного інтелекту. Розглянуто різні сучасні моделі глибокого навчання у різних категоріях навчання, включаючи контрольоване, неконтрольоване навчання і навчання із підкріпленням, а також їх застосування у різних сферах.

На своєму початку глибокі нейронні мережі навчалися шляхом комбінації навчання з учителем і без учителя з використанням автокодувальників і мереж глибокої довіри, проте інноваційні методи, такі як залишкове навчання, дозволяють використовувати тільки навчання з учителем і відмовитися від перенавчання всієї системи, що прискорює і спрощує процес реалізації навчання. Також важливим напрямком у розвитку глибокого навчання є передача навчання (навчання із передачею). Застосування цього підходу під час глибокого навчання скорочує час навчання і розширює сферу застосування попередньо навчених глибоких нейронних мереж.

#### Список літератури:

1. Чумаченко О.І. Структурно-параметричний синтез гібридних нейронних мереж : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.23. Київ, 2019. 42 с.
2. Субботін С.О. Нейронні мережі : теорія та практика : навчальний посібник. Житомир : Вид. О.О. Євенок, 2020. 184 с.
3. Хома Ю.В. Теорія і методи комп'ютерного опрацювання біосигналів на основі машинного навчання : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.13.05 / Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів, 2020. 37 с.
4. Бродкевич В.М., Ремесло В.Я. Алгоритми машинного навчання (МН) та глибокого навчання (ГН) і їх використання в прикладних додатках. *Інтернаука*. 2018. № 11 (1). С. 56–60.
5. Хома Ю.В., Бенч А.Я. Порівняльний аналіз програмно-апаратного забезпечення алгоритмів глибокого навчання. *Computer systems and networks*. 2019. Vol. 1. № 1. С. 97–102.
6. Бубела М.О., Шевчук В.О., Поліщук Л.І. Аналітичний огляд перспективи застосування штучного інтелекту в медицині. *Інформаційна безпека та комп'ютерні технології* : Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Кропивницький : ЦНТУ, 2021. № 4. С. 66.
7. Zohuri B., Behgounia F. Artificial Intelligence and High Performance Data-Driven Medicine. *Auditum Journal of Clinical and Biomedical Research*. 2021. Vol. 1(1). doi: <http://doi.org/04.2021/1.1004>.
8. Deng L., & Yu D. Deep learning: methods and applications. *Foundations and trends in signal processing*. 2014. Vol. 7 (3–4). P. 197–387.
9. Christopher M. Bishop. *Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics)*. Springer, 2006. URL: <http://users.isr.ist.utl.pt/~wurmd/Livros/school/Bishop%20-%20Pattern%20Recognition%20And%20Machine%20Learning%20-%20Springer%20%202006.pdf> (Last accessed: 17.03.2021).
10. Zohuri B., Mossavar Rahmani F. Forecasting future of manufacturing systems driven by artificial intelligence: Recent progress and future directions. *Acta Scie Pharma*. 2020. Vol. 4 (5). P. 46–49. doi: 10.31080/ASPS.2020.04.0529.
11. Zbakh M., Essaaidi M., Manneback P., & Rong C. (Eds.). *Cloud Computing and Big Data: Technologies, Applications and Security*. Springer, 2019. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-97719-5> (Last accessed: 17.03.2021).
12. Zohuri B., Mossavar Rahmani F. Artificial intelligence versus human intelligence: A new technological race. *Acta Scie Pharma*. 2020. Vol. 4 (5). P. 50–58. doi: 10.31080/ASPS.2020.04.0530.
13. Deisenroth M.P., Neumann G., & Peters J. A survey on policy search for robotics. *Foundations and trends in Robotics*. 2013. Vol. 2 (1–2). P. 388–403.

14. Долгоруков С.О. Автоматизоване проектування випробувального стенду навігаційного обладнання : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / Національний авіаційний університет. Київ, 2021. 218 с.
15. Долгоруков С.О. Автоматизоване проектування випробувального стенду навігаційного обладнання : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.12 / Національний авіаційний університет. Київ, 2021. 218 с.

**Maltsev A.Yu. REVIEW OF THE PRINCIPLES OF DEEP LEARNING AS A DYNAMIC THEORY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

*The article reviews the principles of deep learning as a dynamic theory of artificial intelligence. Prospective areas of application of deep learning based on the theory of artificial intelligence in various fields: image processing, computer vision, speech recognition, machine translation, art, medical imaging, medical information processing, robotics and control, bioinformatics, natural language processing, cybersecurity and others. The main approaches to deep learning, such as controlled, partially controlled or partially controlled and uncontrolled, are identified. The diagram of coexistence of different approaches to deep learning is graphically presented. Each subtype is described in detail and the principles of interaction are offered. It is emphasized that each type has its own scope and cooperates with several networks. The use of one type or another depends on the scale of the problem or the scope, on the basis of which you can decide which type of reinforcement training should be used to solve the problem. If the problem is to optimize many parameters, deep training with reinforcement is best. If the task has fewer parameters to optimize, a derivation-based reinforcement approach will be the best solution. It is emphasized that the main difference between traditional machine learning and deep learning is how the functions are extracted. Traditional approaches to machine learning use manually created engineering functions by applying several algorithms to extract features, and then apply learning algorithms. In addition, there are other approaches to enhancing learning: the method is often used when several learning algorithms are applied to the functions of one task or data set, and the decision is made according to several results of different algorithms. The conceptual scheme of deep learning with reinforcement is given and the principles of work of the intellectual agent and the environment are described in detail. The concept of Q-learning is defined and the principle of realization is mathematically substantiated. A number of properties of Q-learning are formed and variants of speed acceleration are offered.*

**Key words:** neural network, artificial intelligence, deep learning, reinforced learning, learning with a teacher, learning without a teacher.

УДК 004.89

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/17>**Мозговенко А.А.**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Зінов'єва О.Г.**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Гешева Г.В.**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ КЛАСИФІКАЦІЇ НАВЧАЛЬНИХ ТЕКСТІВ ДИСЦИПЛІН З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті розглядається програмний засіб класифікації навчальних текстів дисциплін з урахуванням нейронних мереж. Нейронні мережі дають багато можливостей і можуть відігравати суттєву роль у процесі навчання.

Текст становить собою вияв мовної діяльності людини, її результат, відбиваючи особливості комунікативного процесу на певному етапі суспільного розвитку. Автор, створюючи текст, розраховує на певне його сприймання й розуміння реципієнтом, зворотну реакцію – як безпосередню, так і опосередковану, залежно від обставин спілкування. Саме сприймання та розуміння тексту, а також здатність відреагувати на його зміст трактують як дискурс. Проте розуміння тексту з певної дисципліни може викликати складнощі у викладача, який не розбирається в предметі. Тому виникає необхідність у розробленні програмного модуля, який допоможе класифікувати текст по певних категоріях.

Нейронні мережі нині забезпечують найкращі рішення багатьох проблем у розпізнаванні зображень, розпізнаванні мовлення, обробленні природної мови та багатьох інших сферах.

З природної точки зору нейронні мережі – це звичайне уявлення про мозок: нейрони, взаємопов'язані з іншими нейронами, які утворюють мережу. Проста інформація проходить у багатьох із них, перш ніж стати справжньою річчю, як-от «порушити рукою, щоб взяти цей олівець».

Нейронна мережа – це система, яка вчиться робити прогнози, виконуючи такі кроки:

- Взяття вхідних даних;
- Складання прогнозу;
- Порівняння прогнозу з бажаним результатом;
- Налаштування внутрішнього стану для правильного прогнозування наступного разу.

Вектори, шари та лінійна регресія є одними з будівельних блоків нейронних мереж. Дані зберігаються у вигляді векторів, а за допомогою Python ви зберігаєте ці вектори в масивах. Кожен шар перетворює дані, які надходять із попереднього шару. Ви можете розглядати кожен шар як крок розробки функцій, оскільки кожен шар витягує деяке представлення даних, які були отримані раніше.

Одна цікава особливість шарів нейронної мережі полягає в тому, що ті самі обчислення можуть витягувати інформацію з будь-яких даних. Це означає, що не має значення, чи використовуєте ви графічні дані чи текстові дані. Процес отримання значущої інформації та навчання моделі глибокого навчання однаковий для обох сценаріїв.

**Ключові слова:** нейронні мережі, Python, об'єктно-орієнтоване програмування, TensorFlow, Qt Designer, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** Розуміння тексту з певної дисципліни може викликати складнощі у викладача, який не розбирається в предметі. Тому виникає необхідність у розробленні програмного модуля, який допоможе класифікувати текст за певними категоріями.

Реалізацію програмного модуля пропонується провести за допомогою нейронних мереж. Такі мережі поступально покращують свою продук-

тивність та, якщо розглядати приклади, загалом без спеціального програмування під задачу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальне захоплення нейромережевими технологіями і глибинним навчанням не минуло і комп'ютерну лінгвістику – автоматичну обробку текстів на природній мові. На недавніх конференціях асоціації комп'ютерної лінгвістики ACL, головному науковому форумі в цій області,

переважну більшість доповідей було присвячено застосуванню нейронних мереж як для вирішення вже відомих задач, так і для дослідження нових, які не вирішувалися за допомогою стандартних засобів машинного навчання. Підвищена увага лінгвістів до нейронних мереж зумовлена декількома причинами. Застосування нейронних мереж, по-перше, істотно підвищує якість рішення багатьох стандартних задач класифікації текстів та послідовностей, по-друге, знижує трудомісткість під час роботи безпосередньо з текстами, по-третє, дозволяє вирішувати нові завдання (наприклад, створювати чат-боти). Водночас нейронні мережі можна вважати повністю самостійним механізмом розв'язання лінгвістичних проблем.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж.

Даний програмний модуль має можливості подальшого вдосконалення:

- Поліпшення інтерфейсу;
- Збільшення кількості категорій;
- Застосування моделей нейронних мереж.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З формальної точки зору нейронна мережа являє собою спрямований граф заданої архітектури, вершини або вузли якого називаються нейронами. На першому рівні графа знаходяться вхідні вузли, на останньому – вихідні вузли, число яких залежить від завдання. Наприклад, для класифікації на два класи на вихідний рівень мережі можна помістити один або два нейрони, для класифікації на  $k$  класів –  $k$  нейронів. Всі інші рівні у графі нейронної мережі прийнято називати прихованими шарами. Всі нейрони, що знаходяться на одному рівні, пов'язані ребрами з усіма нейронами наступного рівня, кожне ребро має вагу. Кожному нейрону ставиться у відповідність функція активації, що моделює роботу біологічних нейронів: вони «мовчать», коли вхідний сигнал слабкий, а коли його значення перевищує певний поріг, спрацьовують і передають вхідні значення далі по мережі. Завдання навчання нейронної мережі на прикладах (тобто на парах «об'єкт – правильна відповідь») полягає в пошуку ваг ребер, найкращим чином пророкують правильні відповіді. Ясно, що саме архітектура – топологія будови графа нейронної мережі – є її найважливішим параметром. Хоча формального визначення для «глибинних мереж» поки немає, прийнято вважати глибинними все нейронні мережі, що складаються з великого числа шарів або мають «нестандартні» шари (наприклад,

що містять тільки обрані зв'язки або використовують рекурсію з іншими верствами).

Прикладом найбільш успішного застосування нейронних мереж поки є аналіз зображень, однак нейромережеві технології докорінно змінили і роботу з текстовими даними. Якщо раніше кожен елемент тексту (літеру, слово або пропозицію) потрібно було описувати за допомогою безлічі ознак різної природи (морфологічних, синтаксичних, семантичних і т. д.), то тепер у багатьох задачах необхідність у складних описах пропадає. Теоретики і практики нейромережевих технологій часто говорять про «навчання поданням» (representation learning) – у сирому тексті, розбитому тільки на слова і пропозиції, нейронна мережа здатна знайти залежності й закономірності та самостійно скласти простору ознак. На жаль, у такому просторі людина нічого не зрозуміє – під час навчання нейронна мережа ставить кожному елементу тексту у відповідність один щільний вектор, що складається з деяких чисел, які представляють виявлені «глибинні» взаємозв'язки. Акцент під час роботи з текстом зміщується від конструювання підмножини ознак і пошуку зовнішніх баз знань до вибору джерел даних і розмітки текстів для подальшого навчання нейронної мережі, для якого потрібно значно більше даних у порівнянні зі стандартними методами. Саме через необхідність використовувати великі обсяги даних і через слабкість інтерпретування і непередбачуваності нейронні мережі не затребувані в реальних додатках промислового масштабу на відміну від інших, добре зарекомендували себе алгоритми навчання, такі як випадковий ліс і машини опорних векторів.

Завдання класифікації текстів – одне з найактуальніших для маркетологів, особливо коли йдеться про аналіз думок або відношення споживача до якогось товару чи послуги, тому дослідники постійно працюють над підвищенням якості його вирішення. Однак аналіз думок є завданням класифікації швидше пропозицій, а не текстів – у позитивному відкликанні користувач може написати одну-дві негативно забарвлених пропозиції, і їх теж важливо вміти визначати і аналізувати. Відомі труднощі в класифікації пропозицій полягають у змінній довжині входу – оскільки пропозиції в текстах бувають довільної довжини, незрозуміло, як подати їх на вхід нейронної мережі. Один із підходів, запозичений з області аналізу зображень, полягає у використанні згортальних нейронних мереж.

Процес класифікації можна проводити за допомогою нейронних мереж. Штучні нейронні



мережі – це обчислювальні системи, натхненні біологічними нейронними мережами, що становлять мозок тварин. Такі системи навчають задачі (поступально покращують свою продуктивність на них) загалом без спеціального програмування під задачу. Нейронна мережа – це мережа простих елементів, званих нейронами, які отримують вхід, змінюють свій внутрішній стан (збудження) відповідно до цього входу і виробляють вихід, залежний від входу та збудження.

Однією з особливостей нейронних мереж є їх здатність до навчання. У широкому розумінні процес навчання – це адаптація параметрів та архітектури мережі для рішення поставленої задачі шляхом оптимізації вибраного критерію якості [1]. Найчастіше до параметрів, які адаптуються, відносяться вагові коефіцієнти нейронів, рідше – архітектура мережі та параметри функції активації. Всі алгоритми навчання можна розділити на два великі класи: детерміновані та стохастичні. Для алгоритмів першого класу характерним є наявність жорстких правил дій за адаптації параметрів, а другому притаманні дії, які підкоряються деякому випадковому процесу [2].

Розвиток Інтернету та процеси глобалізації сприяли тому, що з'явилося дуже багато інформації, опрацювати яку самотужки людина фізично не в змозі. Нейронні мережі знайшли застосування у:

- аналізі та класифікуванні даних за заданими параметрами;
- формуванні аналітичних прогнозів з огляду на вхідну інформацію;
- порівнянні та розпізнаванні ідентичних даних.

Нейронні мережі найбільш зручно створювати за допомогою спеціальних пакетів. Найбільш популярні пакети – це TensorFlow, PyTorch, Microsoft Cognitive Toolkit, Theano.

TensorFlow – відкрита програмна бібліотека для машинного навчання цілій низці задач, розроблена компанією Google для задоволення її потреб у системах, здатних будувати та тренувати нейронні мережі для виявлення та розшифрування образів та кореляцій, аналогічно до навчання й розуміння, які застосовують люди. Її наразі застосовують як для досліджень, так і для розроблення продуктів Google, часто замінюючи на його ролі її закритого попередника, DistBelief. TensorFlow було початково розроблено командою Google Brain для внутрішнього використання в Google, поки її не було випущено під відкритою ліцензією Apache 2.0 9 листопада 2015 року.

Платформа спочатку розроблена командою Google Brain і використовуються в сервісах Google

для розпізнавання мови, виділення облич на фотографіях, визначення схожості зображень, відсіювання спаму в Gmail, підбору новин у Google News і організації перекладу з урахуванням сенсу. Розподілені системи машинного навчання можна створювати на типовому обладнанні завдяки вбудованій підтримці в TensorFlow рознесення обчислень на кілька CPU або GPU.

Серед застосувань, для яких TensorFlow є основою, є програмне забезпечення автоматизованого опису зображень, таке як DeepDream. 26 жовтня 2015 року Google офіційно реалізувала RankBrain, який підтримує TensorFlow. RankBrain тепер обробляє суттєве число пошукових записів, замінюючи та доповнюючи традиційні статичні алгоритми на основі результатів пошуку.

Іншим застосуванням є використання у складі програм FakeApp з метою безшовного поєднання фото- та відеозображень для створення докладних, але правдоподібних відео, відомих під назвою Deepfake.

TensorFlow надає бібліотеку готових алгоритмів чисельних обчислень, реалізованих через графи потоків даних (data flow graphs). Вузли в таких графах реалізують математичні операції або точки входу/виводу, тоді як ребра графа представляють багатовимірні масиви даних (тензори), які перетікають між вузлами. Вузли можуть бути закріплені за обчислювальними пристроями і виконуватися асинхронно, паралельно обробляючи разом усі підходящі до них тензори, що дозволяє організувати одночасну роботу вузлів у нейронній мережі за аналогією з одночасною активацією нейронів у мозку.

PyTorch – відкрита бібліотека машинного навчання на основі бібліотеки Torch, що використовують для таких застосувань, як комп'ютерне бачення та обробка природної мови. Розробляє її переважно група дослідження штучного інтелекту компанії Facebook. Вона є вільним та відкритим програмним забезпеченням, що випускають під ліцензією Modified BSD. І хоча інтерфейс Python є більш відшліфованим і головним зосередженням розробки, PyTorch також має зовнішній інтерфейс і для C++. Крім того, програмне забезпечення ймовірнісної мови програмування Pyro компанії Uber використовує PyTorch як внутрішній інтерфейс.

Microsoft Cognitive Toolkit, раніше відома як CNTK й іноді звана The Microsoft Cognitive Toolkit – це платформа глибокого навчання, розроблена Microsoft Research. Microsoft Cognitive Toolkit описує нейронні мережі як низку обчислювальних кроків через орієнтований граф.

Theano – бібліотека чисельного обчислення для Python. Обчислення в Theano виражаються NumPy-ським синтаксисом і компілюються для ефективного виконання на архітектурі або ЦП, або ГП.

Ураховуючи результати досліджень, викладені вище, і вимоги до програмних навчальних систем, такі як можливість вибору дисциплін, введення тексту та отримання результатів, метою роботи є створення програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж.

З метою розроблення якісного програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж вивчено закономірності процесу проектування та роботи нейронних мереж, які дозволяють ефективно використовувати їх у процесі класифікації тексту дисципліни.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі задачі:

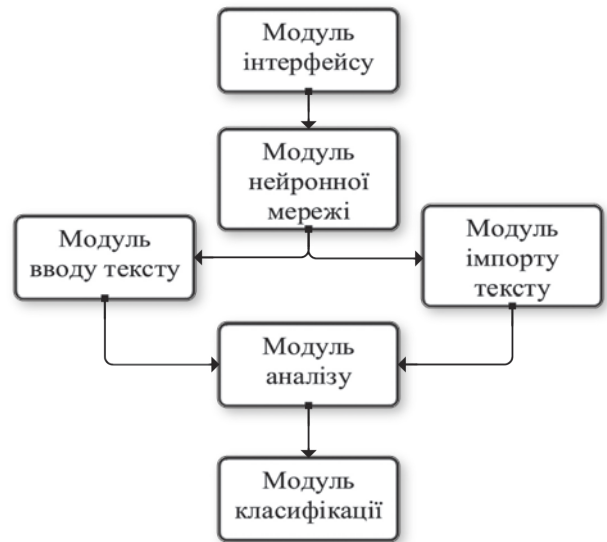
- вивчити і проаналізувати методики побудови нейронних мереж;
- проаналізувати існуючий інструментарій для створення нейронних мереж;
- розробити структурну схему програмної системи;
- розробити програмне забезпечення з класифікації навчальних текстів дисциплін із використанням нейронних мереж.

Важливою властивістю нейронних мереж, що свідчить про їхній великий потенціал і широкі прикладні можливості, є паралельна обробка інформації одночасно великою кількістю нейронів. Завдяки цьому досягається значне пришвидшення обробки інформації. Іншою, не менш важливою, особливістю нейронних мереж є здатність до навчання та узагальнення інформації.

Під час робіт із програмним модулем із класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж, який представлений у вигляді віконної програми, основним джерелом інформації є зображення на екрані монітора. Мета роботи користувача з програмним модулем полягає у прискоренні класифікації та обробки текстів з навчальних дисциплін.

Для забезпечення виконання всіх етапів процесу класифікації в складі програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж ураховані функціональні складові елементи, взаємозв'язок яких між собою показаний на рис. 1.

Модуль інтерфейсу завантажує графічний інтерфейс користувача для подальшої роботи.



**Рис. 1. Структурна схема програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж**

Модуль нейронної мережі завантажує вже навчену нейронну модель з конкретних дисциплін.

Модуль вводу тексту та модуль імпорту тексту відповідають за внесення тексту до програмного модуля.

Модуль аналізу вносить текст до моделі мережі та відповідає за обробку та перетворення тексту.

Модуль класифікації обробляє результат аналізу та виводить його у форму користувача.

Програмний модуль складається з графічного інтерфейсу, розробленого в середовищі Qt Designer, нейронної мережі з пакету TensorFlow та скрипту, написаного на мові програмування Python.

Для розроблення графічного інтерфейсу користувача використовувалося середовище розробки Qt Designer. Qt Designer дозволяє створювати графічні інтерфейси користувача за допомогою низки інструментів. Існує панель інструментів «Панель віджетів», у якій доступні для використання елементи інтерфейсу – віджети, такі як, наприклад, «випадає» ComboBox, «поле введення» LineEdit, «кнопка» PushButton і багато інших. Кожен віджет має свій набір властивостей, що визначається відповідним йому класом бібліотеки Qt. Властивості віджета можуть бути змінені за допомогою «Редактора властивостей». Для кожного класу властивостей віджета існує свій спеціалізований редактор. Характерною особливістю Qt Designer є підтримка візуального редагування сигналів і слотів. Так, наприклад, можна зв'язати сигнал, що генерується з переключення стану віджета CheckBox, зі слотом, що відповідає за доступність іншого віджета.

Для створення та роботи з нейронними мережами використовувався пакет TensorFlow. TensorFlow надає бібліотеку готових алгоритмів чисельних обчислень, реалізованих через графи потоків даних (data flow graphs). Вузли в таких графах реалізують математичні операції або точки входу/виводу, тоді як ребра графа представляють багатовимірні масиви даних (тензори), які перетікають між вузлами. Вузли можуть бути закріплені за обчислювальними пристроями і виконуватися асинхронно, паралельно обробляючи разом усі підходящі до них тензори, що дозволяє організувати одночасну роботу вузлів у нейронній мережі за аналогією з одночасною активацією нейронів у мозку.

Для написання функціоналу програмного модуля було вибрано мову програмування Python. Python – інтерпретована об’єктно-орієнтована мова програмування високого рівня зі строгою динамічною типізацією. Структури даних високого рівня разом із динамічною семантикою та динамічним зв’язуванням роблять її привабливою для швидкого розроблення програм, а також як засіб поєднання наявних компонентів. Python підтримує модулі та пакети модулів, що сприяє модульності та повторному використанню коду. Інтерпретатор Python та стандартні бібліотеки доступні як у скомпільованій, так і у вихідній формі на всіх основних платформах. У мові програмування Python підтримується кілька парадигм програмування, зокрема: об’єктно-орієнтована, процедурна, функціональна та аспектно-орієнтована.

Багата стандартна бібліотека є однією із привабливих сторін Python. Тут є засоби для роботи з багатьма мережевими протоколами та форматами Інтернету, наприклад, модулі для написання HTTP-серверів та клієнтів, для розбору та створення поштових повідомлень, для роботи з XML тощо. Набір модулів для роботи з операційною системою дозволяє писати крос-платформні застосунки. Існують модулі для роботи з регулярними виразами, текстовими кодуваннями, мультимедійними форматами, криптографічними протоколами, архівами, серіалізацією даних, юніт-тестуванням та ін.

Архітектура програмного забезпечення (англ. Software architecture) – це структура програми або обчислювальної системи, яка включає програмні компоненти, видимі зовні властивості цих компонентів, а також відносини між ними.

Під час робіт із програмним модулем із класифікації навчальних текстів дисциплін з викорис-

танням нейронних мереж, який представлений у вигляді віконної програми, основним джерелом інформації є зображення на екрані монітора.

Для забезпечення виконання всіх етапів процесу класифікації в складі програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж ураховані функціональні складові елементи, взаємозв’язок яких між собою показаний на рис. 2.



Рис. 2. Структурна схема архітектури програмного модуля

Інтерфейс відповідає за графічне відображення роботи програмного модуля.

Текст представляє собою засоби вводу та імпорту тексту до програмного модуля.

Нейронна мережа – це навчений у пакеті TensorFlow на мові програмування Python модуль, який додає функціонал із класифікації тексту до програмного модуля.

Оброблення і вивід надає змогу користувачу оцінити результати роботи нейронної мережі.

Програмна частина надає функціонал та об’єднує інші частини для коректної роботи всього програмного модуля.

Програмний модуль має віконний інтерфейс, розроблений за допомогою інструментарію Qt Designer і мови програмування Python. Інтерфейс приймає вхідні дані за допомогою таких пристроїв, як комп’ютерна клавіатура та миша й забезпечує графічний висновок на моніторі комп’ютера. У GUI-дизайні широко використовуються, як мінімум, два різні принципи: об’єктно-орієнтовані інтерфейси користувача (ООUI) й інтерфейси, орієнтовані на додатки.

Вікно форми має фіксований розмір і дорівнює 700\*500 пікс, а також включена можливість зміни розміру вікна.

Головна форма модуля (рис. 3) складається з трьох областей:

- введення тексту;
- завантаження нейронної мережі;
- вивід результату.



Рис. 3. Інтерфейс користувача

Для запуску навчальної системи необхідно запустити файл PyText.exe, який знаходиться в головному каталозі. Після запуску файлу «PyText.exe» на екрані з'являється вікно програмного модуля (рис. 4).

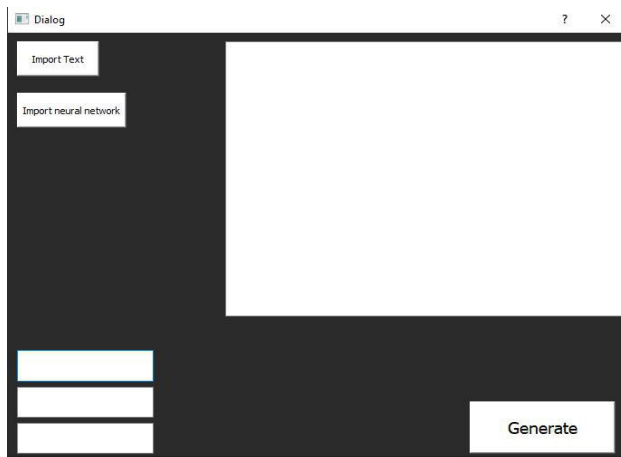


Рис. 4. Інтерфейс програмного модуля

Після запуску користувач вводить або імпортує текст до області вводу та натискає кнопку Generate. Після чого текст передається до нейронної моделі, проводиться оброблення, пошук ключових слів та прогнозування.

Після оброблення тексту результати роботи передаються до області виводу. Результати роботи програми надані на рисунку 6.

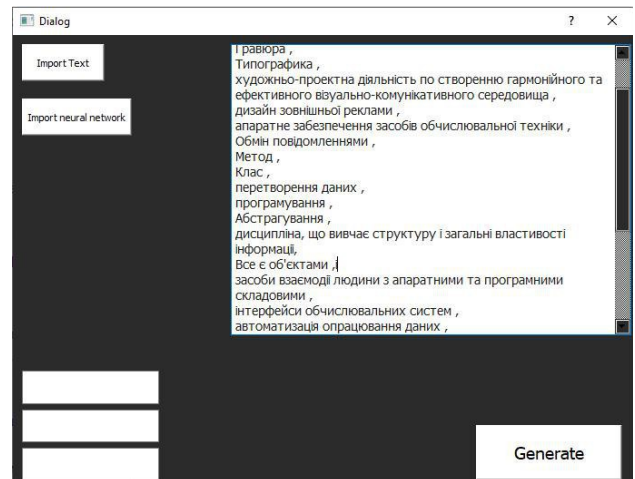


Рис. 5. Інтерфейс програмного модуля з введеним текстом

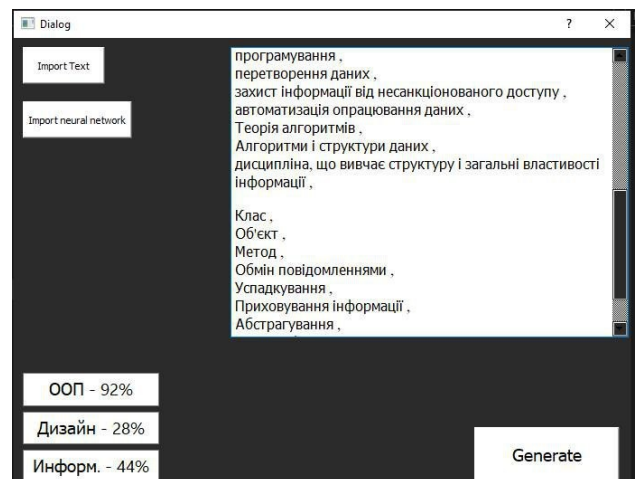


Рис. 6. Інтерфейс програмного модуля з виведеними результатами

**Висновки.** У роботі розглядається можливість розроблення програмного модуля з класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж.

Запропонований програмний модуль із класифікації навчальних текстів дисциплін з використанням нейронних мереж має можливості подальшого вдосконалення за рахунок поліпшення інтерфейсу, збільшення кількості категорій та застосування вбудованих моделей нейронних мереж.

#### Список літератури:

1. Бодянский Е.В., Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети: архитектуры, обучение, применения. Харьков : ТЕЛТЕХ, 2004. 369 с.
2. Комашинский В.И., Смирнов Д.А. Нейронные сети и их применение в системах управления и святы. Москва : Горячая Линия – Телеком, 2003. 98 с.
3. Лемешевский С.В. Практическое применение численных методов на языке Python. Москва : Диалектика, 2016. 102 с.

4. Прохоронюк Н.А. Python Самое необходимое. Санкт Петербург : «БХВ-Петербург». 2016. 462 с.
5. Седжвик Р., Уэйн К, Дондеро Р. Программирование на языке Python : учебный курс. Москва : Диалектика, 2017. 736 с.
6. Субботін С.О., Олійник А.О., Олійник О.О. Неітеративні, еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечіткологічних і нейромережних моделей : монографія ; під заг. ред. С.О. Субботіна. Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. 375 с.
7. Федоров Д.Ю. Основы программирования на примере языка Python. СПбГЭУ, 2016. 154 с.
8. Яхьева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети : учебное пособие. Москва : Интернет – Университет Информационных Технологий ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 316 с.

**Mozgovenko A.A., Zinovieva O.G., Heshcheva H.V. DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR CLASSIFICATION OF EDUCATIONAL TEXTS OF DISCIPLINES USING NEURAL NETWORKS**

*The article considers the software tool for the classification of educational texts of disciplines taking into account neural networks. Neural networks provide many opportunities and can play a significant role in the learning process.*

*The text is a manifestation of human language activity, its result, reflecting the peculiarities of the communicative process at a certain stage of social development. The author, creating the text, counts on a certain perception and understanding by the recipient, the feedback - both direct and indirect, depending on the circumstances of communication. Perception and understanding of the text, as well as the ability to respond to its content, are interpreted as a discourse. However, understanding a text in a particular discipline can cause difficulties for a teacher who does not understand the subject. Therefore, there is a need to develop a software module that will help classify the text into certain categories.*

*Neural networks now provide the best solutions to many problems in image recognition, speech recognition, natural language processing, and many other areas.*

*By nature, neural networks are a common view of the brain: neurons that are interconnected with other neurons that make up the network. Simple information passes in many of them before it becomes a real thing, such as "break your hand to take this pencil."*

*A neural network is a system that learns to make predictions by following these steps:*

- Taking input data
- Making a forecast
- Comparison of the forecast with the desired result
- Adjust the internal state for correct forecasting next time

*Vectors, layers, and linear regression are some of the building blocks of neural networks. The data is stored as vectors, and with Python, you store these vectors in arrays. Each layer converts coming from the previous layer. You can design the skin as some form of a layer, extracting the presented data that was used before.*

*One feature of neural network layers is that the calculation itself can obtain information from any data. This means that it doesn't matter if you use graphics or text. The process of obtaining meaningful information and learning the model of deep learning is the same for both scenarios.*

**Key words:** *neural networks, Python, object-oriented programming, TensorFlow, Qt Designer, machine learning.*

**Мурасов Р.К.**

Національний університет оборони України

**Чумаченко С.М.**

Національний університет харчових технологій

**Пиріков О.В.**

Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Ківа І.Л.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОЦІНЮВАННЯ ЗАГРОЗ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ГРАФІВ

*У роботі досліджується проблема побудови математичної моделі оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури. Актуальність проблеми оцінювання загроз зумовлена насамперед складною обстановкою на сході України, де значна їх кількість знаходиться у зоні впливу гібридного збройного конфлікту. Як наслідок, система захисту критичної інфраструктури не в змозі у повному обсязі виконувати покладені на неї завдання, що надалі може призвести до значних людських жертв серед населення та небойових втрат серед військовослужбовців.*

*З використанням класичної теорії графів було запропоновано підхід до побудови математичної моделі оцінювання загроз для об'єктів критичної інфраструктури. Ця модель дозволяє розрахувати можливі варіанти розвитку техногенних аварій і прогнозувати варіанти розвитку подій. Було побудовано та зроблено експрес-аналіз узагальненої моделі сценаріїв гіпотетичного розвитку надзвичайних ситуацій (НС) внаслідок ураження об'єктів критичної інфраструктури (КІ), в результаті чого оцінено стійкість об'єктів до впливу дестабілізуючих чинників і небезпечних впливів.*

*Результати експрес-аналізу показали достовірність та адекватність запропонованої методики.*

*Модель оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури доцільно застосовувати при визначенні і оцінці ризиків та загроз потенційно небезпечним об'єктам КІ. Вона дозволяє враховувати усі необхідні фактори, досліджувати складні системи критичної інфраструктури і визначати напрямки щодо прогалин спроможностей для системи захисту об'єктів КІ і ліквідації наслідків у разі техногенних аварій і катастроф.*

*У статті здійснено топологічний експрес-аналіз узагальненої моделі сценарію розвитку НС внаслідок ураження об'єктів критичної інфраструктури на Сході України, який показав достатню здатність критичної інфраструктури протидіяти зовнішнім деструктивним впливам і її вразливість перед чинниками гібридної війни та терористичних актів.*

**Ключові слова:** модель складної системи, стійкість системи, теорія графів, критична інфраструктура, комбінаторний аналіз, оцінювання загроз, топологія структури системи.

**Постановка проблеми.** Актуальність проблеми оцінювання загроз обумовлена в першу чергу складною обстановкою на сході України, де значна їх кількість знаходиться у зоні впливу гібридного збройного конфлікту. Для складних організаційно-технічних систем, до яких також належать об'єкти критичної інфраструктури (системи електроживлення й енергопостачання, водопостачання та водовідведення, об'єкти гір-

ничо-добувної, хімічної та металургійної промисловості, система газо-, нафто- і продуктопроводів і т.ін.), актуальною проблемою є об'єктивне, достовірне та своєчасне прогнозування і попередження надзвичайних ситуацій (НС) і каскадних ефектів, що можуть призвести до техногенних аварій, катастроф або суттєво вплинути на їх функціональність, живучість, безпеку, ефективність та інші властивості. Ймовірність виникнення та наслідки

таких НС, умов і чинників визначаються цілеспрямованими (диверсія, бойові дії, саботаж) або стохастичними процесами, що за своєю сутністю характеризуються як воєнно-техногенні загрози.

Одним із перспективних напрямів дослідження щодо оцінки воєнно-техногенних загроз для об'єктів критичної інфраструктури (КІ) у зоні проведення ООС є аналіз кризових ситуацій, коли система захисту критичної інфраструктури не в змозі у повному обсязі виконувати покладені на неї завдання, що надалі можуть призвести до значних людських жертв серед населення та небойових втрат серед військовослужбовців. При дії на систему КІ зовнішніх уражуючих чинників, які можуть бути раптовими й інтенсивними, система захисту КІ не в змозі їм протидіяти, що призведе до кризових ситуацій або значного погіршення їх функціональної стійкості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час аналізу останніх публікацій [1–3; 11], що стосуються математичних підходів до оцінювання загроз і ризиків, було виявлено недостатній розвиток їх математичного і комп'ютерного моделювання для об'єктів КІ. Головним чином автори використовують системний підхід із використанням експертних оцінок.

За думкою багатьох експертів [4; 6; 7], нині не існує загальноприйнятої методики оцінки ризиків для об'єктів КІ, є часткові рішення для конкретних об'єктів (випадків) [8–10].

**Постановка завдання.** Тому метою статті є розробка підходів до побудови моделі оцінювання загроз і ризиків із використанням математичної моделі сценаріїв каскадних ефектів, побудованої на основі теорії оргграфів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Структура математичної моделі оцінювання загроз і ризиків для об'єктів КІ наведена на рис. 1.

Символами  $X, Y, Z$  представлено вектори станів об'єктів критичної інфраструктури (кількість векторів необмежена та залежить від чинників що впливають на КІ). Функція  $f$  представляє собою науково-методичний апарат, який дозво-

ляє отримати прогностичну оцінку загроз і ризиків для об'єктів КІ  $R$ , що поєднує множини станів об'єктів критичної інфраструктури. Моделювання комбінацій загроз і ризиків з метою складання загальної оцінки можливих негативних наслідків і соціо-еколого-економічних збитків і втрат дозволить чітко визначити та упорядкувати чітку ієрархію можливих загроз і розробити своєчасне управлінське рішення щодо попередження та нейтралізації загроз об'єктам КІ.

Розглянемо сценарії розвитку подій, наведених у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики вершин  $v_i$  оргграфа  $G(V, R)$

№	Опис події
1	Прорив дамби шламонакопичувача
2	Затоплення села Красногорівка
3	Загибель людей і сільських тварин
4	Забруднення значної території відходами зі шламонакопичувача
5	Забруднення річок Кам'янка й Очеретувата та р. Кривий Торець
6	Забруднення басейну річки Сіверський Донець
7	Транскордонне забруднення басейну нижнього Дону
8	Затоплення села Веселе
9	Влучення снаряду в хімічний накопичувач
10	Руйнування гідро бар'єру
11	Вторинне забруднення ґрунтових вод
12	Вторинне забруднення шламонакопичувача хім. речовинами з хім. накопичувача
13	Виникнення пожежі на хім. накопичувачі
14	Виникнення пожежі на породному відвалі
15	Забруднення приземного шару повітря
16	Задимлення прилеглої території (залізничного полотна і полігону тв. побут. відходів)
17	Перекидання пожежі на прилеглу територію (залізницю і полігон тв. побут. відходів)
18	Влучення снаряду в породний відвал
19	Перекидання пожежі на територію міста

Для математичного моделювання розвитку ймовірних подій та можливих наслідків від техногенних аварій на об'єктах КІ опишемо її на основі

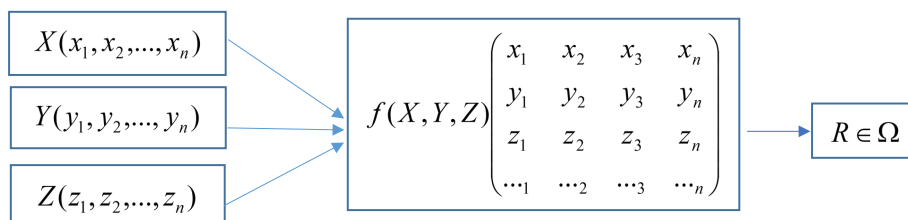


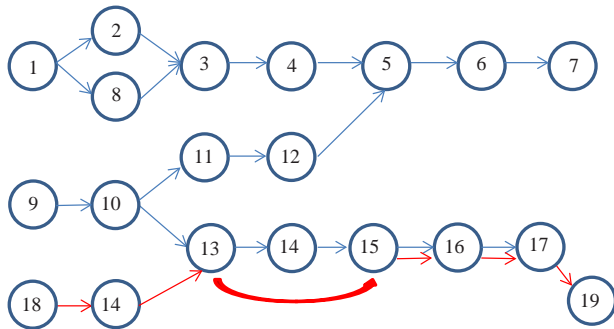
Рис. 1. Структура математичної моделі оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури

сучасної теорії оргграфів. З метою отримання загальної математичної моделі будемо розглядати імовірні варіанти атак на систему КІ у зоні проведення ООС.

На рис. 2 представлена модель кризової ситуації у вигляді орієнтовного графа (орграфа)  $G(V, R)$ , де  $V$  – множина точок які є вершинами або вузлами графа, а  $R$  – множина зав'язків проміж вершинами (вузлами) які є ребрами графа.

Характеристики ребер  $r_{i,j}$ , що пов'язують вершину  $v_i$  і вершину  $v_j$ , орграфа  $G(V, R)$ , представляють взаємозв'язок і послідовність розвитку катастрофи.

При дослідженні узагальненої моделі структури гіпотетичного розвитку катастрофи внаслідок атаки на об'єкти критичної інфраструктури особливе значення має виділення елементів структури, які відповідають ізольованим, висячим і тупиковим вершинам.



**Рис. 2. Узагальнена модель структури гіпотетичного розвитку сценарію техногенної аварії внаслідок ураження потенційно небезпечних об'єктів критичної інфраструктури Авдіївського коксо-хімічного заводу.**

Ізольовані вершини не взаємопов'язані, і між ними відсутня будь-яка взаємодія. У представленій моделі ці вершини відсутні, що означає структурну взаємопов'язаність всіх її елементів.

У висячі вершини неможливо потрапити ні з якої іншої вершини графа. У наведеному графі їх три, що означає три можливі початки розвитку кризової ситуації та демонструє складність системи та взаємопов'язаність її елементів.

Із тупикових вершин графа неможливо потрапити в інші вершини. У наведеному графі – це кінцеві об'єкти розвитку катастрофи.

Для виявлення ізольованих, тупикових і висячих вершин необхідно побудувати матрицю суміжності  $A$ , яка відобразить наявність взаємозв'язків між вершинами графа  $G(V, R)$ . Елементами матриці суміжності  $A$  є значення  $a_{ij}$ , що характеризують наявність і напрямок ребер між вершинами, котрі визначаються таким чином:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad (1)$$

де 1 – якщо з вершини  $i$  можливо перейти до вершини  $j$ , 0 – в іншому випадку.

Для кожної вершини  $k=1,2,3,\dots,n$  орграфа  $G(V, R)$  необхідно знайти вектор  $(v_k, v_k)$  з компонентами

$$v_k = \sum_{i=1}^n a_{ki} \quad (2)$$

$$v^k = \sum_{j=1}^n a_{jk} \quad (3)$$

де  $v_k$  – число ребер, що виходять з  $k$ -ї вершини  $v^k$ ,  $v^k$  – число ребер, що входять до  $k$ -ї вершини.

Якщо  $v_k = v^k = 0$  вершина  $k$  ізольована  $v_k = 0$  вершина  $k$  тупикова,  $v^k = 0$  – вершина  $k$  висяча.

Діаметр структури графа  $d$  – це довжина найкоротшого шляху між найбільш віддаленими вершинами графа, що дорівнює кількості ребер, що складають цей шлях:

$$d = \max d_{ij} \quad (4)$$

де  $d_{ij}$  – довжина шляху між вершинами  $v_i$  і  $v_j$ .

Діаметр структури  $d$  характеризує максимальний сценарій розвитку катастроф внаслідок ланцюгової реакції при виведенні з ладу об'єктів критичної інфраструктури. За його значенням можливо орієнтовно визначити найгірші сценарії розвитку ситуації, найбільш критичні об'єкти та їх взаємозв'язок.

Для визначення діаметру структури необхідно побудувати матрицю відстаней  $D$  між вершинами орграфа  $G(V, R)$  елементами якої є довжина найкоротших шляхів  $d_{ij}$  між вершинами  $v_i$  і  $v_j$ .

Близькість вершин  $v_i$  і  $v_j$  проміж собою визначається через мінімальну довжину шляху для орієнтовного графу:

$$q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}, (i \neq j) \quad (5)$$

Цей параметр використовується для кількісної оцінки структурної компактності орграфа, також часто використовується відносний показник:

$$q_0 = \frac{q}{q_{\min}} - 1 \quad (6)$$

де  $q_{\min} = n(n-1)$ .

Структурна компактність показує ступінь близькості елементів один з одним. Значення параметра  $q_0 > 0$  характеризує наявність роз'єднаності зі зв'язків між деякими елементами системи (в ідеальному випадку всі елементи пов'язані один з одним  $q_0 = 0$ , при цьому система має максимальну надійність).

Для характеристики нерівномірності завантаження елементів структури використовується



індекс центральності  $\gamma$ , який визначається таким чином:

$$\gamma = \frac{1}{(n-1)(v_{\max}-1)} \sum_{i=1}^n (v_{\max} - v(i)), \quad (7)$$

де  $v(i)$  - ступінь вершини  $i$ ;  $v_{\max} = \max v(i)$ .

Близькість індексу центральності до одиниці характеризує ступінь централізації управління силами і засобами в залежності від рівня і масштабів кризової ситуації.

Структурна надмірність  $\delta$  - це параметр, що відображає перевищення загального числа зв'язків над мінімально необхідним числом зв'язків. Вона визначається наступним чином:

$$\delta = \frac{1}{2(n-1)} \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) - 1. \quad (8)$$

Ця структурна характеристика використовується для непрямой оцінки економічності і надійності досліджуваних систем. Як відомо (закон надмірності частин системи), приблизно 20% функцій, елементів і зв'язків системи виконують близько 80% роботи. При створенні працездатної системи потрібно враховувати, що для виконання будь-якої роботи крім основних елементів і зв'язків (виконують головну функцію), необхідно ще приблизно 80% допоміжних, причому вони зазвичай виконують лише 20% основної роботи.

Для систем із максимальною надмірністю структура представляється сільносвязний графом ( $\delta > 0$ ), для систем із мінімальною надмірністю  $\delta = 0$ , для систем незв'язних  $\delta < 0$ . Таким чином, система із більшою надмірністю  $\delta$  потенційно більш надійна, проте в ряді завдань структурної надійності її доцільно доповнити іншим параметром, який враховував би нерівномірність розподілу зв'язків, тобто відхилення заданого розподілу ступенів вершини від рівномірного розподілу.

Для визначення нерівномірності розподілу зв'язків в структурі графа можна використовувати квадратичне відхилення наявного розподілу ступенів вершин від рівномірного:

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (v(i) - m_c)^2 = \sum_{i=1}^n v(i)^2 - 4 \frac{m^2}{n}. \quad (9)$$

де  $m_c$  - середня ступінь вершини графа.

Показник  $\sigma^2$  характеризує неповне використання можливостей заданої структури в досягненні максимальної зв'язності та свідчить про відмінність у рівнях завантаженості елементів системи.

Якщо нормувати показник  $\sigma^2$  щодо його можливого максимального значення  $\sigma_{\max}^2$  (досягається в системі, що має максимально можливе число вершин, що мають одну зв'язок), то вийде зручний

відносний показник  $\sigma_0^2$ : чим його значення менше, тим рівномірніше завантаженість елементів.

Для орграфа, що характеризує узагальнену модель структури гіпотетичного розвитку катастрофи внаслідок атаки на об'єкти критичної інфраструктури, максимальне значення  $\sigma^2$  досягається в разі, якщо всі вершини, відповідні її об'єктам, пов'язані між собою не напряму, а через єдину, тоді

$$m = 2n + f - 4, \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n v(i)^2 = 4n^2 + f^2 - 12n + 5f + 8 \quad (11)$$

де  $f$ -число вершин, що означають основні об'єкти критичної інфраструктури які викликають ланцюгову реакції катастроф у разі їх руйнування.

$$\sigma_{\max}^2 = 4n^2 + f^2 - 28n - 11f - 4 \frac{(f-4)^2}{n} \quad (12)$$

Отже, в результаті проведення топологічного експрес-аналізу можна визначити кількісні значення характеристик моделі (коефіцієнта структурної надлишковості, нерівномірності розподілу по зв'язках, структурної компактності, діаметра структури та ступеня централізації), дають можливість якісного визначення ступеня стійкості структури гіпотетичного розвитку катастрофи внаслідок атаки на об'єкти критичної інфраструктури.

Матриця суміжності  $A$  представлена у табл. 1, в останньому рядку представлені значення сум елементів матриці суміжності  $A$  по кожному стовпцю (значення  $v^k$ ), а в останньому стовпці - значення сум елементів матриці по кожному рядку (значення  $v_k$ ).

Число ребер орграфа  $m = 23$ , а число вершин  $n = 19$ .

Структурна надмірність визначається за формулою (8):  $\delta = 0,5$ .

Для визначення діаметра структури необхідно побудувати матрицю відстаней  $D$  (табл. 2):  $d = 7$ .

За формулами (5) і (6) обчислюємо для орграфа  $K(V, R)$  показники структурної компактності:  $q = 235$ ,  $q_0 = -0,32$ .

Для розрахунку індексу центральності  $\gamma$  спочатку по матриці суміжності  $A$  визначимо значення ступенів вершин орграфу  $K(V, R)$ :  $v(1)=2$ ,  $v(2)=2$ ,  $v(3)=3$ ;  $v(4)=2$ ,  $v(5)=3$ ,  $v(6)=2$ ,  $v(7)=1$ ,  $v(8)=2$ ,  $v(9)=1$ ,  $v(10)=3$ ,  $v(11)=2$ ,  $v(12)=2$ ,  $v(13)=4$ ,  $v(14)=2$ ,  $v(15)=4$ ,  $v(16)=4$ ,  $v(17)=3$ ,  $v(18)=1$ ,  $v(19)=1$ , відповідно  $v_{\max}=4$ ; так за формулою (7) визначимо  $\gamma=0,6$ .

За формулами (9) і (12) визначимо характеристики нерівномірності розподілу по зв'язкам орграфа  $\sigma^2=41,68$ ,  $\sigma_0^2=0,97$ .

Таблиця 2

Матриця суміжності  $A$  орграфа  $K(V, R)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	4	3	2	1	0	0	0	3	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	4	3	2	1	0	0	4	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	6	5	4	3	2	1	0	5	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	2	1	0	0	0	0	1	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	4	3	2	1	0	0	0	2	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	5	4	3	2	1	0	0	3	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5	6	5	4	3	2	1	0	4	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	7	6	7	6	5	4	3	0	1	5	0

Таблиця 3

Матриця відстаней  $D$  орграфа  $K(V, R)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	$v_k$	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	2
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
$v^k$	2	1	1	1	1	0	0	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	0		

**Висновки.** За результатами топологічного експрес-аналізу узагальненої моделі структури гіпотетичного розвитку катастрофи внаслідок атаки на об'єкти критичної інфраструктури можливо зробити такі висновки:

коефіцієнт структурної надлишковості  $\delta = 0,5$ , система з мінімальною структурною надлишковістю. Показує не велику надійність. Таким чином розвиток ланцюгової реакції за наявних параметрів мінімальний. Система захисту об'єктів критичної інфраструк-

тури організована і реалізована правильно і забезпечує загалом безпеку і стабільну роботу об'єктів КІ;

відносна нерівномірність розподілу по зв'язкам  $\sigma^2_0=0.97$  показує нерівномірну завантаженість вузлів (в наявності критичні об'єкти які можуть бути під впливом декількох загроз);

відносна структурна компактність  $q_0=-0,32<0$  характеризує розрізненість по зв'язкам між елементами структури, що є цілком логічним за своїм функціональним напрямком;

діаметр структури  $d=7$  відповідає максимальному розвитку ланцюгової реакції катастроф узагальненої моделі структури гіпотетичного розвитку катастрофи внаслідок атаки на об'єкти КІ;

ступень централізації  $\gamma=0.6$  свідчить про достатній характер централізації (основного напрямку) розвитку катастроф в наслідок атаки на об'єкти КІ і адекватності побудованої моделі.

Таким чином була розроблена математична модель оцінювання загроз і ризиків для об'єктів КІ за допомогою теорії графів. Було побудовано та зроблено експрес-аналіз узагальненої моделі структури сценаріїв гіпотетичного розвитку техногенної аварії внаслідок атаки на об'єкти КІ, в результаті якого оцінено стійкість системи критичних об'єктів до впливу дестабілізуючих (руйнуючих) факторів і впливів. Результати експрес-аналізу показали достовірність та адекватність запропонованої методики.

Модель оцінювання загроз і ризиків для об'єктів КІ доцільно застосовувати при визначенні й оцінці ризиків і загроз об'єктам КІ, вона дозволяє враховувати усі необхідні фактори, досліджувати складні системи КІ і визначати напрямки щодо прогалин спроможностей за захисту об'єктів і ліквідації наслідків у разі катастроф.

#### Список літератури:

1. Лисенко О.І., Чеканова І.В., Кутовий О.П., Нікітін В.А.. Стратегії управління ризиками на об'єктах критичної інфраструктури в умовах невизначеності. URL: <http://www.niss.gov.ua/content/articles/files/infrastrukt-86de2.pdf>.
2. Чумаченко С.М., Троцько В.В. Оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. Вип. 1 (3). С. 41–47.
3. Бобро Д.Г. Методологія оцінки рівня в критичній інфраструктурі. *Стратегічні пріоритети. Серія «Економіка»*. 2015. № 4 (37). С. 83–93.
4. Pederson P., Dudenhoefter D., Hartley S., Permann M. Critical Infrastructure Interdependency Modeling: A Survey of U.S. and International Research. Idaho Falls, Idaho: Idaho National Laboratory, 08.2006, 126 p.
6. Yakovliev Y., Chumachenko S. Ecological Threats in Donbas, Ukraine. Centre for Humanitarian Dialogue. Geneva, 2017. 60 p.
7. Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine / Denisov N., Averin D, Yushchuk A., Yermakov V., Ulytskyi O., Bystrov P., Zibtsev S., Chumachenko S, Nabyvanets Y. Kyiv : VAITE, 2017. 88 p.
8. On the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection: Council Directive 2008/114/EC. URL: <http://eur-lex.europa.eu>.
9. Уряднікова І.В., Чумаченко С.М., Кармазін С.В., Тесленко О.М. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури. *Науковий вісник Академії муніципального управління. Серія «Техніка»*. Вип. 1. 2015. С. 206–2018.
10. Чумаченко С.М., Кутовий О.П., Михайлова А.В. Застосування експертно-аналітичних методів для оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури оборонно-промислового комплексу на сході України. *Інженерія природокористування*. 2020. № 4 (18). С. 114–123.
11. Фурсенко О.М., Чумаченко С.М., Кармазін С.В. Експертна оцінка загроз для об'єктів критичної інфраструктури газотранспортної системи України з використанням методу аналізу ієрархій. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. Вип. 9. 2015. С. 68–77.

#### **Murasov R.K., Chumachenko S.M., Pirikov O.V., Guida O.G., Kiva I.L. PECULIARITIES OF CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODEL OF THREAT ASSESSMENT FOR CRITICAL INFRASTRUCTURE OBJECTS USING GRAPH THEORY**

*The paper investigates the problem of building a mathematical model for assessing threats and risks to critical infrastructure. The urgency of the problem of threat assessment is primarily due to the difficult situation in eastern Ukraine, where a significant number of them are in the area affected by the hybrid armed conflict. As a result, the critical infrastructure protection system is unable to fully perform its tasks, which could further lead to significant human casualties and non-combat casualties among the military.*

*Using classical graph theory, an approach to building a mathematical model for threat assessment for critical infrastructure has been proposed. This model allows you to calculate possible options for the*

*development of man-made accidents and predict options for the development of events. A rapid analysis of the generalized model of hypothetical scenarios of hypothetical emergencies (HE) due to the destruction of critical infrastructure (CI) was built and performed, as a result of which the resilience of facilities to destabilizing factors and hazards was assessed.*

*The results of rapid analysis showed the reliability and adequacy of the proposed method.*

*The model of threat and risk assessment for critical infrastructure objects should be used in identifying and assessing risks and threats to potentially dangerous CI objects. It allows to take into account all the necessary factors, to study the complex systems of critical infrastructure and to identify areas for capacity gaps for the system of protection of CI facilities and emergency response in case of man-made accidents and disasters.*

*The article presents a topological rapid analysis of the generalized model of the scenario of emergency development due to the destruction of critical infrastructure in eastern Ukraine, which showed sufficient ability of critical infrastructure to resist external destructive influences and its vulnerability to hybrid warfare and terrorist acts.*

**Key words:** *complex system model, system stability, graph theory, critical infrastructure, combinatorial analysis, threat assessment, system structure topology.*

**Oleshchenko L.M.**

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

**Movchan K.O.**

Ukrainian Scientific and Research Institute of Special Equipment and Forensic Expertise of the Security Service of Ukraine

## SOFTWARE METHODS OF GENERATING DOCUMENTATION FOR NETWORK API

*During software development and testing, a lot of time is spent analyzing code, domain logic, writing tests and documentation. Tests and documentation are important artifacts, and if they are high quality, significantly reduce the time spent by developers on the analysis of domain logic and program code. When developing client-server software, the quality of documentation for network APIs that provide access to data is important, because in some cases it is a mechanism by which the interaction between the commands of the client and server part of the software is organized. Creating and maintaining quality documentation using existing methods is time consuming, so the problem of optimizing and finding new methods to create documentation for the API is very important. The practical value of the research results obtained in this work is that the proposed method of creating documentation for network APIs allows to spend less time creating documentation, significantly reduces the likelihood of errors in the documentation caused by the human factor. The article analyzes the standards for creating documentation for software and substantiates the relevance of the problem for the API standard, formed requirements for documentation, analyzed the existing methods of creating documentation, identified their main advantages and disadvantages and compliance with the requirements. The implementation of the method of creating documentation based on tests is presented, its main advantages and disadvantages are revealed. Features of testing of a method and comparison of its efficiency in comparison with other methods are also considered.*

**Key words:** software methods, documentation, API, tests, OpenAPI documentation.

**Problem statement.** The most important requirement for any technical documentation is its relevance. In the case of software development used cascade model this requirement is very easy to meet. But today few people use this model, instead prefer flexible models, which are quite dynamically changing software requirements. In this case, the documentation needs to be updated as dynamically as the software changes. This problem is especially acute for API documentation. In the vast majority of cases, separate commands work on the client and server part – sometimes they are territorially far from each other and do not have the opportunity to interact with each other. That is why documentation is a mechanism by which the interaction between these teams is organized, and its relevance and quality is an important factor that affects the speed of development and quality of the final product.

An individual employee can create and maintain API documentation. An employee will distribute this documentation in the form of files or publish it on the website. This approach has a number of significant shortcomings in terms of the human factor and resource consumption. A person can

forget something, write incorrectly, etc. Once the code has changed, the documentation is out of date. Developers are faced with outdated and erroneous API documentation very often, which takes extra time, which ultimately affects the cost of products. Thus, the urgency means the elimination of the "human factor". Documentation should be updated automatically or semi-automatically with changes to the API, and the ability to forget to make changes to the documentation should be kept to a minimum.

The next requirement for documentation is its interactivity. This means that we must provide a specific user interface that not only describes the API in a readable form, but also allows to execute requests to the server side. This is important because usually API users who are the developers of the client side, before writing the code, still make requests to the server part to either check the API's performance or see how the API behaves in situations not described in the documentation. With a graphical interface, we eliminate the need for developers to use third-party software such as Postman for such purposes. Also, if manual testers are involved in the software development process, they will be able to test the

server part separately and it will be easier for them to “find the extreme” (client or server part) if the program does not meet the requirements, because testers using interactive documentation will be able to check the correct operation of the server part independently. Another advantage of interactivity is that they actually eliminate situations where the documentation does not fully describe possible answers or error codes, because in this case, without much effort, API users will be able to check such situations themselves.

**Related research.** The following software methods are most often used to create and maintain documentation for the REST API [1-10]:

- creating documentation using tools for a specific programming language / framework;
- writing documentation manually;
- creation of documentation with the help of third-party utilities;
- creation of documentation based on tests.

**The main goal of the article** is to create software methods that allows to optimize and automate the process of creating documentation for the network API.

**An overview of existing software methods.** Currently, the most commonly used application programming interfaces are GraphQL, JSON RPC, SOAP and REST API.

GraphQL is a standard for declaring the structure and methods of obtaining data or syntax, which describes how user can read data from the server [1].

GraphQL has three main characteristics:

- allows the client to specify exactly what data he needs;
- facilitates aggregation of data from several sources;
- uses a type system to describe data.

This approach, in addition to flexibility, reduces the number of requests and the amount of data at

the transport level. The GraphQL API is based on three main building blocks: schemas, queries, and resolvers. GraphQL provides the following types of operations: request (data reading), mutation (data recording) or subscription (continuous data reading) [2]. Any of these operations is simply a string that must be compiled according to the GraphQL query language specification. Once such an operation comes to the server from the client program, it can be interpreted using the entire GraphQL schema and provide the data required by the client application. GraphQL can work with any high-level network protocol (most often using HTTP) and with any data format (usually using JSON).

The advantage of using GraphQL is declarativeness. Also, the advantages include strong and clear typing, no problems with versioning. Another important aspect of GraphQL is its hierarchical nature. GraphQL is built on the relationship between objects, which simplifies the formation of queries, where the RESTful service may need a multiple query system “request / response” or a complex merge operation in SQL [3]. The main disadvantage is considered to be the complexity of implementation on the server side. Typically, this is why GraphQL is used as an additional layer between the client and web services. In this case, web services do not use GraphQL, but provide access to data using the REST API. The task of automating and optimizing the process of creating documentation is irrelevant, because the above-mentioned GraphQL-scheme is documentation for users of network API [4].

JSON-RPC is a remote procedure call protocol that uses JSON as the data format. This protocol is very similar to XML-RPC, its specification defines several types of data and rules for their processing [5]. It is designed as a simple, flexible and understandable

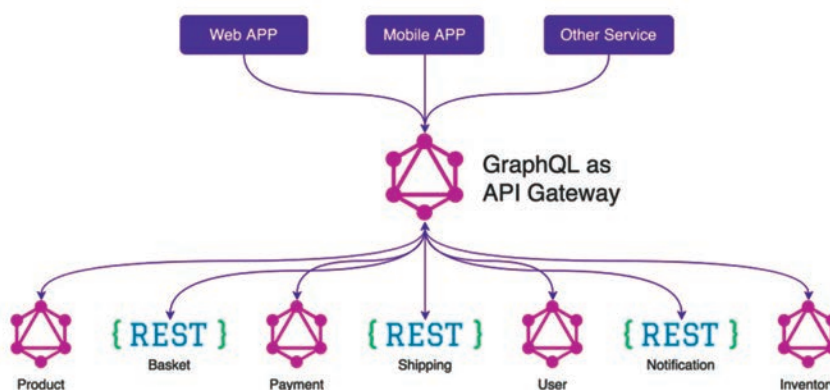


Fig. 1. GraphQL example in microservice architecture [1]

standard. JSON-RPC is based on sending requests to a server that implements a remote protocol. All transmitted data are requests serialized in JSON. A query is a call to a specific method provided by a remote system. It must contain three mandatory components:

- “method” is a line with the name of the method;
- “params” – data transmitted to the method as parameters;
- “id” – a value of any type used for matching the request to the answer.

The server must return a response to each request received. The answer should contain the following properties:

- “result” – data returned by the method. If an error occurred during execution of the method, this property must be set to null;
- “error” – error code in case of error during execution method, otherwise null;
- “id” is the same value as in the query to which it belongs reply.

Notifications have been introduced for situations where no response is required. Notifications differ from the request by the absence of “id”. The main advantage of JSON-RPC is its simplicity and intuitiveness. Often, when developing APIs, programmers who know nothing about standards themselves design interfaces with a similar query and response structure. JSON-RPC is well suited for web services with a small amount of functionality and data types. However, the lack of caching and versioning mechanisms, the lack of a clear specification make this standard unsuitable for large-scale web services. The JSON-RPC standard is very simple, so it is a simple task to generate documentation for APIs that use this standard. In particular, all that the documentation should contain is a list of methods, parameters, answers and error codes. Implementations of this standard for different platforms cope well with this task. In particular, it is JSON-RPC.NET for the .NET platform, go / net / rpc for GoLang, php-json-rpc for PHP [6].

SOAP is a protocol for exchanging structured messages in distributed computing systems [7]. For SOAP, there is no difference between calling a procedure and answering a call, it simply defines the message format as an XML document.

The message may contain a call to the procedure, a response to it, a request to perform some other action. The SOAP specification does not use message content analysis, it only specifies its standard for its design. SOAP is based on the XML language and extends one of the application layer protocols – HTTP, FTP, SMTP, etc. As a rule, HTTP is most often used. A SOAP message is an XML document that

consists of three main elements: an envelope (SOAP Envelope), a header (SOAP Header), and a body (SOAP Body).

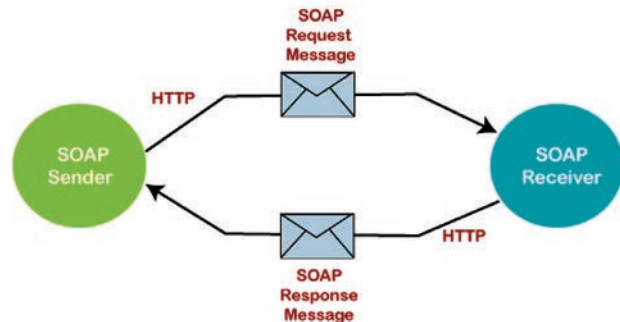


Fig. 2. Messaging between client and server using SOAP [7]

REST is an approach to the architecture of network protocols that provide access to information resources [8; 9]. It was described and popularized by Roy Fielding, one of the creators of the HTTP protocol. Fielding developed REST in parallel with HTTP 1.1 based on the previous version 1.0 [10]. REST has several architectural limitations. One of the limitations is the client-server architecture. This type of architecture requires a division of responsibilities between the components that store and update data (server) and those components that display data on the user interface and respond to actions with this interface (client). This separation allows the components to work independently. The next limitation is that the interaction between the server and the client does not have a state, ie each request contains all the necessary information for its processing, and does not rely on the fact that the server knows something from the previous request.

An additional limitation of the REST style is that systems written in this style must support caching, ie the data transmitted by the server must contain information about whether they can be cached and, if so, for how long. This allows to increase performance while avoiding unnecessary queries, but also reduces the reliability of the system due to the fact that the data in the cache may be outdated. REST API is a set of URIs, HTTP calls to these URIs, and a large number of resource views in JSON or XML format, many of which will contain cross-references. Addressing is based on covering resources with unique identifiers. Restrictions on interface uniformity are partially implemented through combinations URI and HTTP verbs and their use according to standards and conventions. Resources must be nouns, and action on a resource is a verb. The URI should always refer to the resource, not the action.

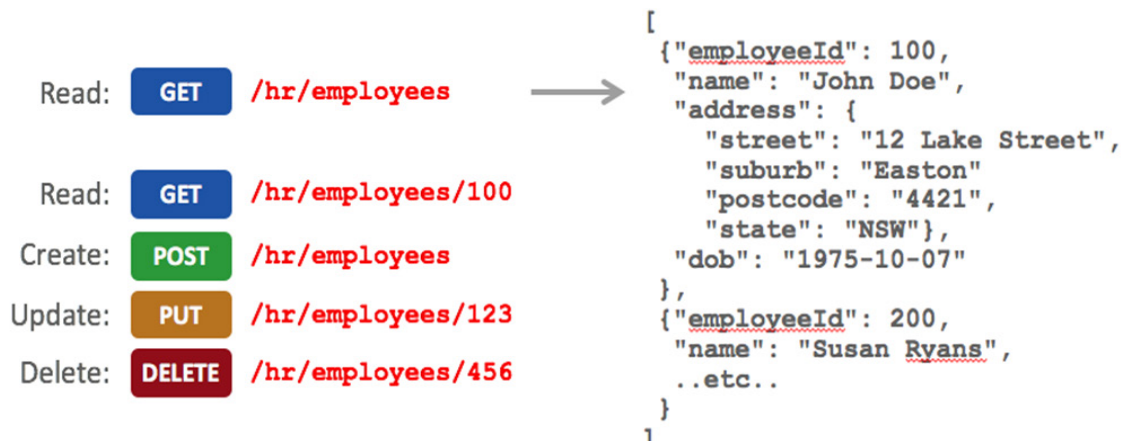


Fig. 3. A typical resource and a set of URIs access [10]

Each service resource must have at least one URI that identifies it. URIs should have a simple hierarchical structure to facilitate understanding of the API, and as a consequence, its usability. The REST API documentation should include a set of all resources, their identifiers and views, as well as a set of URIs and HTTP verbs for accessing resources, authorization information, and possible error and response codes. The REST API specification itself does not provide any automatic mechanisms for creating documentation, as is the case when using GraphQL using a schema, or in SOAP using WSDL. At the same time, the documentation for the REST API is an important artifact for the client part, and the process of its creation and maintenance can be optimized by analyzing the requirements and methods in detail.

**The proposed software method.** The test-based method is based on generating documentation when running functional tests. The result is a markdown file or a set of HTML and JS files. With the system of continuous integration, it is easy to configure the automatic download of these files to the server, which will allow each member of the team to easily view the documentation in the browser. The main advantage of this method is that it almost completely ensures the relevance of the documentation. After all, with the addition of tests, changes are automatically made to the documentation. The file that results from the tests determines whether the GUI will be interactive.

If it is a swagger file, we can install any graphics client that can work with the OpenAPI standard. Otherwise, it will not be possible to execute API requests using documentation. The SpringRestDocs library, which is an implementation of this method, generates documentation in its own format and does not provide users with interactivity, which is its significant disadvantage. Since the documentation

is based on tests, this method requires time to write them. At the same time, API access points are usually covered by functional tests, and under such conditions this method does not require additional time to create and maintain documentation.

This method does not completely minimize the human factor, because we need to make changes to the templates every time, and this can be easily forgotten. Also, the process of setting up SpringRestDocs is quite complex and cumbersome, but this can be explained by the complexity of the Spring ecosystem. The main disadvantage of SpringRestDocs is the lack of interactivity in the documentation. The documentation generated by the library is shown in Fig. 4:

Although API users will be able to see a list of available resources and methods by following the link, they will still be forced to use third-party applications to begin developing the client part. It should also be noted that an additional reason for this is that SpringRestDocs does not know how to generate the code of the client part, only snippet in the specified format. Another disadvantage is the inability to specify the authorization principle for the API. There are currently several ways to authorize in the REST API. These include BasicAuth, BearerAuth, ApiKeyAuth, OpenID and OAuth2. If we use any of them in tests, we will have to duplicate the queries for each of the tests. All these shortcomings are eliminated by using the OpenAPI standard. The OpenAPI specification, originally known as Swagger, is a specification of machine-readable files with interfaces for describing, creating, using, and visualizing REST web services. The principle of using this specification in this method is that instead of using snippets, templates and end files, we must first generate a machine-readable Swagger file, and then convert this file into human-readable documentation. This can result in a



PDF, HTML, etc. file. The final HTML file contains javascript code that allows to log in to the API and send requests to the server directly in the browser. Its appearance for the user in the browser (Fig. 5):

This method does not require manual editing of templates, but it will not be possible to change this template at the same time. The OpenAPI specification also supports all common authentication methods. All we have to do is add a securitySchemes section to the Swagger file. In this case, our method should not be responsible for graphical visualization of documentation. The result of his work is a Swagger file. The programmers will choose the way of visualization,

and when the Swagger file will be generated, because it can be done in several ways. In this case, in the system of continuous integration, we have the opportunity to check the percentage of coverage by tests. After successfully running the tests using the same system of continuous integration, the file is sent to a server that stores such files and visualizes them. The role of the server can be played by the project itself. In the case of a microservice architecture, we can create a separate service that will do this.

The principle of this method is to add a new handler that implements a special interface to the process of generating snippets, which later create templates,

The screenshot shows the 'Get a user' endpoint documentation. It includes a table of contents on the left, a description of the GET request, a table for the response structure, an example request, and an example response.

**Table of Contents**

- Overview
- HTTP verbs
- HTTP status codes
- Resources
- Listing users
  - Response structure
  - Example request
  - Example response
- Inserting a user
  - Request structure
  - Example request
  - Example response
- Get a user
  - Response structure
  - Example request
  - Example response
- Update a user
  - Request structure
  - Example request
  - Example response

**Get a user**

A GET request is used to get a user.

**Response structure**

Path	Type	Description
userId	String	User's identifier
firstName	String	User's first name
lastName	String	User's last name
username	String	User's username

**Example request**

```
$ curl 'http://localhost:8080/api/v1/users/2df3f1b9-f2a5-41f6-b021-4f2bc449d2ae' -i -H 'Content-Type: application/json'
```

**Example response**

Fig. 4. Documentation generated in SpringRestDocs

The screenshot shows the OpenAPI documentation for a pet store API. It features a search bar, a 'Schemes' dropdown set to 'HTTP', and an 'Authorize' button. The API is organized into two main sections: 'pet' and 'store'.

**pet** Everything about your Pets

- POST: /pet: Add a new pet to the store
- PUT: /pet: Update an existing pet
- GET: /pet/findByStatus: Finds Pets by status
- GET: /pet/findByTags: Finds Pets by tags
- GET: /pet/{petId}: Find pet by ID
- POST: /pet/{petId}: Updates a pet in the store with form data
- DELETE: /pet/{petId}: Deletes a pet
- POST: /pet/{petId}/uploadImage: uploads an image

**store** Access to Petstore orders

- GET: /store/inventory: Returns pet inventories by status
- POST: /store/order: Place an order for a pet
- GET: /store/order/{orderId}: Find an order by ID

Fig. 5. OpenAPI documentation

and then generate the result as a file in ePub, PDF or HTML, depending on the configuration. The library implements functionalities, such as adding links, adding descriptions for input and output parameters, input headers, and so on. But the current implementation has a number of significant drawbacks. The biggest drawback is that the final documentation is static rather than interactive. There are also no mechanisms to specify the method of authorization, which leads to duplication of code in the tests. All these shortcomings are eliminated by the new principle of operation of the method. In particular, instead of generating snippets, a Swagger file will be generated, which complies with the OpenAPI specification, in which these shortcomings are taken into account and eliminated.

**Conclusions and future work.** In this research existing software solutions for generating

documentation for network API are analyzed. Requirements for the developed software are formed and defined. The REST API documentation generation method is currently implemented in the SpringRestDocs library, which is part of the Spring ecosystem.

The software implementation of the proposed method was covered by automated tests written using the PHPUnit library. The total percentage of code coverage by tests reaches 65%. The efficiency of the method in comparison with other methods and the existing implementation of the method on the basis of tests are analyzed. The proposed method provides documentation interactivity compared to Spring Rest Docs and requires 25% less time than the method of creating documentation tools for a specific framework.

#### References:

1. Learn GraphQL. URL: <https://graphql.org/learn>
2. GraphQL Core Concepts Tutorial. URL: <https://www.howtographql.com/basics/2-core-concepts/>.
3. GraphQL. URL: <https://meline.lviv.ua/development/other/graphql/>
4. Wieruch, R. The Road to GraphQL: Your Journey to Master Pragmatic GraphQL in JavaScript with React.Js and Node.Js. New York : Independently published, 2018. 314 p.
5. JSON-RPC 2.0 Specification. URL: <https://www.jsonrpc.org/specification>.
6. Implementations – JSON-RPC. URL: [https://www.jsonrpc.org/archive\\_json-rpc.org/implementations.html](https://www.jsonrpc.org/archive_json-rpc.org/implementations.html).
7. SOAP Version 1.2 Part 0: Primer (Second Edition). URL: <https://www.w3.org/TR/2007/REC-soap12-part0-20070427>
8. WSDL Web Services Description Language. URL: <https://www.guru99.com/wsdl-web-services-description-language.html/>
9. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>
10. History of REST APIs. URL: <https://www.mobapi.com/history-of-rest-apis>.

#### **Олещенко Л.М., Мовчан К.О. ПРОГРАМНІ МЕТОДИ ГЕНЕРУВАННЯ ДОКУМЕНТАЦІЇ ДЛЯ МЕРЕЖЕВИХ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ**

*Основною проблемою розроблення та тестування програмного забезпечення є витрачання великого об'єму часу на аналіз коду, доменної логіки, написання тестів та створення документації. Якісні тести та документація суттєво зменшують часові витрати розробників на аналіз доменної логіки та програмного коду. При розробленні програмного забезпечення з клієнт-серверною архітектурою важливою є якість документації до мережеских API, що надають доступ до даних, оскільки у деяких випадках це є механізмом, за допомогою якого здійснюється взаємодія між командами клієнтської та серверної частини програмного забезпечення. Створення та підтримка якісної документації за допомогою наявних методів потребує багато часу, тому проблема оптимізації та пошуку нових методів для створення документації до API є актуальною. Практична цінність результатів дослідження, що були отримані в даній роботі, полягає в тому, що запропонований метод створення документації для мережеских API дозволяє витратити на генерування документації менше часу, зменшує ймовірність появи помилок у документації. У статті проаналізовані існуючі стандарти створення документації для програмного забезпечення та обґрунтована актуальність проблеми генерування документації для стандарту REST API, сформовані вимоги до документації, проаналізовані наявні методи створення документації, виявлено їх основні переваги, недоліки та відповідність сформованим вимогам. Наведено реалізацію методу створення документації на основі тестів, виявлено її основні переваги та недоліки. Також розглянуті особливості тестування методу та проведено порівняння його ефективності у порівнянні з іншими методами.*

**Ключові слова:** програмні методи, API, тести, OpenAPI документація.

УДК 378: 004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/20>

**Омецинська Н.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Лісовець С.М.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Вишемірська Я.С.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Юсипів Т.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Жовнерчук І.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ДОСТУПУ НА ОСНОВІ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ МЕТОДОМ ВІОЛИ-ДЖОНСА

*У статті розглядається питання SIMD-конформності алгоритму Віоли-Джонса та досліджуються можливості його розпаралелювання на SIMD-архітектурах, у тому числі спеціалізовані графічні процесори (GPU). Розроблено SIMD-конформну реалізацію алгоритму обчислення ознак Хаара у алгоритмі Віоли-Джонса.*

*Запропоновано кілька варіантів GPU-реалізації алгоритму Віоли-Джонса, проведено чисельні експерименти, що дозволяють порівняти такі варіанти та послідовну реалізацію алгоритму Віоли-Джонса на тому самому фізичному пристрої (APU), що поєднує у собі центральний та графічний процесори.*

*Натепер із розвитком інформаційних технологій з'явилися засоби, без яких ми не можемо обходитися. Інтернет – один з таких засобів. Це не просто система пошуку інформації. Інтернет нині – це середовище для проведення дозвілля, спілкування, навчання і роботи. Цей розвиток призвів до вибуху інтересу до нейронних мереж за останні декілька років, які успішно застосовуються у самих різних галузях – бізнесі, медицині, техніці, геології, фізиці. Нейронні мережі увійшли в практику всюди, де потрібно вирішувати завдання прогнозування, класифікації або управління.*

*Для ідентифікації людини застосовуються біометричні способи. У зв'язку з простотою розпізнавання обличчя та великою кількістю камер у всіх аспектах життя людини все більш актуальними стають розробки в розпізнаванні облич. Завдання розпізнавання обличчя актуальне як у сфері інтелектуальних середовищ, так і у системах безпеки. У зв'язку із затребуваністю над розробкою алгоритмів розпізнавання облич працюють і великі компанії, але серед продуктів з відкритим кодом можна виділити OpenCV. Це бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення.*

**Ключові слова:** алгоритм Віоли-Джонса, виявлення об'єкта на зображенні, зоровий інтелект, SIMD, OpenCL, GPU.

**Постановка проблеми.** Базовий алгоритм Віоли-Джонса (далі – базовий алгоритм) має низку проблем:

– тривалий час роботи алгоритму навчання. У процесі навчання алгоритму необхідно проаналізувати велику кількість тестових зображень;

– велику кількість близько розташованих один до одного результатів через застосування різних масштабів та ковзного вікна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для розпізнавання образів у режимі реального

часу широкого застосування набув метод Віоли-Джонса (Viola and Jones) на основі ознак Хаара. У роботі Роберта Куїма (Robert Kooima) описується модель узагальненої проекції перспективи, що може бути використана у разі відображення тривимірних об'єктів на екрані.

**Мета дослідження** – покращення розпізнавання обличчя у реальному часі; розпізнавання обличчя у відеопотоках; дослідження ефективності різних варіацій локальних бінарних шаблонів стосовно завдання розпізнавання обличчя у реальному

часі; оптимізація алгоритму Віоли-Джонса з використанням OpenCL.

**Виклад основного матеріалу.** Алгоритм Віоли-Джонса [1] був розроблений для вирішення завдання пошуку облич на малюнках, добре зарекомендував себе для швидкого пошуку та розпізнавання будь-яких умовно-пласких об'єктів, що мають характерне розподілення інтенсивностей і мають при цьому незначне перспективне спотворення як на статичних зображеннях, так і у відеопотоці [2; 3]. Класична версія цього алгоритму використовує машину статистичного навчання AdaBoost, на яку згодом було запропоновано кілька модифікацій. У роботі розглядалася версія алгоритму, що заснована на Real AdaBoost [4].

Для вирішення завдання детекції алгоритм Віоли-Джонса здійснює перебір можливих положень об'єкта, що детектується, і в кожному з положень вирішує завдання класифікації – визначення, є в цьому місці зображення шуканий об'єкт чи ні.

Детектором об'єкта Джонса є каскад класифікаторів. Каскад складається з кількох сильних класифікаторів, кожен із яких повертає одне з двох значень – / (об'єкта немає) або / (об'єкт є).

Умовою виявлення об'єкта є позитивна відповідь усіх сильних класифікаторів каскаду.

Сильний класифікатор своєю чергою складається з кількох слабких. Кожен слабкий класифікатор також повертає або 1. Для обчислення відповіді сильного класифікатора лінійна комбінація відповідей слабких порівнюється з порогом, у разі перевищення повертається 1, інакше – -1.

Первинною ознакою є наявність і величина контрасту між характерними ділянками зображення (такі ознаки називають Хаар-подібними). Слабкий класифікатор містить набір прямокутників, помічених вагами -1 і 1. За цими прямокутниками перевіряється ознака Хаара: виконується проекція прямокутників на ділянку вхідного зображення, обчислюється інтеграл яскравості вхідного зображення по кожному з прямокутників, а отримані інтеграли сумуються з урахуванням ваги прямокутника (1 або -1). Для нормування результат поділяється на просту суму інтегралів (без урахування ваги).

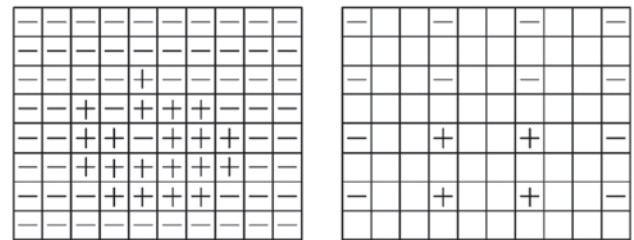
Слабкий класифікатор також містить масив бінів – заздалегідь заданих чисел, які є можливими відповідями слабого класифікатора. Чисельне значення ознаки Хаара масштабується до відрізка  $[0, p - 1]$ , де  $p$  – довжина вектора бінів, що заокруглюється вниз і використовується як індекс у масиві бінів.

Оскільки об'єкт має значний (порівняно з пікселем) розмір, а детектор Віоли-Джонса не надто

чутливий до порушення вирівнювання каскаду щодо об'єкта (рис. 1), алгоритм можна прискорити. Для прискорення каскади застосовуються не до кожної точки зображення, а розріджено з деяким кроком, у кілька разів меншим за розмір шуканого об'єкта.

Найбільш ресурсомісткою операцією для обчислення детектора Віоли-Джонса є вивчення ознак Хаара, тобто різниць інтегралів зображень по парах (звичайно, суміжних) прямокутників.

Обчислення інтеграла проводиться з невикористанням інтегрального зображення, що для ізольованого прямокутника вимагає 4 доступу до зображення в пам'яті, 1 додавання та 2 віднімання.



**Рис. 1. Обчислення розпізнаючого каскаду на платі (ліворуч) і розрідженої (праворуч) сітках. «+» означає позитивне спрацювання, «-» – негативне, пуста клітка означає, що каскад у такій точці не обчислюється. Крок розрідження  $(dx, dy)=(3,2)$**

Для суміжних прямокутників, що мають спільні вершини, доступ до елемента в пам'яті потрібен єдиний раз, незалежно від того, скільки прямокутників до цієї вершини входить.

Найбільш витратними для сучасних систем тут є операції доступу до пам'яті. Їх можна прискорити за рахунок ефективного використання кешу даних процесора, що вимагає локальності та передбачуваності звернень до пам'яті.

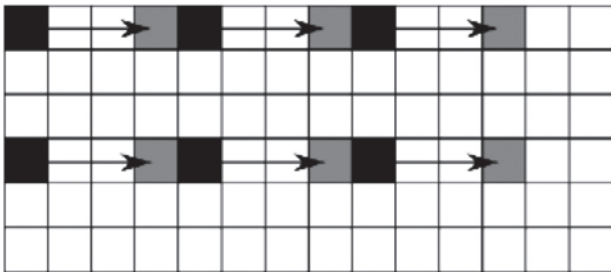
Послідовність обробки даних у пам'яті також важлива у разі реалізації алгоритму на SIMD-архітектурах, тому можна назвати властивість щільності та послідовності звернень алгоритму до пам'яті SIMD-конформністю.

Більшість сучасних обчислювальних пристроїв мають SIMD-функціональність у тій чи іншій мірі (усі GPGPU та APU, розширення SSE, AVX, Neon на CPU), тому актуальна розробка SIMD-конформної реалізації алгоритму обчислення ознак Хаара.

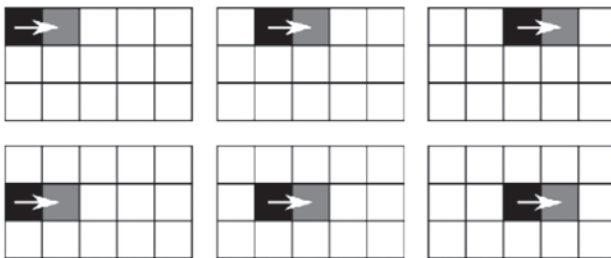
Набір зсувів на інтегральному зображенні, що відповідають вершинам прямокутників Хаара, назовемо шаблоном, а вершини в ньому – вузлами. Алгоритм Віоли-Джонса, в якому каскади обчислюються на кожній точці зображення, має SIMD-конформність у разі обчислення першого сильного класифікатора, оскільки кожен вузол

шаблону послідовно проходить усі пікселі на зображенні. Однак у разі обчислення ознак Хаара на розрідженому зображенні SIMD-конформність порушується.

**SIND-конформний алгоритм обчислення ознак Хаара на розріджених точках зображення.**



**Рис. 2. Паттерн звернень до пам'яті під час переходу до наступної точки інтегрального зображення у разі використання класичної схеми на розрідженій сітці. Крок розрідження (dx, dy) 3D (3,2). Білим позначені точки інтегрального зображення, які не потрібні для обчислень, але можуть потрапити в кеш процесора, що знижує ефективність обчислень**



**Рис. 3. Паттерн звернень до пам'яті для переходу до наступної точки зображення у разі використання запропонованої схеми на розрідженій сітці. Крок розрізання (dx, dy) (3,2) всі пікселі, крім наявних, заданий залишок від делення на крок розрідження. На такий підвбір алгоритмів мав би SIMD-конформність**

Для відновлення SIMD-конформності в загальному випадку, коли зміщення вузлів шаблону мають різні залишки від поділу на крок розрідження, розіб'ємо всі зміщення та елементи інтегрального зображення на трупи з однаковим залишком від поділу на крок розрідження (по кожній з осей). Таким чином, якщо крок розрідження по осі x дорівнює dx, по, відповідно, dy, то виходить  $ax \cdot dy$  груп. Для кожної групи сформуємо окрему вибірку інтегрального зображення з відповідною «фазою» (залишком від розподілу). Обчислення такої підвибірки будуть SIMD-конформними (рис. 1). У випадку, коли розміри інтегрального зображення w (ширина) і h (висота) кратні, відповідно, і dy, така процедура еквівалентна переупорядкуванню елементів інтегрального зображення і перетворення формулам:

$$\begin{aligned} X' &= x \bmod dx; \\ x' &= x \operatorname{div} dx; \\ w' &= w * X' + x'; \end{aligned}$$

Застосувавши їх (для y і h все аналогічно), отримаємо координати, в які повинен бути переміщений елемент інтегрального зображення, що знаходився в позиції (x, y).

Експериментальні дані показують прискорення запропонованого алгоритму порівняно з обчисленням «в лоб» на 5–15% у разі розрідження в 2–4 рази з урахуванням часу, необхідного на переупорядкування інтегрального зображення. За більшого розрідження різниця у продуктивності знижується. Це можна пояснити збільшенням кількості різних можливих фаз зсувів, що погіршує локальність звернень до пам'яті.

**Оптимізація алгоритму Віюлі-Джонса з використанням OpenCL.**

**Для платформи APU Fusion**

Технологія OpenCL передбачає поділ коду програми на «послідовну» частину (виконувану на CPU) та «паралельну», що виконується на GPU. Слова «послідовний» і «паралельний» взяті в лапки, оскільки CPU також матиме SIMD-функціональність, т. с. Виконуваний на ньому код також може бути розпаралелений, проте значно меншою мірою, ніж код, що виконується на GPU.

Усі паралельні процесори в технології SIMD виконують один і той же код, але з різними даними, тому завдання розпаралелювання полягає у розділенні вихідних даних на частини, які будуть паралельно оброблятися різними потоками. Наприклад, в алгоритмі Віюлі-Джонса кожен потік повинен детектувати наявність об'єкта у своїй сфері вхідного зображення.

У SIMD-архітектурах, реалізованих на CPU, потоки у разі звернення до пам'яті завжди читають послідовно розташовані осередки (тобто перший потік читає перше слово пам'яті, другий – безпосередньо наступне за ним і т. д.) – так звані *strided-операції*.

Особливістю GPU порівняно з іншими SIMD-пристроями є можливість доступу потоків до довільно розташованих осередків пам'яті, проте швидкість цього доступу дуже сильно варіюється залежно від багатьох факторів, і оптимізація алгоритму вимагає його реалізації таким чином, щоб виробляти тільки *strided-операції* доступу до пам'яті.

Оптимізація можлива за рахунок використання особливого типу константної тек-пам'яті, що підтримується GPU-стурною пам'яті.

Елементи такої пам'яті повинні бути особливим чином підготовлені перед запуском GPU-потоків

і не можуть бути змінені з потоків, але швидкість довільного читання з такої пам'яті значно перевищує несоалізовані читання зі звичайної пам'яті. Ця пам'ять має особливу адресацію, оптимізовану під зберігання одно-, дво- та тривимірних зображень. Було проведено низку тестів, що показали суттєвий вигравш у продуктивності під час використання константної текстурної пам'яті (у термінах OpenCL – image) як контейнер для масиву бінів.

Основні принципи оптимізації будь-якого алгоритму з використанням GPU є такими:

1. Розбиття завдання на паралельні потоки. Проведені авторами тести показали, що на платформі APU Fusion вищої продуктивності вдається досягти у разі збільшення кількості потоків.

2. Зниження накладних витрат на передачу управління та даних між CPU та GPU-кодом. У роботі розглядалося два варіанти розбиття завдання на потоки:

варіант 1: кожен потік GPU обробляє окремий піксель зображення (це дозволяє реалізувати запропонований вище SIMD-конформний алгоритм обчислення ознак Хаара за умови щільного зберігання зображення в пам'яті відсутності проміжків) між рядками, так звані «страйди», різні зображення обробляються послідовно;

варіант 2: кілька зображень склеюються в одне велике, потім кожен потік GPU обробляє один піксель об'єданого зображення. Другий варіант дозволяє збільшити кількість паралельних потоків, але збільшує накладні витрати на складання зображення частин. Спіження накладних передбачає порівняння різних схем передачі від CPU до GPU.

Розглядалися такі варіанти витрат:

варіант 1: ядро алгоритму (процедура, що виконується кожним потоком на GPU) містить лише обчислення слабого класифікатора, а два зовнішні цикли (за всіма сильними класифікаторами і за всіма слабкими

варіант 2: ядро алгоритму містить обчислення сильного класифікатора (тобто цикл за слабкими класифікаторами), а цикл за сильними класифікаторами обчислюється на CPU;

варіант 3: ядро містить обчислення цілого каскаду (т. с. подвійний цикл – за сильним і слабким класифікаторам);

варіант 4: позаяк у більшості реальних додатків алгоритму Віоли-Джонса в кожній точці зображення

обчислюється не один, а кілька незалежних каскадів, у четвертому варіанті ядро містило потрійний цикл по каскадах, сильним класифікаторам кожного каскаду і слабким класифікаторам кожного сильного.

Оскільки OpenCL не підтримує чотиривимірних константних текстурних зображень, вони були реалізовані у вигляді тривимірних зображень, одним із вимірів якого насправді був двовимірний зріз.

Окремим питанням є порядок обчислення каскадів на GPU. Як уже вказувалося, на CPU значного прискорення вдається домогтися за рахунок того, що якщо хоча б один сильний класифікатор відповів, то подальший розгляд гіпотези про існування в цій галузі шуканого об'єкта безглуздий, і можна припиняти очищення всього каскаду і переходити до наступного. Однак каскадна схема передбачає наявність точок розгалуження (операторів if-then-else), що своєю чергою на паралельній архітектурі може призводити до суттєвого замілення роботи алгоритму (оскільки у разі селі в частині потоків умову розгалуження виконано, а в частини – ні, то порушується SIMD-конформність). Якщо ж усі потоки йдуть по одній і тій же нетці (вийти з циклу за класифікаторами або завірити роботу), то наявність розгалуження призводить до прискорення роботи, як і в послідовній реалізації алгоритму.

**Висновки.** Проведений експеримент показав, що технологія OpenCL принципово дозволяє прискорити роботу алгоритму Віоли-Джонса, особливо для організації паралельної обробки кількох кадрів.

Проте водночас отримані результати демонструють значну залежність швидкості роботи програмного коду, що використовує OpenCL, від сторонніх факторів (таких як вибір операційної системи). Так, у ході виконаної роботи було показано, що поточне покоління APU не дає кратної переваги стосовно процесорів загального призначення за умови використання оптимізованого коду під Linux. На наш погляд, це вказує на недостатню готовність технології OpenCL для широкого використання.

Тим не менш надалі планується продовжити роботу над збільшенням швидкодії алгоритму. Одним із варіантів подальшого розвитку може бути переміщення масштабування каскадів із CPU на GPU.

#### Список літератури:

1. Viola P. and Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. V. 1. No. 1. IEEE Computer Society, 2001. P. 511–518.

2. Schapire R.E., Singer Y. Improved Boosting Algorithms Using Confidence-rated Predictions. *Machine Learning*. December 1999. V. 37, Issue 3. P. 297–33.

3. Усилин С.А., Николаев Д.П., Постников В.В. Поиск объектов в видеопотоке при известных кинематике и геометрической модели сцены. Труды 53-й научной конференции МФТИ «Современные проблемы фундаментальных и прикладных наук». Часть IX. *Инновации и высокие технологии*. Москва : МФТИ, 2010. С. 67–69.

4. Усилин С.А., Николаев Д.П., Постников В.В. Локализация, ориентация и идентификация документов с фиксированной геометрией на изображении. Труды Института системного анализа РАН. *Обработка информационных и графических ресурсов* / Под ред. Арлазарова В.Л. Москва : Красанд/URSS, 2010. С. 248–261.

**Ometsinskaya N.V., Lisovets S.M., Vyshemirska Ya.S., Yusypiv T.V., Zhovnerchuk I.V. ACCESS CONTROL SYSTEM BASED ON FACE RECOGNITION BY THE METHOD OF VIOLA-JONES**

*The paper discusses the issue of SIMD-conformity of Viola Jones' algorithm and investigates the possibilities of its parallelization on SIMD-architectures, including specialized graphics processors (GPUs). The SIMD-conformal implementation of the algorithm for calculating Haar features in the Viola-Jones algorithm has been developed.*

*Several variants of the GPU implementation of the Viola-Jones algorithm have been proposed, and numerous experiments have been conducted to compare these variants and sequentially implement the Viola-Jones algorithm on the same physical device (APU) that combines CPUs and GPUs.*

*To date, with the development of information technology, there are tools that we can not do without. The Internet is one such tool. This is not just an information retrieval system. Today, the Internet is an environment for leisure, communication, learning and work. This development has led to an explosion of interest in neural networks over the past few years, which are successfully used in various fields – business, medicine, technology, geology, physics. Neural networks have become practiced wherever you need to solve problems of forecasting, classification or management.*

*Biometric methods are used to identify a person. Due to the simplicity of face recognition and the large number of cameras in all aspects of human life, developments in face recognition are becoming increasingly important. The task of face recognition is relevant both in the field of intelligent environments and in security systems. Due to the demand for the development of face recognition algorithms, large companies are also working, but among open source products we can single out OpenCV. It is a library of algorithms for computer vision, image processing and general purpose numerical algorithms.*

**Key words:** *Viola-Jones algorithm, object detection in the image, visual intelligence, SIMD, OpenCL, GPU.*

**Серт І.В.**

Державний університет «Одеська політехніка»

**Беглов К.В.**

Державний університет «Одеська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СПАЛЮВАННЯМ НЕСЕРТИФІКОВАНОГО ПАЛИВА В ВОДОГРІЙНОМУ КОТЛІ

У статті запропоновано синтез екстремального регулятора для керування оптимальною витратою повітря й палива котлу. Так як склад палива змінний, було додано до каскадної АСК (автоматична система керування) нові канали вимірювання в димових газах із хімічним недопалом, що зменшило втрати теплової енергії. За основу її роботи була прийнята нелінійна модель водогрійного котла й алгоритм оптимізації керування з прямим визначенням похідної.

У зв'язку з переходом на альтернативні джерела енергії виникла необхідність у використанні альтернативних палив, до яких відноситься, наприклад, біогаз. Проте хімічний склад таких видів палива не завжди використовується для штатних систем керування водогрійних котлів, які експлуатуються в багатій кількості.

Більшість водогрійних котлів зі штатною системою при швидкій зміні складу палива не здатні економічно підтримувати процес спалювання палива змінного складу. Це пов'язано з тим, що, по-перше, склад несертифікованого палива довший визначався, аніж первинні джерела теплової енергії, по-друге, через постійну зміну складу палива треба кожен раз з'ясовувати хімічний склад і розраховувати нову теоретичну витрату повітря при зміні складу палива, коли для первинних видів ці величини були розраховані й не потребували постійних перерахунків і нових досліджень. Саме тому розробка АСК для спалювання несертифікованого палива змінного складу є актуальним і нерозповсюдженим питанням.

Так, хоча забезпечення максимальної ефективності котла є важливим завданням, використання біогазу шкідливо впливає на його роботу через велику кількість сірководню, який роз'їдає металоконструкції котла, тому й потрібно регулювати коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ , який впливає на ефективність котла та викид шкідливих сполучень в атмосферу. Саме тому з'ясування палива змінного складу підвищить ефективність та економічність котла.

Проведено аналіз роботи екстремального регулятора й порівняння зі штатною системою керування. У результаті цього з'ясовано, що при сталому значенні складу палива робота екстремальної та штатної АСК нічим не відрізняється одна від одної. Проте при збуреннях витратою повітря (понад 20%) екстремальна система регулювання, дає змогу знизити втрати теплової енергії при спалюванні й зміні складу палива.

**Ключові слова:** біогаз, котел, екстремальний регулятор, склад палива, склад димових газів.

**Постановка проблеми.** Актуальним питанням сьогодні є те, що в значній кількості почалося використання вторинних енергоресурсів в енергетиці, до яких відноситься несертифіковане палива, отримане в біогазових установках. Тому постає завдання синтезу системи керування паливно-повітряним каналом.

Ще однією проблемою є наявність оксидів азоту, які утворюються під час горіння при досить високій температурі полум'я та наявності кисню в димових газах. Цього можна уникнути, якщо проводити процес горіння при значенні коефіцієнта надлишку повітря, трохи менше одиниці (0,99–0,995).

Традиційні системи керування економічності спалювання, які використовують тільки сигнал про концентрацію кисню, не спроможні підтримувати коефіцієнт надлишку повітря менше ніж одиниця. Тому пропонується доповнити штатну систему керування, по-перше, новими каналами вимірювання складу димових газів, а по-друге, додатковим регулятором, який здатний підтримувати оптимальне співвідношення між витратою палива й витратою повітря при змінній складу палива. Дослідженню такої системи керування й присвячена стаття.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Через те що склад палива може бути змінний, системи з



лінійною моделлю описують об'єкт керування зі значною похибкою. Тому використано нелінійну модель спалювання палива й синтез екстремального регулятора для цього об'єкта. Завдяки цьому система керування більш якісно компенсує зовнішні збурення.

Проаналізовано попередні статтю [1, с. 116–121], у якій розглянуто схоже питання, проте на основі імітаційної моделі трьох котлів КВГМ-50, і ще одну працю [2, с. 115–120], де реалізовано в режимі реального часу процедуру пошуку навантаження між котлами, при змінному складі палива. У роботі [3, с. 90] висунуто пропозицію щодо використання значення ККД котла, коефіцієнта зносу обладнання, які також мають значний вплив на роботу теплообмінника.

Визначення умовної формули газоподібного вуглеводного палива за допомогою побудування її моделі спалювання газу змінного складу, а також метод забезпечення оптимальної сталості палива/повітря для отримання максимальної температури спалювання в роботі [4, с. 21–27].

**Постановка завдання.** Основна мета полягає в тому, що потрібно синтезувати екстремальну систему керування, яка дає змогу спалювати несертифіковане паливо змінного складу.

У процесі дослідження прийнято рішення залишити основний регулятор, який підтримує витрату повітря відповідно до витрати палива, і додати екстремальний регулятор, який виконує функцію коригувального регулятора та змінює співвідношення між витратою повітря й витратою палива.

Для розв'язання сформульованої мети треба вирішити такі завдання:

- розробити структуру екстремального регулятора, який підтримує мінімальне значення втрат теплової енергії за рахунок збільшення кількості складових димових газів, що аналізуються;

- змоделювати роботу нової системи керування та порівняти її зі старою.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У попередній роботі [5, с. 142–146] розглянуто питання моделювання спалювання природного газу змінного складу в котлі. Проведено синтез нелінійної та лінійної моделей, у результаті чого при збуренні складом палива понад 50% від номінального значення штатний регулятор не забезпечує необхідної якості якісних перехідного процесу.

Це зумовлено передусім тим, що новому складу палива відповідає нове значення теоретично необхідної кількості повітря. Таким чином, виникає необхідність у процедурі пошуку нового значення оптимального коефіцієнта надлишку повітря, графік якого наведено на рисунку 1.

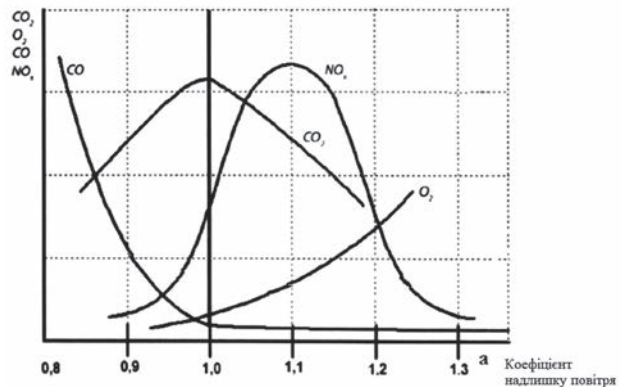


Рис. 1. Залежність складу димових газів від коефіцієнта надлишку повітря [6]

Для цього розглянемо синтез екстремального регулятора, який більш доречніший, тому що через указані раніше нововведення з'явилася можливість ведення процесу спалювання при значеннях коефіцієнта надлишку повітря менш ніж одиниця.

Відомо, що втрати теплової енергії для водогрійних котлів, які працюють газоподібному паливі розраховуються за формулою:

$$q_{\bullet} = q_2 + q_3, \quad (1)$$

де  $q_2$  – утрати з димовими газами,

$$q_2 = \left( c_{pH_2} \cdot C_{H_2} + c_{pCO} \cdot C_{CO} + c_{pO_2} \cdot C_{O_2} + c_{pCO_2} \cdot C_{CO_2} + c_{pH_2O} \cdot C_{H_2O} + c_{pN_2} \cdot C_{N_2} \right) \cdot t_{d_2} \quad (2)$$

$q_3$  – утрати від хімічного недопалу;

$$q_3 = Q_{H_{H_2}}^p \cdot C_{H_2} + Q_{H_{CO}}^p \cdot C_{CO}. \quad (3)$$

Для знаходження мінімуму теплових утрат система керування повинна аналізувати значення похідної  $\frac{dq_{\bullet}}{d\alpha}$ . Тотожність похідної нульовому значенню свідчить про досягнення екстремуму, а саме мінімуму.

Сутність роботи екстремального регулятора з безпосереднім визначенням похідної полягає в тому, що визначаються дві похідні від часу: похідні  $\frac{d\alpha}{dt}$  та  $\frac{dq_{\bullet}}{dt}$ , а потім знаходиться їх відношення  $\frac{dq_{\bullet}}{dt} / \frac{d\alpha}{dt}$  [7].

Але під час експлуатації системи керування виникає ситуація, коли зовнішні збурення відсутні. Тобто ані коефіцієнт надлишку повітря, ані втрати теплоти не змінюються. У такому випадку всі похідні дорівнюють нулю й в обчислювальному пристрої виникає помилка ділення на нуль.

Таким чином, виникає протиріччя, яке полягає в тому, що при змінному складі палива потрібний екстремальний регулятор, з іншого боку, такий

регулятор спотворює роботу АСК, якщо склад палива сталий.

Для вирішення цього протиріччя проаналізовано характер зміни сигналів вимірювальної інформації про склад димових газів. Аналіз показав, що є можливість розрахунок похідної замінити таким виразом:

$$dq = K_1 * q_2 - K_2 * q_3. \quad (4)$$

Тобто знаходити не суму, а різницю між утратами з відхідними газами  $q_2$  та втратами від хімічного недопалу  $q_3$ . Коефіцієнти  $K_1, K_2$  потрібні для нормалізації сигналів від  $q_2$  та  $q_3$ , щоб при  $\alpha = 1$  цей сигнал дорівнював 0.

Графік залежності  $dq = f(\alpha)$  наведено на рисунку 2. Розрахунки показують, що залежність (4) відповідає функції  $\frac{dq}{d\alpha}$ , саме через це необхідність у пошуку самої похідної відповідає.

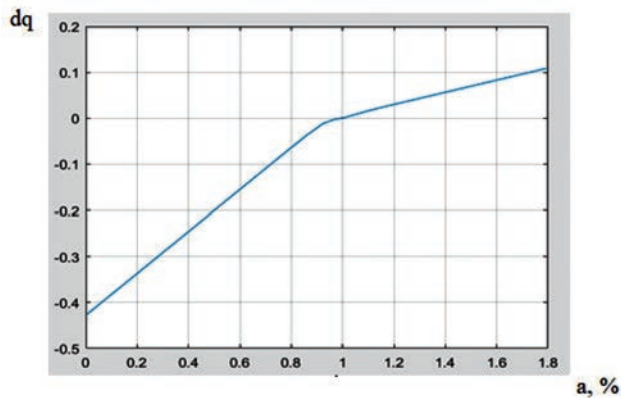


Рис. 2. Графік залежності  $dq = f(\alpha)$

Для порівняння штатної системи регулювання з екстремальною на вході системи проведено імітаційне моделювання. Схему імітаційної моделі наведено на рисунку 3.

На вхід системи подано природний газ, а також біогаз і різні витрати палива.

Розташовані на рисунку блоки 3 мають такі позначення:

- «Склад палива» – моделює склад палива й розраховує значення теоретично необхідного об'єму повітря  $V_0$  залежно від складу палива;
- «Витрата палива» – установлює витрату газоподібного палива;
- «*zadanie*» – задається завдання концентрації кисню;
- «*Ramp*» – вхідне збурення для дослідження статичної характеристики об'єкта;
- «*PID Controller1*» і «*PID Controller*» – блоки коригувального та стабілізуючого регуляторів нової системи відповідно;
- «*PID Controller2*» і «*PID Controller3*» – блоки коригувального та стабілізуючого регуляторів штатної системи відповідно;
- «*Manual Switch*» – перемикач, який потрібен для вибору вхідного збурення або керуючого впливу;
- «*Object\_nonlin*» – об'єкт керування, який має такі входи:
  - « $V_0$ » – теоретично необхідний об'єм повітря,  $m^3 / m^3$ ;
  - « $V_f$ » – витрата палива,  $m^3/c$ ;

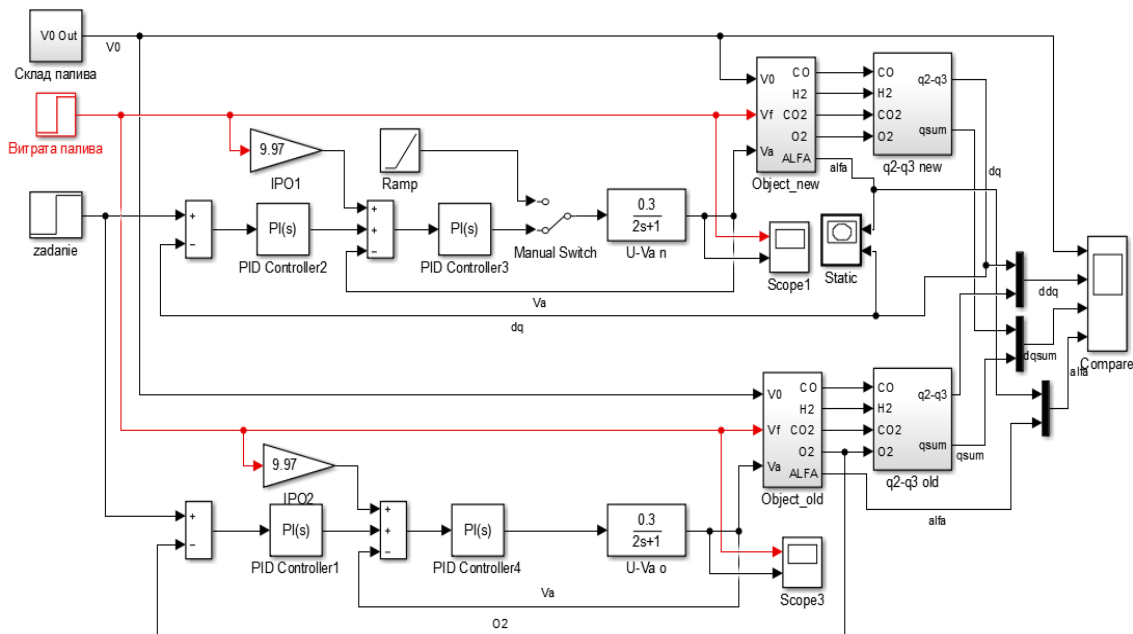


Рис. 3. Модель синтезу екстремального регулятора з нелінійним об'єктом спалювання несертифікованого палива

- « $V_A$ » – витрата повітря,  $m^3 / c$ ;
  - « $U - V_A n$ » і « $U - V_A o$ » – динамічні властивості повітропроводу для штатного й екстремального АСК,  $m^3 / m^3$ ;
  - « $q2 - q3 old$ » і « $q2 - q3 new$ » – блоки, у яких виконуються розрахунки для штатного й екстремального регуляторів за формулами (2)–(4);
  - « $IPO1$ » та « $IPO2$ » – теоретично необхідні витрати повітря при спалюванні розрахункового виду палива для штатного й екстремального регуляторів,  $m^3 / m^3$ .
- Нижче на рисунках 4–7 зображено зміну теоретичну витрату повітря, після чого зроблено

порівняння різниці втрат і сумарних утрат із відповідними димовими газами з хімічним недопалом.

Зміна складу палива моделюється у вигляді зміни теоретично необхідної кількості повітря на 200, 400, 600 секундах. Із графіків видно, що на 200-ій секунді було подано збурення у вигляді збільшення теоретично необхідної витрати повітря, на 400-ій секунді – зменшення, тому що в систему надійшло більш калорійне паливо і штатний регулятор гірше справився із цим, ніж екстремальний.

На проміжку часу від 200 до 400 секунд у штатній системі відбулася втрата сигналу, тому

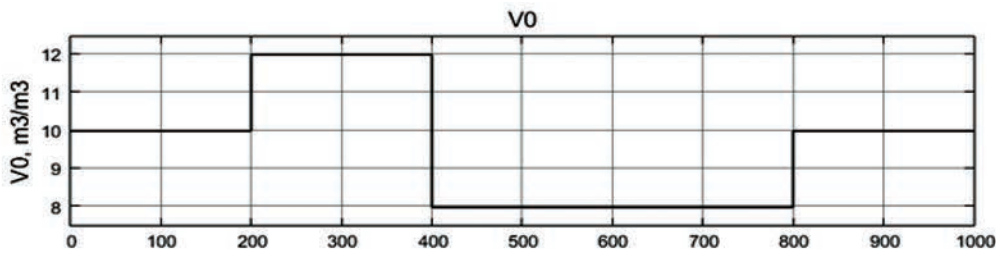


Рис. 4. Зміна теоретично необхідної кількості витрати повітря

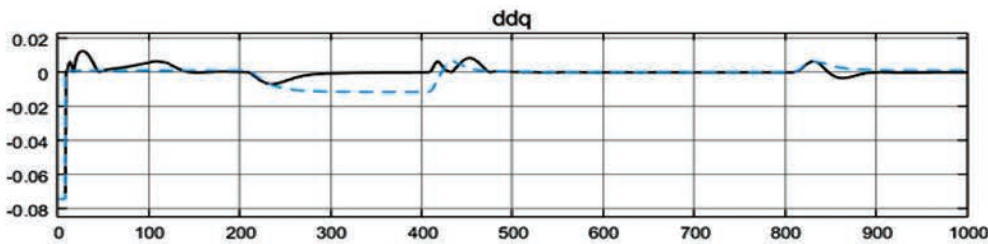


Рис. 5. Порівняння роботи різниці втрат АСК зі штатним (---) та екстремальним (-) регуляторами

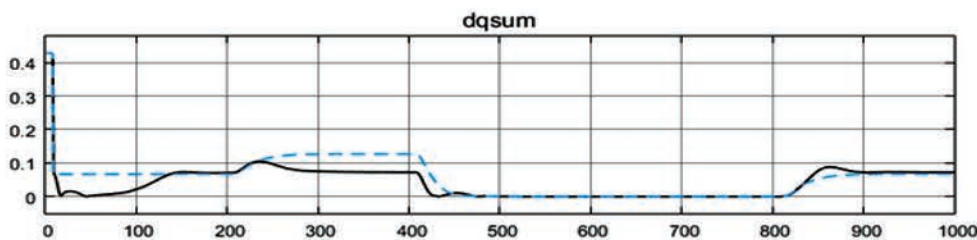


Рис. 6. Порівняння роботи сумарних утрат АСК зі штатним (---) та екстремальним (-) регуляторами

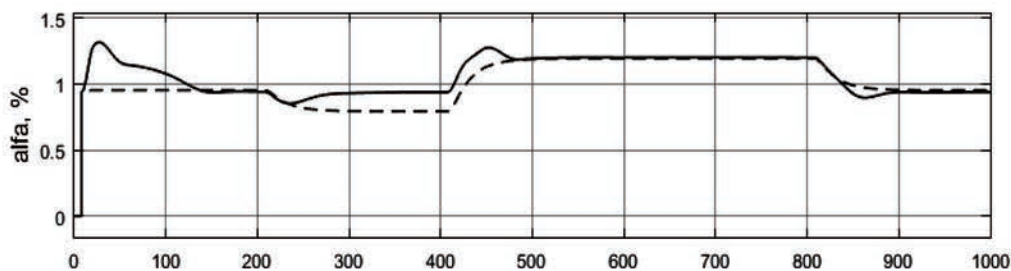


Рис. 7. Зміна коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  штатного (---) та екстремального (-) регуляторів залежно від витрати повітря

там з'явився хімічний недопал, на відміну від екстремальної, де не було цього. На 800-ій секунді  $V_0$  повертається в номінальне значення.

**Висновки.** У роботі проведено синтез екстремального регулятора для керування нелінійним об'єктом. При цьому використано три нових сигналу, окрім концентрації кисню, вимірюються концентрації водню, чадного газу та вуглекислого газу. Таким чином, ураховуються втрати з димовими газами й хімічним недопалом, за допомогою чого й визначається оптимальна витрата повітря при зміні складу палива.

У результаті проведеного дослідження системи керування запропоновано використання сигналу різниці між утратою з димовими газами й утратою від хімічного недопалу. Це дало змогу не використовувати похідну при пошуку мінімуму втрат теплової енергії.

З графіків перехідних процесів, які наведені на рисунках 4–7, видно, що при сталих значеннях складу палива робота штатної системи нічим не відрізняється, проте коли відбулася зміна складу палива, екстремальний регулятор краще відпрацював із цим збуренням, аніж штатний. Тому нова система краще справляється зі збуренням складу палива, ніж штатна.

#### Список літератури:

1. Вовк І.В., Беглов К.В. Моделювання водогрійних котлів при глибоких збуреннях за змістом палива. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2018. Вип. 29 (68). № 6 (1). С. 116–121. URL: [https://scholar.google.com.ua/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=c3oVsmkAAAAJ&citation\\_for\\_view=c3oVsmkAAAAJ:ZeXyd9-uunAC](https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=c3oVsmkAAAAJ&citation_for_view=c3oVsmkAAAAJ:ZeXyd9-uunAC).
2. Концур В.О., Беглов К.В. Оптимізація режиму роботи групи котлів під час спалювання несертифікованого палива. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Том 31. С. 115–120. URL: [https://scholar.google.com.ua/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=c3oVsmkAAAAJ&citation\\_for\\_view=c3oVsmkAAAAJ:j3f4tGmQtD8C](https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=c3oVsmkAAAAJ&citation_for_view=c3oVsmkAAAAJ:j3f4tGmQtD8C).
3. Лисюк А.В., Беглов К.В. Оптимізація роботи групи агрегатів при спаленні несертифікованого палива. *Автоматика-2017*: матеріали XXIV Міжнародної конференції з автоматичного управління (м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 р.). Київ, 2017. С. 90. URL: <https://er.chdtu.edu.ua/bitstream/ChSTU/2022/1/%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B02017.pdf#page=90>.
4. Модель и метод сжигания в теплоэнергетической установке углеводородного газа переменного состава / А.В. Лысюк, А.В. Бондаренко, М.М. Максимов, А.И. Брунеткин. *Автоматизация технологических и бизнес-процессов*. 2017. № 9. Iss. 2. С. 21–27. URL: [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=th&user=JbyxTnnc\\_H0C&citation\\_for\\_view=JbyxTnnc\\_H0C:8k81kl-MbHgC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=th&user=JbyxTnnc_H0C&citation_for_view=JbyxTnnc_H0C:8k81kl-MbHgC).
5. Серт І.В., Беглов К.В. Модель спалювання природного газу змінного складу в котлі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Том 32 (71). № 3. С. 142–146. URL: [http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/3\\_2021/25.pdf](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2021/3_2021/25.pdf).
6. Организация процесса сгорания и выбросы вредных веществ в бензиновых двигателях. Устройство авто. URL: <https://ustroistvo-avtomobilya.ru/sistemy-snizheniya-toksichnosti/organizatsiya-protsesta-sgoraniya-i-vy-brosy-vredny-h-veshhestv-v-benzinovy-h-dvigatelyah/>.
7. Системи екстремального регулювання (еср). С. 22. URL: <https://studfile.net/preview/10050565/page:22/>.

#### Sert I.V., Beglov K.V. RESEARCH OF COMPUTER-INTEGRATED CONTROL SYSTEM OF NON-CERTIFIED FUEL COMBUSTION IN A HEATING BOILER

*The article proposes the synthesis of an extreme regulator to control the optimal air and fuel consumption of the boiler. As the fuel composition is variable, new measurement channels in flue gases with chemical afterburning were added to the cascade ASC (automatic control system), which reduced heat energy losses. The basis of her work was a nonlinear model of a hot water boiler and an algorithm for control optimization with direct determination of the derivative.*

*Due to the transition to alternative energy sources, there is a need to use alternative fuels, such as biogas. However, the chemical composition of such fuels is not always used for regular control systems for hot water boilers, which are operated in large quantities.*

*Most hot water boilers with a standard system with a rapid change in fuel composition are not able to economically support the process of burning fuel of variable composition. This is due to the fact that, firstly, the composition of uncertified fuel was determined longer than the primary sources of heat, and secondly, due to the constant change in fuel composition, it is necessary to determine the chemical composition and calculate a new theoretical air flow rate, when for primary species these values were calculated and did not require constant recalculations, and new research. That is why the development of ACS for the combustion of uncertified variable fuel is a topical and fairly uncommon issue.*

*Yes, although ensuring the maximum efficiency of the boiler is an important task, the use of biogas has a detrimental effect on its operation, due to the large amount of hydrogen sulfide, which corrodes the metal structures of the boiler. Because of this, it is necessary to regulate the coefficient of excess air  $\alpha$ , which affects the efficiency of the boiler and the release of harmful compounds into the atmosphere. That is why finding out the fuel of variable composition will increase the efficiency and economy of the boiler.*

*The analysis of the operation of the extreme regulator and comparison with the standard control system is carried out. As a result, it was found that with a constant value of fuel composition, the work of extreme and regular ASC is no different from each other. However, in the case of air flow disturbances (more than 20%), the extreme control system reduces heat loss during combustion and changes in fuel composition.*

**Key words:** *biogas, boiler, extreme regulator, fuel composition, flue gas composition.*

**Сєнін Ю.І.**

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

## **ЗГОРТКОВІ НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АВТОРСТВА ТЕКСТІВ**

*У статті представляється модель для визначення авторства коротких текстів за допомогою згорткової нейронної мережі (CNN – convolutional neural network) із використанням n-грам символів. Запропонована стратегія, яка покращує інтерпретацію моделі, оцінюючи важливість фрагментів вхідного тексту в прогнозованій класифікації. Штучна нейронна мережа класифікує тексти авторів з використанням набору лексичних дескрипторів і з прямим використанням за допомогою зворотного розповсюдження n-грам.*

*Використано методи багатофакторного машинного навчання задля визначення авторства, досліджено класифікатор атрибуції з використанням текстів, які мали невеликий обсяг і твітів у соціальних мережах, таких як Twitter, Facebook, Instagram.*

*Проведено дослідження, яке дає змогу визначити найбільш ймовірного автора статті, новин чи повідомлень. Ідентифікацію авторства можна застосувати до таких завдань, як ідентифікація анонічного автора, виявлення плагіату або пошук письменника-привида. У дослідженні вирішували цю проблему на різних рівнях, із різними моделями глибокого навчання й на різних наборах даних. Серед усіх моделей, які протестовано, GRU на рівні статті досягає найкращого результату: точність 69,1% для набору даних C50 і 89,2% для набору даних Gutenberg.*

*У результаті проведених досліджень у статті виявлено, що CNN забезпечує кращу продуктивність для тисяч коротких текстів, а використання символів n-грам, замість простих послідовностей символів, може підвищити продуктивність. Зі спостережень можна визначити, що мережа більше фокусується на деяких розділах тексту, аніж на цілому тексті.*

*За дослідженням, експериментальна оцінка відображає, що модель згорткової нейронної мережі з використанням n-грам символів є конкурентоспроможною і здатна перевершити попередні методи.*

**Ключові слова:** класифікація авторів, короткі тексти, нейронна мережа, згорткова нейронна мережа, символи n-грам, аналіз основних компонентів.

**Постановка проблеми.** Проблема атрибуції авторства завжди була складнішою для коротких текстів порівняно з довгими текстами. Проте в сучасному світі, де більшість людських взаємодій відбувається в Інтернеті й у короткі терміни, використання коротких текстів стає все більш актуальним, особливо в таких галузях, як фішингові листи, спам і спільні проекти з масовими джерелами, такі як Вікіпедія. З появою соціальних мереж можна стверджувати, що створення систем, які працюють із короткими текстами є важливішим, аніж систем, які працюють з довгими текстами, такі як книги, наприклад. Ця потреба також відображається в інтересі, що зростає, до визначення авторства невеликих текстів, таких як твіти й ті самі наукові публікації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На момент написання статті не знайдено жодної попередньої роботи, у якій успішно застосовувалися символні n-грами з використанням CNN, ні яких-небудь методів CNN, що мали справу з

визначенням авторства коротких текстів. Тим не менше знайдено дослідження в галузі атрибуції авторства коротких текстів, що використовують як традиційні, так і суміжні підходи. Символи й n-грами слів використовувалися як ядра багатьох систем атрибуції авторства.

Символи та слова n-грами допомагають визначити автора документа, фіксуючи синтаксис і стиль автора. Розглядаючи підходи до глибокого навчання, знайшли ще одну роботу, у якій CNN використовується для визначення авторства. Однак вони використовують словесні подання текстів, а не символне подання для коротких текстів. Крім того, у праці [1] використовується багатоголова рекурентна нейронна мережа (RNN), модель мови символів, яка дає набір імовірностей наступного символу для кожного автора на кожному кроці моделі. Це була найбільш ефективна система для завдання ідентифікації автора PAN 2015 з макросередньої площі під кривою (AUC) 0,628 [1]. Незважаючи на багатообіцяючі результати, які

показують CNN і RNN, результати не піддаються інтерпретації, лише деякі із робіт намагаються проаналізувати, чого насправді навчаються мережі.

**Постановка завдання.** Метою статті є огляд вирішення проблеми визначення авторства коротких текстів, пропонування архітектури нейронної мережі, яка здатна вивчати подання тексту з послідовності символів. Запропонована архітектура – це CNN, який використовує послідовність n-грамів символів як вхідні дані. Це контрастує з традиційним підходом до CNN, згідно з яким використовується послідовність слів або послідовність символів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** N-грам – згортковий нейронні мережі. Запропонована архітектура отримує послідовність n-грам символів як вхідних даних. Ці n-грами потім обробляються трьома модулями: модулем вставки символів, згортковим модулем і підключеним модулем softmax. Модуль вбудовування символів оснований на успіху інших розподілених векторних представлень, таких як вбудовування слів. Цей модуль вивчає безперервне, нерозбірливе  $d$ -вимірняння векторного представлення n-грам символів. Максимальна довжина  $l$  навчальних послідовностей визначає розмір вхідного сигналу, а вхідні дані, коротші за  $l$ , доповнюються. Цей модуль дає матрицю  $C \in R_{d \times l}$ , де стовпці знаходяться в позиції  $j$ . вкладення n-грами  $c_j$

Наступний компонент – згортковий модуль. До частини першої застосовується фільтр згортки,  $C \cdot H$

$\in R_{d \times w}$ , де  $w$  – ширина фільтра. Отримана матриця  $O$  використовується як вхідні дані для сигмоподібної функції  $g$  разом із терміном зміщення  $b$  для створення представлень функцій  $f$  для тексту [2]

$$O = H \cdot C[i:i + w - 1]$$

$$f = q(H \cdot C[i:i + w - 1] + b), f \in R_{l - w + 1}$$

Як видно з рисунка 1, використовується згортковий шар з різною шириною  $w$ , що дає змогу фіксувати шаблони, включаючи все, від морфем до слів. Потім буде об'єднано отримані карти об'єктів  $f$  шляхом максимального об'єднання в часі, щоб отримати  $y_k$ , максимальне значення кожної карти об'єктів:

$$fk : y_k = \max_i fk [i], k = 1 \dots m,$$

де  $m$  – кількість карт об'єктів.

Це дає змогу представляти текст з його найбільш важливими ознаками, незалежно від їх позиції. Після об'єднання об'єктів  $y_k$  отримуємо компактне представлення тексту. Нарешті, це подання передається через повністю підключений модуль, що містить softmax шар. Моделі навчання оснований на нейронних мережах, які намагаються знайти функції, корисні для автоматичного вирішення проблеми навчання. У разі визначення автора тексту стилістичні особливості можуть бути виявлені на морфологічному, лексичному та синтаксичному рівнях. Припускається, що запропонована модель здатна автоматично фіксувати

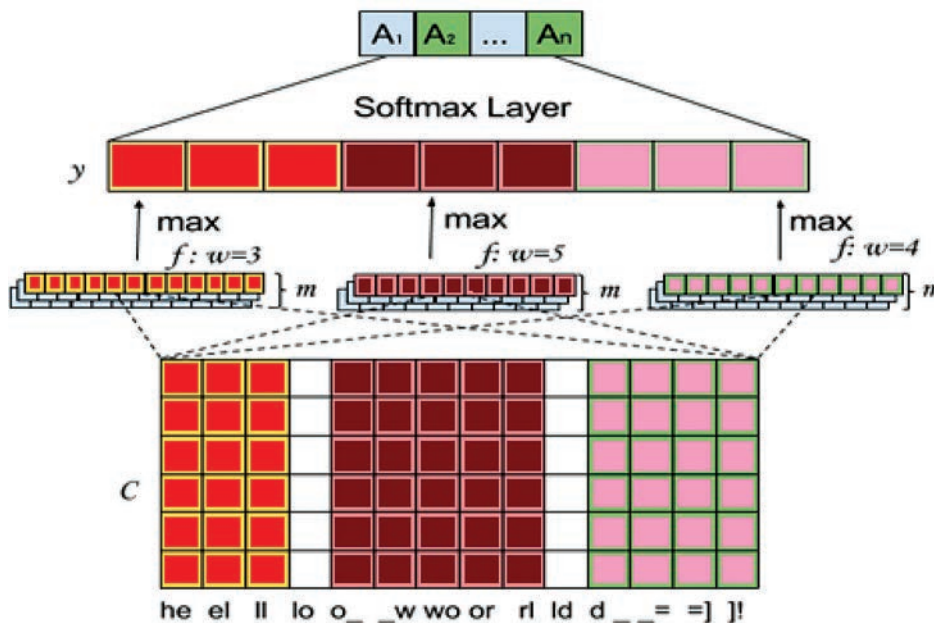


Рис. 1. N-грам CNN. Вкладення N-грам передаються в згортковий й максимальні шари об'єднання, а остаточна класифікація виконується з допомогою softmax шару, застосованого до остаточного текстового поданням

шаблони на всіх цих рівнях, починаючи з коротких послідовностей символів, а потім використовуючи згортку для створення уявлень для більш довгих послідовностей.

**Деталі реалізації.**

Таблиця 1

**Гіперпараметри архітектури нейронної мережі**

Шар	Шари	Гіперпараметри	
Шари вбудовування	2	$l$ $d$	170 330
Згортка	4	$m$ $w$ Об'єднання в пул	[600, 600, 600, 600,] [2,3,4,3,] Максимальне об'єднання
Повністю підключених	2	Одиниці	Залежить від автора

Таблиця 1 містить комбінацію гіперпараметрів для трьох модулів, які генерують кращий результат перевірки. Крім того, додано шар відсіву з 25%, що фільтрується після першого шару вбудовування для регуляризації. Потім змішуємо та групуємо зразки в міні-партії розміром 32 байти для пришвидшеного навчання, використовуючи адаптивну оцінку моменту зі швидкістю навчання  $1e - 4$  для навчання нейронної мережі. Здійснюємо тренування моделі на 200 точках і вибираємо з найменшою помилкою перевірки.

**Експериментальна оцінка.**

Таблиця 2

**Точність для 50 авторів із 1000 коротких текстів кожен**

CNN-2	CNN-1	SCH	SCH	LSTM-2	CNN-W
0,761	0,757	0,712	0,703	0,645	0,548

На основі набору даних [2] оцінено запропонований підхід, який містить 10000 користувачів Facebook, кожен із яких має до 500 коротких текстів, використовуючи однакові розбиття. Навчено окремі моделі CNN з n-грамами символів ( $n = 1,2,3,2,3$ ) на невеликому наборі перевірки. Тут оцінюємо дві наші найбільш ефективні моделі, одну на юніграмах (CNN-1) та іншу на біграмах (CNN-2). Порівняння з трьома іншими системами наведено нижче.

Усі системи використовують перехресну перевірку в процесі навчання для налаштування гіперпараметрів. Спочатку було проведено експеримент з відносно невеликим набором авторів – із 25 авторів, і їх 100 короткими текстами кожен. Результати наведено в таблиці 2. Результати показують, що наша модель CNN [3] bigram (CNN-2) дуже добре працює із цим набором даних і перевершує систему SCH майже на 5%. CNN-1 також

перевершує метод SCH, але трохи гірше, ніж CNN-2, показуючи, що є сенс навчити модель CNN n-грам, а не тільки на окремі символи.

Таблиця 3

**Порівняння точності для збільшення числа авторів зі 100 коротких текстів на одного автора**

Автори	CNN-1	CNN-2	CHAR	SCH	LSTM-2	CNN-W
100	0,504	0,506	0,435	0,415	0,328	0,246
200	0,487	0,476	0,413	0,419	0,337	0,204
500	0,425	0,447	0,357	0,345	0,299	0,163
1000	0,361	0,356	0,313	0,292	0,247	0,126

Також проведено дослідження, як запропонований метод працює порівняно з іншими методами, коли проблема стає більш складною, тобто коли число авторів збільшується або коли кількість коротких текстів на одного автора зменшується, як це зроблено в Schwartz et al. Результати для збільшення числа авторів наведено в таблиці 3. Обидві представлені моделі CNN працюють досить добре порівняно з іншими методами для всіх експериментів, хоча точність знижується зі збільшенням числа авторів, навіть за наявності 1000 авторів наша модель досягає точності значно вище за 36%, є поліпшення на 6% порівняно із сучасним (SCH).

Таблиця 4

**Порівняння точності для зменшення кількості твітів одного автора для 50 різних авторів**

Кількість твітів	CNN-2	CNN-1	SCH	CHAR	LSTM-2	CNN-W
500	0,734	0,727	0,671	0,633	0,546	0,509
200	0,655	0,645	0,623	0,547	0,512	0,460
100	0,623	0,627	0,554	0,537	0,465	0,427
50	0,532	0,565	0,521	0,421	0,325	0,364

Можемо зробити аналогічні висновки з результатів, у яких зменшуємо кількість коротких текстів на одного автора, як показано в таблиці 4. Після роботи в SCH ці результати є середніми значеннями точності, отриманими з 10 непересічних наборів даних. Продуктивність системи досить стабільна, навіть якщо кількість коротких текстів на одного автора невелика. Різниця в поліпшенні трохи збільшується по мірі того, як ми наближаємося до меншої кількості твітів. Статистичний t-тест результатів по 20 непересічних наборах даних показує, що відмінності між CNN-2 і CHAR, LSTM-2 і CNN-W статистично



значущі при  $p < 0,001.001$ . Проте з результатами SCH виконання тестування стало неможливе, так як результати окремих зв'язаних наборів даних не повідомляються. В обох таблицях можемо побачити, що модель CNN-2 перевершує за продуктивністю модель CNN-1 для експериментів з великою кількістю точок даних (авторів і/або твітів вище немає), це може бути пов'язано з тим, що CNN-2 має більшу кількість параметрів для навчання. CNN-W працює гірше, ніж інші системи. Вхідні дані на основі символів спеціалізуються на стилістичних моделях, тоді як словесні моделі фокусуються на пов'язанні з утриманням шаблонів, які менш важливі для визначення авторства. Цей висновок узгоджується з попередніми дослідженнями в галузі визначення авторства [4].

Що фіксує CNN? Незважаючи на конкурентоспроможну ефективність методів нейронного вистави в кілька NLP, існує недостатнє розуміння того, що саме вивчають ці моделі або як параметри співвідносяться з вхідними даними. Деякі емпіричні дослідження намагалися зрозуміти роль компонентів RNN. Щоб проаналізувати, що робить навчання нейронних уявлень, які підходять для визначення авторства, розглянемо найбільш помітні розділи одного вхідного короткого тексту.

Обрано двох авторів та одну роботу, щоб проаналізувати, які шаблони вивчаються для конкретних авторів. Представлено два короткі тексти від автора бота. Чим темніший відтінок, тим помітніший цей розділ твіту в рішенні про атрибуції. Цей автоматичний бот, схоже, вартий назви шаблону: URL, звичайно ж, він виявлений моделлю CNN-2, про що свідчить темне затінення в кінці обох твітів. Аналогічно, на рисунку 3 показано два твіти від людини-автора. Відразу можемо помітити, що в цього автора є бажання використовувати *uhm* і що цей розділ виділений на рисунку. Автор також схильний використовувати послідовні точки, це теж виділено [5]. На рисунку 4 показано значення значущості для твіти з моделей CNN-2 (вгорі) і CNN-1 (усередині).

Нижня фігура затінена з використанням ознак із логістичної регресії для CHAR.

Для моделі CNN-1, хоча виділяються *uhm*, значення значущості більш розподілені по всьому твіту, виділяючи навіть «e» і «boляче». Водночас ми бачимо, що модель CNN-2 фокусується саме на *uhm*, що є дуже характерним стилем цього автора. На рисунку 4 наведена s-образна діаграма для моделі CHAR внизу, яку створено за допомогою вагомих ознак із класифікатора логістичної регресії [6]. Хоча більше уваги приділяється *uhm* частини *uhm*, знову ж таки, розподіл більш поширений і для цієї моделі порівняно з моделлю CNN-2.

N-грами з найбільшим внеском. Деякі n-грам програми активують кілька фільтрів, але генерують низькі значення активації, водночас інші n-грами генерують більш високі значення активації, але тільки для декількох фільтрів. Обидва типи містять важливі підказки в розумінні запропонованої моделі. Використаємо проміжне представлення фільтрів CNN, що складається в матриці  $O \in R^{n \times m}$ , де  $n$  – кількість n-грамів. Спочатку визначте n-грами, які генерують найбільші значення активації, агреговані по всіх фільтрах. Можемо відзначити, що багато найвищих біграм є незвичайними варіантами символів, таких як ( $;$ ,  $: p i ; D$ ), які, імовірно, пов'язані з конкретними авторами. Для авторів роботів [U] має найвищу продуктивність, так як більшість автоматичних твітів мають URL-адреси в кінці якісної характеристики.

Наступним кроком буде збір n-грамів, у яких найбільша кількість фільтрів, де їх продуктивність входить у топ-3. Можемо побачити, що біграми стають біграмами з афіксами. Можемо пояснити цей факт важливістю морфологічних особливостей для характеристики людських твітів.

**Висновки.** У статті представлено стратегію використання CNN із символічними n-грамами для визначення авторства коротких текстів і порівняння зі стандартними підходами. Виявлено, що CNN забезпечує кращу продуктивність для визначення авторства твору, а використання символічних n-грам може підвищити продуктивність порівняно з використанням простої послідовностей символів. Протягом усього процесу дослідження проаналізовано, що мережа більше фоку-

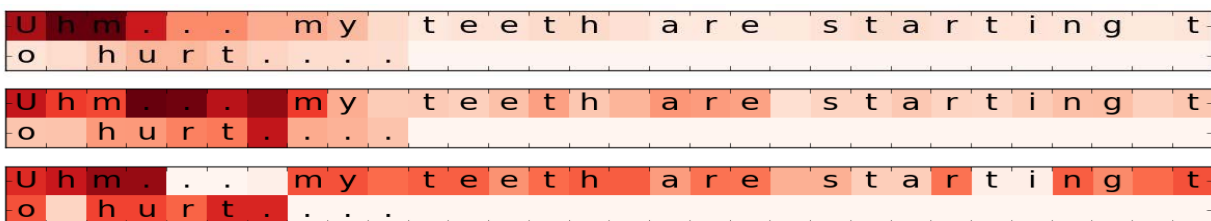


Рис. 2. Порівняння опуклих перерізів CNN-2 (вгорі) і CNN-1 (середина)

сується на деяких розділах тексту, аніж на цілому тексті. Це створює передумови для застосування моделей уваги. Дослідження, які проводитимуться в майбутньому, будуть спрямовуватися на покращення алгоритмів і реалізацію запропонованого програмного забезпечення.

#### Список літератури:

1. Бэгвелл Д. Идентификация автора с использованием многоголовых рекуррентных нейронных сетей. *Робочі примітки до документів Лабораторії оцінки CLEF*. 2015. Том 1391.
2. Stamatatos, 2009; Koppel and Winter Koppel and Schler, 2004.
3. Lstm: Пошукова космічна одиссея / К. Грефф, Рупеш К. Шривастава, Я. Кутник, Бас Р. Штjунебринкі Ю. Шмидхубер. *Транзакції IEEE по нейронних мережах і систем навчання*. 2016. С. 99.
4. Обробка природної мови (майже) з нуля / Р. Колберт, Д. Уинстон, Л. Ботту, М. Карлен, К. Кавукчуоглу і П. Кукса. 2011. *Журнал досліджень машинного навчання*. 2011. № 12 (серпень). С. 2493–2537.
5. Юн Ким. 2014 рік. Згорткові нейронні мережі для класифікації речень. *Матеріали Конференції 2014 року з емпіричних методів обробки природної мови (EMNLP)*. 2014. С. 1746–1751.
6. Кингма Д., Ба Дж. Адам: метод стохастичної оптимізації. На *Міжнародна конференція з вивчення уявлень*. 2015.

#### **Sienin Yu.I. CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS TO DETERMINE THE AUTHORSHIP OF TEXTS**

*The article presents a model for determining the authorship of short texts using convolutional neural networks (CNN) with n-grams of characters. A strategy that improves the interpretation of the model by assessing the importance of input text fragments in the predicted classification will also be presented. The artificial neural network proposes to classify the authors' texts Heusing a set of lexical descriptors and the neural network with direct use by inversely distributing n-grams.*

*The effect of stylometry was analyzed. This document used the methods of multifactor machine learning of authorship, the attribution classifier was investigated using texts from novels as a data set. An artificial neural network is proposed for the classification of authors' texts using a set of lexical descriptors and a forward neural network using inverse propagation.*

*A study was conducted to determine the most likely author of articles, news or reports. Authorship identification can be applied to tasks such as identifying an anonymous author, detecting plagiarism, or finding a ghost writer. This project addressed this issue at different levels, with different models of deep learning and on different data sets. Of all the models tested, the article-level GRU achieves the best result: an accuracy of 69.1% for the C50 dataset and 89.2% for the Gutenberg dataset.*

*Research has shown in a written article that CNN provides better performance for thousands of short texts, and using symbolic n-grams instead of simple sequences of symbols can also increase productivity. From the observations it could be determined that the network focuses more on some sections of the text than on the whole text.*

*Experimental evaluation shows that the CNN text works competitively and is able to outperform previous methods.*

**Key words:** *classification of authors, short texts, neural network, convolutional neural network, n-gram symbols, analysis of main components.*

**Царук В.В.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## КОЛЬОРИЗАЦІЯ ОЦИФРОВАНОГО ЧОРНО-БІЛОГО ЗОБРАЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЗГОРТКОВИХ МЕРЕЖ

У статті описано рішення перетворення оцифрованих чорно-білих фото в кольорові через інтеграцією цієї проблеми з нейронними мережами. Після оцифрування старих чорно-білих зображень існує можливість перетворення їх у кольорові. Щоб розфарбувати людське обличчя, потрібно близько 17 шарів різноманітних відтінків, щоб зображення було реалістичним. З метою оптимізації та прискорення роботи можна використовувати методи машинного навчання, а саме згорткові нейронні мережі. Для класифікації зображень вони є стандартним рішенням. Порівняно з іншими методами роботи із зображенням вони показують високі показники точності. Основна проблема перетворення оцифрованих чорно-білих фото полягає в ідентифікації елементів на зображенні та його відповідному забарвленні, ось чому в цьому випадку використання згорткових нейронних мереж є актуальним підходом для вирішення.

Розглянуто згорткову нейронну мережу, яка була навчена з нуля, з високорівневими функціями моделі. Головна мета моделі – це оцінка компонентів за допомогою параметра вхідного зображення. Пошуком простих шаблонів будуть займатися шари, які розміщені ближче до вхідного шару. За пошук складних шаблонів будуть відповідати шари, які розміщені до вихідного шару. У результаті можна зробити висновок, що цей підхід, який базується на використанні нейронних мереж, демонструє, що глибинне навчання може бути використаним для деяких завдань із розфарбовування картини й у цілому при роботі з картинкою. Зокрема, цей підхід є ефективним, щоб забарвити частини зображення універсального рівня та досить великого розміру. Виконання фарбування невеликих елементів ще потребує покращення. Тобто виконання специфічних оцифрованих знімків виключно спирається на їх конкретний зміст, тобто на об'єднання елементів на фото.

**Ключові слова:** згорткові нейронні мережі, оцифровані чорно-білі фото, біологічні нейрони, штучний інтелект, нейрон, перцептрон.

**Постановка проблеми.** Кольорове фото містить набагато більше інформації, ніж чорно-біле. Із цього випливає, що корисніше використовувати його для вилучення й отримання інформації про зображення. Візуально привабливою для глядачів є кольорова картина, адже вона є яскравою і несе більше візуального ефекту. Перетворення зображення з чорно-білого в кольорове – це складне завдання для обробки зображень, адже воно передбачає регенерацію інформації. Запропонована ідея вирішує такі проблеми, які варіюються від забарвлення старих оцифрованих чорно-білих фотографій і чорно-білих фільмів.

Кольоровий знімок складається з тривимірної інформації про колір, її ще називають RGB. RGB визначаються червоним, зеленим і синім кольорами. Зображення в чорно-білих відтінках складається з яскравості, а отже, воно є одновимірним. Перетворення кольорового в чорно-біле означає, що буде втрата інформації про колір. Тобто перетворити кольорове зображення в чорно-біле досить легко, але зворотній порядок є важким процесом.

На перший погляд існує можливість змінити процес перетворення кольорового зображення в чорно-біле, щоб повернути кольори, але це не так.

Причина цього полягає в тому, що може бути багато кольорів, які призводять до одного рівня чорно-білого, але, коли йде зворотній процес, стає неможливо вирішити, який колір відповідає цьому конкретному рівню чорно-білого відтінку, який повинен перетворитися на кольоровий. Ця проблема поки що не має точного вирішення, тому що не існує детермінованого зв'язку між яскравістю чорно-білого зображення й точними кольорами того самого зображення. Виділимо такі рішення цієї проблеми: розфарбовування власноруч, також є варіант використовувати додаткові, проміжні засоби й автоматичний підхід.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У статтях Shoghian і Kouzehgar висвітлено роботу з порівняння між пошуком Grey Wolf Optimizer і чотирма іншими алгоритмами оптимізації [2]. Zhang, Jiang і Wei розглядають оцінку кольоризації оцифрованого чорно-білого зображення на

основі зору для текстурних космічних об'єктів шляхом узгодження точок контуру методи побудови діаграм [3]. У роботі авторів Zitzler, Deb і Thiele порівнюються багатоцільові еволюційні алгоритми та їх емпіричні результати [7].

**Постановка завдання.** Метою статті є розгляд вирішення проблеми з перетворення чорно-білих оцифрованих зображень у кольорові з використанням різних методів та алгоритмів згорткових нейронних мереж, які були навчені з нуля, з високорівневими функціями моделі Хсерption.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основні принципи роботи нейронної мережі, тісний зв'язок із біологічними нейронами та структура мережі є важливими темами для вирішення описаної проблеми. Ідея використання нейронних мереж полягає в розумінні їх основ роботи. Вони пропонують потужний набір інструментів. Цей набір можливостей дає змогу вирішувати проблеми у сфері класифікації, регресії тощо. Поняття нейронних мереж отримано з досліджень механізмів обробки біологічної інформації в нервовій системі людини.

Штучна нейронна мережа, або Neural Network – це система обробки інформації, яка має спільну базу з біологічними нейронними мережами. Нейронні мережі розроблені як ідея математичних моделей на основі певних припущень, у яких сама обробка відбувається згідно з нейронами. Нейрони зв'язані через лінію зв'язку, по яких проходять сигнали. У свою чергу, кожна лінія зв'язку пов'язана з вагою. Основна мета ваги, як правило, – множити переданий сигнал. При застосуванні функції активації кожен нейрон визначає

вихідний сигнал до зваженої суми своїх входів, він зазвичай нелінійний.

Одним із класів нейронних мереж є мережі з відкритим ланцюгом. У свою чергу, такі мережі можна розглядати як нелінійні математичні функції. Вони перетворюють набір незалежних змінних  $x = (x_1, \dots, x_d)$ , які називаються входами мережі, у набір залежних змінних  $y = (y_1, \dots, y_k)$ , їх називають виходами мережі. Стосовно внутрішньої структури нейронної мережі та набору значень  $w = (w_1, \dots, w_d)$ , то вона визначає форму функції або, як їх ще називають, ваг.

Можемо зробити висновки, що функція нейронної мережі у вигляді  $y = y(x; w)$  означає, що  $y$  є функцією  $x$ , яка, у свою чергу, параметризована  $w$  [1]. Один нейрон такої мережі схематично показаний на рис. 1.

У свою чергу, її можна розглядати як нелінійну функцію. Вона перетворює входні значення  $x_1, \dots, x_d$  у вихідний змінній  $z$ . У цій моделі за допомогою використання ваги значень  $w_1, \dots, w_d$  виконується сума входних даних. Якщо провести аналогію з людським мозком, то вони подібні до синапсів, які використовуються в біологічній мережі. Усе це означає, що параметр можна визначити так:

$$a = \sum_{i=0}^d w_i x_i. \quad (1)$$

Залежно від типу синапсисів значення ваг можуть мати будь-який знак.

При використанні функції активації отримуємо вихід  $z$ . Тобто шляхом застосування до нелінійного перетворення  $g()$  маємо таку формулу:

$$z = g(a) = g\left(\sum_{i=0}^d w_i x_i\right). \quad (2)$$

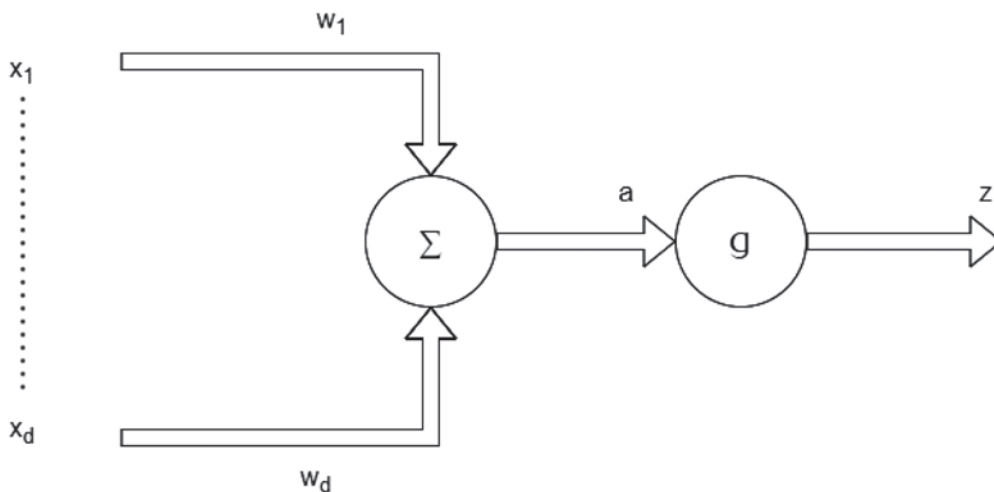


Рис. 1. Схематичне зображення одного нейрона в нейронній мережі

Функція активації визначає вихідне значення нейрона залежно від результатів зваженої суми входів і порогових значень, найчастіше використовують такі функції, як RELU, ELU, sigmoid, tanh.

Для автоматичного розфарбовування чорно-білого зображення необхідно надати системі здатність мислення, для цього потрібно запрограмувати систему за допомогою штучного інтелекту [5]. Штучний інтелект – це здатність системи здобувати інформацію, обробляти її та застосовувати знання й уміння. Можна виділити такий ряд підпунктів, які включає штучний інтелект, як показано на рис. 2.

Описана система використовує техніку глибинного навчання, яка є частиною машинного навчання. У свою чергу, машинне навчання є підполем штучного інтелекту, а глибинне навчання – це техніка, яка використовує нейрони, з'єднані для формування нейронної мережі, основна ідея якої полягає в тому, щоб навчити мережу виконувати певне завдання. Використовуючи глибинне навчання, варто навчити нашу систему ефективно розфарбовувати зображення чорно-білого кольору. Нейронні мережі складаються зі штучних нейронів, які моделюються на основі біологічних нейронів людського мозку, приклад побудови такого нейрона зображено на рис. 3.

Людський мозок – це сукупність близько 90 мільярдів взаємопов'язаних нейронів. У свою чергу, кожен нейрон – це клітина, яка викорис-

товує біохімічні реакції для прийому, аналізу та передачі інформації. Коли один із цих нейронів спрацьовує, то один із дендритів отримує позитивний або негативний сигнал. Сильні сторони всіх отриманих зарядів додаються разом у процесі підсумовування. Коли сукупний вхід більший, ніж порогове значення аксона, тоді нейрон спрацьовує, а вихідний сигнал передається по аксону [6]. Дендрити приносять сигнал від інших нейронів, а аксони передають сигнал іншим нейронам. Цей біологічний нейрон використовується для створення штучного нейрона, як показано на рис. 4.

Згортова нейронна мережа розміщує свої нейрони в трьох вимірах. Ці виміри розділяються на ширину, висота та глибину. Вони візуалізуються в одному з шарів. Кожен шар згорткової мережі перетворює вхідний об'єм у вихідний об'єм активацій нейронів [4].

Схема процесу обробки показана на рис. 5. Базова архітектура моделі складається із шести модулів, а саме: Input layer, Feature extractor, Xception model, Fusion Layer, Colorizer Step, Output layer. Вхідне зображення чорно-білого кольору подається як до видобувача функцій, так і до Xception, після обробки вихідний сигнал отримується з колоризатора. Нижче надано схему функціональних можливостей і приклади модулів.

Для поточної моделі, якщо враховувати компонент яскравості зображення, модель оцінює його компоненти  $a1$  й  $b1$ . Об'єднання цих компонентів із

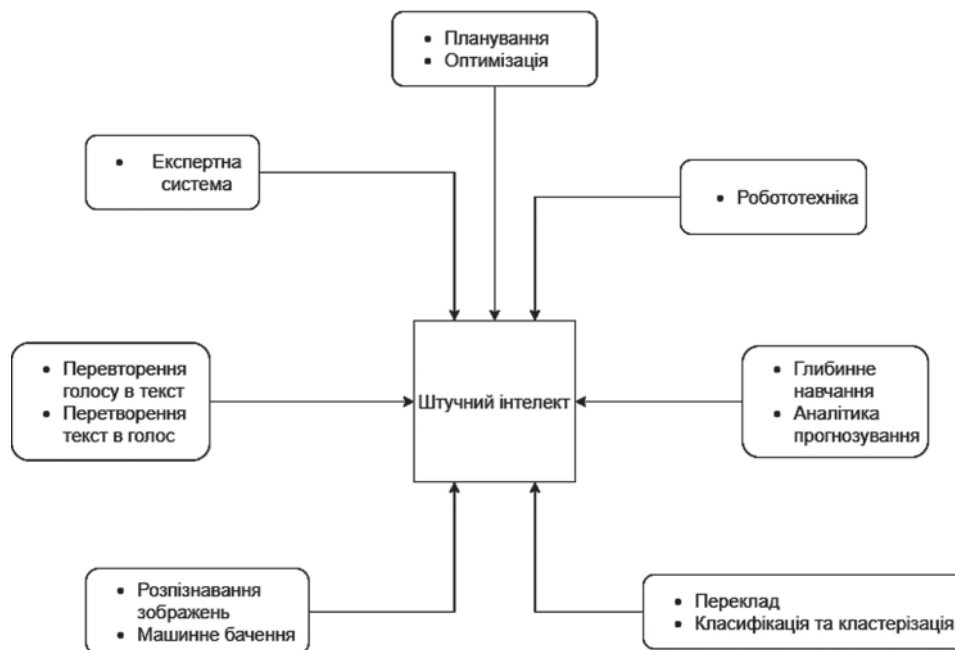


Рис. 2. Підполя, включені до штучного інтелекту

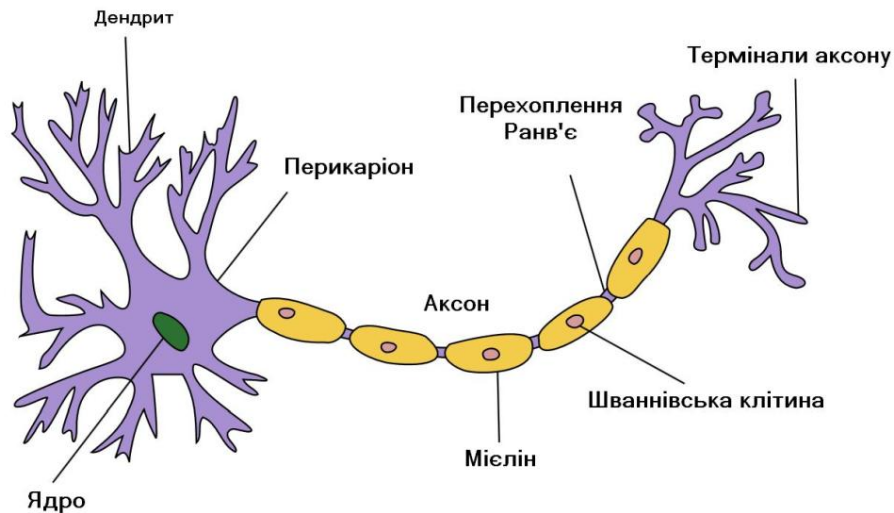


Рис. 3. Будова біологічного нейрона

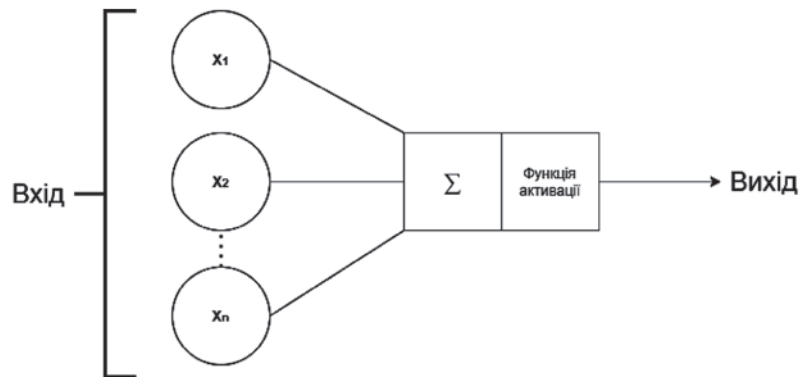


Рис. 4. Штучний нейрон

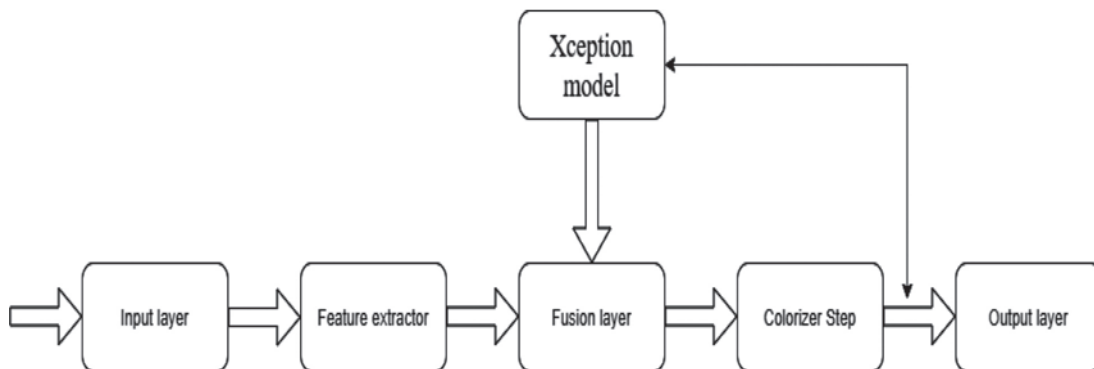


Рис. 5. Схема робочого процесу

вхідними даними, щоб отримати остаточні оцінки кольорового зображення. Xception – це згортова нейронна мережа, яка натренована на більше ніж мільйон картинок із бази даних ImageNet. Замість того щоб тренувати модуль feature extractor із нуля, ми використовуємо мережу Xception та

отримуємо вбудовування зображення чорно-білого кольору з його останнього шару. Нижче наведена архітектура нейронної мережі на рис. 6.

У цій нейронній мережі можна виділити чотири основні складники. Компоненти кодування та feature extractor отримують об'єкти

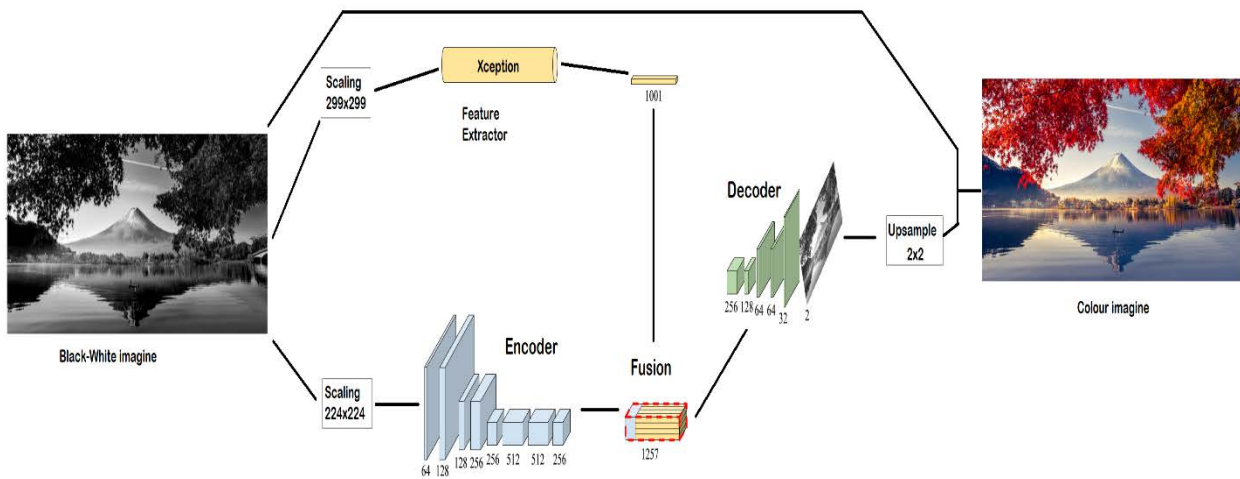


Рис. 6. Огляд архітектури моделі

середнього й високого рівнів відповідно, які потім будуть об'єднані в шарі злиття, а декодер буде використовувати ці функції для майбутньої оцінки виходу.

Після навчання нейронної мережі використано тестовий набір даних для перевірки результату. Результати виправдали очікування статті. Певні оцифровані знімки були близькі до реальних фото. Тим не менше через невеликий розмір набору навчальних даних система працює в тому випадку краще, коли з'являються певні особливі зображення. Наприклад, загальні компоненти, такі як океан чи дерева, тварини, виходять добре забарвлені. Як би там не було, але конкретні специфічні об'єкти виходять не дуже забарвлені. Усе ж такі результати поділилися на дві групи для першої групи зображень, де модель добре попрацювала й оцифровані фото виходять реалістичними, а також друга група зображень, для яких це виявилось неефективними.

**Висновки.** У статті розглянуто та проведено аналіз підходів по кольоризації чорно-білих оцифрованих зображень.

Використано набір кольорових картинок як тренувального набору. Отримано результати, згідно з якими згорткові шари вирішили проблему ідентифікування візерунків на самому зображенні. Цей підхід може ефективно забарвити частини зображення високого рівня й досить великого розміру. Але виконання фарбування невеликих елементів ще потребує покращення. Обробка специфічних знімків виключно спирається на їх конкретний зміст, тобто об'єднання елементів на фото. Коли ця нейронна мережа буде специфікуватися на оцифрованих зображеннях із певної сфери, то потрібно тренувати на ідентичному наборі даних.

У подальшому плануються дослідження, які будуть спрямовані на проектування архітектурного рішення для програмного забезпечення обробки оцифрованих зображень за допомогою хмарних технологій.

#### Список літератури:

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / пер. с англ. 2-е изд., испр. Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2006. 1104 с.
2. Shoghian Sh., Kouzehgar M. A Comparison among Wolf Pack Search and Four other Optimization Algorithms. *World Academy of Science, Engineering & Technology*. 2012. Vol. 6. Issue 72. P. 418–423.
3. Vision-based pose estimation for textureless space objects by contour points matching / X. Zhang, Z. Jiang, H. Zhang, Q. Wei. *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.* 2018. № 54. P. 2342–2355.
4. Object detection with discriminatively trained part-based models / P.F. Felzenszwalb, R.B. Girshick, D. McAllester, D. Ramanan. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 2010. № 32. P. 1627–1645.
5. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические методы и нечеткие системы / пер. с польск. И.Д. Рудинского. Москва : Горячая линия – Телеком, 2004. 452 с.
6. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети : учебное пособие. Москва : Интуит, 2006. 316 с.
7. Zitzler E., Deb K., Thiele L. Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: Empirical results. *Evolutionary Computation*. 2000. Vol. 8. P. 173–195.

### **Tsaruk V.V. COLORIZATION OF DIGITAL BLACK AND WHITE IMAGES USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK**

*In this article we will talk about working with edited black and white photos and integrating this problem with neural networks. Today, after digitizing the old black and white, it is possible to convert such images into color. The first of all that comes to mind is to paint such an image by hand using Photoshop. We can say at once that this approach is not rational, because it takes a lot of time and human resources. In order to paint a human face requires about 17 layers of different shades. To optimize and speed up the work, you can use machine learning methods, namely convolutional neural networks. They are a standard solution for image classification. Compared to other methods of working with the image, they show high accuracy. The main problem of conversion of digitized black-and-white photos is the identification of elements in the image and its corresponding color, which is why in this case the use of convolutional neural networks is an important approach to solve.*

*Let's look at a convolutional neural network that was learned from scratch with high-level Xception functions. The main target of the model is to estimate the components  $a1$  and  $b1$  using the parameter  $V$  of the input image. These components of the restored image are combined with the parameter to obtain an estimated color image. Convolutional layers are a set of filters for training. Filters help us identify patterns that are on the input images. Layers that are closer to the input layer will search for simple patterns. The layers that are placed next to the source layer will be responsible for finding complex complex patterns. As a result of the article, we can conclude that this project, which uses neural networks and shows that in-depth learning can be used for some tasks of coloring a picture and in general when working with a picture. In particular, this approach can effectively color parts of the image of the universal level, such as familiar to all things like: grass, animals, river, trees and the like. But the painting of small elements still needs improvement. That is, the performance of specific digitized images is based solely on their specific content, ie the combination of elements in the photo.*

**Key words:** *convolutional neural networks, digitized black and white photos, biological neurons, artificial intelligence, neuron, perceptron.*



## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 614.841.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/24>

**Семичаєвський С.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Свірський В.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Алімов Б.О.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Стилик І.Г.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

### ЩОДО ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ МАШИННИХ ЗАЛІВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ

У статті проаналізовано причини виникнення пожеж у машинних залах енергетичних підприємств. Акцентовано увагу на тому, що до швидкого катастрофічного розвитку – пожежі турбінного масла й водню, пошкодженню основного обладнання й будівельних конструкцій машинного залу – за статистикою, призводили всі аварійні ситуації, першопричиною яких було механічне руйнування вузлів турбоагрегатів. Ця першопричина зумовила близько 70% пожеж з пошкодженням конструкцій даху в машинних залах електростанцій, із них приблизно дві треті випадків стосуються турбіни (механічне розбалансування, розгін), інші – генератора (пошкодження бандажних вузлів, вихід у двигунний режим). Руйнування турбіни завжди призводять до проливів великої кількості масла, яке супроводжується руйнуванням турбогенератору з викидом водню, пожежами турбінного масла й водню.

Досліджено недоліки наявних систем пожежогасіння енергетичних підприємств. Зазначено, що нині в машинних залах енергетичних підприємств практично відсутні автоматичні системи пожежогасіння, призначені для пожежогасіння, зокрема турбогенераторів. Водночас машинні зали деяких АЕС і ТЕС обладнані автоматичними дренчерними системами водяного (пінного) пожежогасіння маслосмаків, які збудовані за нормами проектування ще радянських часів і відпрацювали свій проектний ресурс. Приведено опис резонансної пожежі, яка сталася в машинному залі котлотурбінного цеху № 1 Вуглегірської ТЕС.

Установлено факти низької ефективності застосування найбільш поширених засобів пожежогасіння, таких як лафетні стволи й первинні засоби пожежогасіння, для ліквідації горіння турбінного масла. Виявлено низьку ефективність автоматичних систем пожежогасіння машинних залів енергетичних підприємств у зв'язку з їх високою інерційністю спрацювання з причини відсутності автоматичного запускання, установлено факти неспрацювання систем у дистанційному та ручному режимах запускання. Наведено конкретні випадки неспрацювань цих систем пожежогасіння на прикладах Білоярської АЕС (Росія), Вірменської АЕС (Вірменія) й АЕС Vandellos (Іспанія).

**Ключові слова:** водень, турбінне масло, енергетичні підприємства, машинні зали, пожежна безпека.

**Постановка проблеми.** У машинних залах енергетичних підприємств України й за кордоном експлуатуються турбогенератори (далі – ТГ) з водневим і воднево-водяним охолодженням різної потужності (від 25 до 1200 МВт) з надлишковим тиском водню в корпусі від 0,05 до 0,5 МПа. Для запобігання витоку водню в місцях виходу

валу, що обертається, з торцевих щитів корпусу з обох сторін ТГ встановлені масляні ущільнення. «Запірання» водню в ущільненнях здійснюється зустрічним потоком турбінного масла в зазорі між вкладишем і валом. Для підведення масла в ущільнення й зливання його передбачається система маслостачання. Для заповнення ТГ воднем

і підтримання заданого надлишкового тиску зсередини корпусу застосовується відповідне обладнання, що утворює газову систему ТГ. Комплекс – корпус ТГ, вузли ущільнень, обладнання газової системи та системи маслопостачання – становить газомасляну систему [1].

Наявність у системах охолодження ТГ горючого й вибухонебезпечного водню в поєднанні з горючим маслом, температура самозаймання якого значно нижче, ніж у водню, власне й становить проблему забезпечення вибухо- та пожежобезпеки в машзалах електростанцій.

Номінальні значення надлишкового тиску водню в корпусах турбогенераторів, установлених на АЕС [1], представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Тиск водню в корпусі ТГ різної потужності**

Тип турбогенератора	Потужність, МВт	Надлишковий тиск водню, МПа
ТВВ-220-2А	220	0,3
ТВВ-500-2У3	500	0,45
ТВВ-1000-4У3	1000	0,5
ТВВ-1000-2У3	1000	0,5

Об'єми масла в баках маслосистем турбоагрегату [1] указано в таблиці 2.

Таблиця 2

**Об'єми масла в маслосистемах турбіни й генератора**

Найменування обладнання	Кількість на блок	Об'єм масла, м <sup>3</sup>	
		На один бак	Всього
Головний маслобак системи змазування й регулювання турбіни	1	127,0	127,0
Демпферний бак системи змазування турбіни	1	3,2	3,2
Демпферний бак маслосистеми ущільнень вала генератора	2	3,2	6,4
Бак брудного масла	1	2,5	2,5
Маслосистема ТПН	2	1,5	3,0
Маслосистема КЕН 2 ступеня	3	1,0	3,0
Доливний бак турбіни	1	2,5	2,5
Бак збирання протікань масла	1	2,5	2,5
Разом			150,1

Показники, що характеризують вибухопожежну небезпеку змащувальних рідин і водню [1] наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Показники, що характеризують вибухопожежну небезпеку змащувальних рідин і водню**

Показники, що характеризують вибухопожежну небезпеку	Змащувальні рідини		Газ у системі охолодження генератора – водень
	ТП-22	ОМТІ	
1. Температура спалаху, °С	180	240	-
2. Температура займання, °С	210–220	340–400	-
3. Температура самозаймання, °С	300–350	559	510
4. Ділянка займання при його концентрації у % до об'єму повітря	-	-	4,12–75,00
5. Мінімальний вибухонебезпечний уміст водню у % до об'єму повітря	-	-	5,0
6. Мінімальна енергія запалення, МДж	-	-	0,02
7. Нормальна швидкість розповсюдження полум'я, м/с	-	-	2,7–3,1

У машинних залах енергетичних підприємств застосовується низка основних принципів, реалізація яких у галузі проектування й експлуатації забезпечила високу надійність ТГ з водневим охолодженням, які експлуатуються в Україні та за кордоном.

Разом із тим досвід експлуатації за останні десятиріччя показує, що на електростанціях, у тому числі і на атомних, трапляються великі аварії з катастрофічними наслідками – пожежами, значними пошкодженнями й (або) руйнуванням ТГ і будівельних конструкцій машинних залів – унаслідок пошкодження ТГ й горіння водню та масла [1; 2].

Крім вищезазначеного, варто відмітити, що наявний комплекс заходів щодо забезпечення пожежної безпеки в машинних залах АЕС (ТЕС) має низку суттєвих недоліків.

Таким чином, нині питання забезпечення пожежної безпеки машинних залів енергетичних підприємств залишається актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто джерела інформації [1–13], які розкривають

питання пожежної безпеки машинних залів енергетичних підприємств, зокрема в частині аналізу основних причин виникнення пожеж у машинних залах і наявного стану систем проти-пожежного захисту.

**Постановка завдання.** Метою роботи є аналіз пожежної безпеки машинних залів енергетичних підприємств і виявлення основних недоліків систем пожежогасіння турбоустановок цих підприємств.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Досвід експлуатації за останні десятиріччя показує, що на АЕС і ТЕС трапляються великі аварії з катастрофічними наслідками – пожежами, значними пошкодженнями та руйнуванням турбогенераторів і будівельних конструкцій машинних залів – унаслідок пошкодження турбогенераторів і горіння водню й турбінного масла [1–5].

Статистика аварій з пожежами й руйнуванням машинного залу [1] свідчить про те, що пожежі в машинному залі виникають із причини:

- недостатньої кваліфікації експлуатаційного оперативного персоналу;
- низької якості ремонту, помилок ремонтного персоналу та порушень ними технічних вимог щодо ремонту обладнання й систем;
- недоліків конструкції обладнання і систем, що забезпечують його роботу, їх фізичного зношування;
- відсутності досконалих засобів виявлення та гасіння пожеж.

Порушення в газомасляній системі й ущільнень валів генераторів без їх пошкодження є першопричиною масштабних пожеж.

Найбільшу небезпеку за швидкістю й масштабістю становлять аварії з обривом лопаток турбіни, з вібрацією, що зростає, роторів валопроводу турбогенератора, пошкодженням його підшипників та ущільнень валу генератора й виникненням пожежі.

Аналіз причин аварійних ситуацій і їх наслідків [1] показав, що до швидкого катастрофічного розвитку – пожежі турбінного масла та водню, пошкодження основного обладнання та будівельних конструкцій машинного залу – призводили всі аварійні ситуації, першопричиною яких було механічне руйнування вузлів турбоагрегатів. Ця першопричина зумовила близько 70% пожеж з пошкодженням конструкцій даху в машинних залах електростанцій, із них приблизно дві третини випадків стосуються турбіни (механічне розбалансування, розгін), інші – генератора (пошкодження бандажних вузлів, вихід у двигунний

режим). Руйнування турбіни завжди призводять до проливів великої кількості масла, яке супроводжується руйнуванням турбогенератора з викидом водню, пожежами турбінного масла та водню.

Наступними за значимістю є розуцільнення напірних маслопроводів (фонтанування й витіки турбінного масла з просоченням теплоізоляції) та розуцільнення системи водневого охолодження турбогенератора – витіки, які призводять до накопиченню воднево-повітряної суміші. Витіки турбінного масла із загоранням мали катастрофічні наслідки – пожежі – приблизно в 17% випадків. Витіки водню із загоранням мали катастрофічні наслідки – вибухи та пожежі – приблизно у 18% випадків, у тому числі вибухи із загибеллю людей – у 6% випадків.

При змішуванні водню, який горить з турбінним маслом, що витікає зі зруйнованих через вібрацію маслосистем, утворювався газомасляний факел з температурою більше 2000°C, висота якого досягала металоконструкцій даху машзала.

У результаті впливу такої температури металоконструкції втрачали стійкість та відбувалося їх обвалення.

Такі серйозні аварії мали місце на таких електростанціях [14, с. 2]:

- Екібастузькій ГРЕС (Казахстан);
- енергоблоці № 2 Чорнобильської АЕС (Україна);
- Вуглегірській ТЕС ПАТ «Центренерго» (Україна);
- Конаківській і Новочеркаській ГРЕС (Росія);
- Улан-Уденській ТЕЦ-1 (Росія);
- Сирдар'їнській ГРЕС (Узбекистан);
- АЕС Palisades (США);
- АЕС Maanshan (Тайвань);
- АЕС Vandellos (Іспанія);
- АЕС Narora (Індія) тощо.

Досвід експлуатації показав, що нині на АЕС і ТЕС у машинних залах практично відсутні автоматичні системи пожежогасіння [6–7], призначені для пожежогасіння, зокрема турбогенераторів, які вимагаються згідно з НАПБ В.01.061–2011/111 [8]. Разом із тим машинні зали деяких АЕС і ТЕС обладнані автоматичними дренчерними системами водяного (пінного) пожежогасіння маслосистем, які збудовані за нормами проектування ще радянських часів і відпрацювали свій проектний ресурс.

Одним із головних недоліків цих систем є те, що вони мають в основному дистанційне запускання, що може здійснюватися зі щитів управління й інших приміщень, де є постійний вартівний персонал і ручне запускання й управління

запірно-пусковими пристроями, що здійснюється з доступних і безпечних при пожежі місць. Зазвичай автоматичне запускання системи пожежогашіння, що має здійснюватися, зокрема, від автоматичної пожежної сигналізації та дублювати дистанційне й ручне запускання, у машинних залах АЕС і ТЕС відсутнє.

За статистикою пожеж у машинних залах АЕС і ТЕС, відомі випадки неможливості дистанційного запускання автоматичної системи пожежогашіння з причини, наприклад, відсутності електроживлення, пошкодження вогнем кабелів систем управління тощо. Також мали місце випадки недоступності ручного запускання з причини впливу небезпечних факторів пожежі на людину.

Крім того, відсутність автоматичного запуску вищевказаних систем пожежогашіння впливає на втрату часу в разі виявлення загоряння персоналом і прийняття ним рішення про пуск системи пожежогашіння кнопкою дистанційного пуску або вручну. Тобто необхідно враховувати людський фактор. З огляду на це, має місце збільшення інерційності запуску автоматичних систем пожежогашіння під час пожежі.

Так, основною особливістю катастрофічного розвитку ситуації є швидкість розвитку пожежі: від двох до п'яти хвилин факельного горіння струменя масла й водню достатньо для нагріву до критичної температури (близько 500 °С), утрати стійкості та обвалення несучих конструкцій машинного залу [9].

На основі аналізу статистичної інформації встановлено, що проміжки часу від виявлення загоряння персоналом до початку розвантаження блоку й до відключення генератора становлять від однієї до чотирьох хвилин [9].

Ці часові характеристики висувають високі вимоги до часу спрацювання автоматичної пожежної сигналізації, а також до введення в дію ручних засобів охолодження несучих металоконструкцій машинного залу.

Якщо врахувати значну інерційність димових пожежних сповіщувачів, які застосовуються, що перевищує 60 с, та інерційність засобів подавання води в осередок пожежі до 30 с, то стане ясно, що проблематично своєчасно (менше ніж за дві хвилини) привести в дію засоби охолодження.

Що стосується ефективності активного захисту ферм машинного залу шляхом зрошення водою з лафетних стволів, то має місце її зниження через велику втрату часу й неможливість точного попадання струменя води в осередок найбільшого нагріву ферм в умовах задимлення машинного

залу та поганої видимості. Більшість води проливається в машинний зал, не досягаючи осередку ферм і не охолоджуючи останніх.

Вогнезахисні покриття несучих металоконструкцій, що застосовуються, дають змогу довести їх межу вогнестійкості до 45 хвилин, що має суттєво підвищити результативність дій персоналу з охолодження несучих металоконструкцій за допомогою лафетних стволів за умови достатності витрати води. Але пасивний захист металоконструкцій від перегріву вогнезахисними покриттями забезпечує задану вогнестійкість при рівномірному нагріві та є проблематичним при нерівномірному нагріві елементів просторових ферм.

Сам принцип використання лафетних стволів для охолодження металоконструкцій машинного залу за потужних теплових потоків, що впливають на металоконструкції покрівлі й колон, не є досконалим, оскільки він спрямований на зниження наслідків пожежі, а не на гасіння пожежі та пригнічення цих теплових потоків, тобто малоефективний.

Характерним прикладом вищевказаного є резонансна пожежа, яка сталася 29 березня 2013 року в машинному залі котлотурбінного цеху № 1 Вуглегірської ТЕС. Унаслідок порушень ущільнень фланцевих з'єднань маслосистеми турбогенератора № 2 відбулося розлиття турбінного масла на площі 460 м<sup>2</sup> і подальше її горіння. Було знищено покрівлю машзалу на площі 10880 м<sup>2</sup>, а також технологічне обладнання цеху. У результаті пожежі постраждало 11 осіб та 1 особа загинула.

Стационарні схеми керування пожежогашіння, що мали дистанційний і ручний способи запуску, не забезпечили своєчасне включення установок пінного пожежогашіння маслобаків з причини відсутності електроживлення.

Гасіння пожежі силами обслуговуючого персоналу цеху за допомогою лафетних стволів і первинних засобів пожежогашіння виявилось мало ефективним за рахунок відносної недоступності осередку пожежі та швидкого її поширення. Треба відмітити, що, за статистикою, під час гасіння пожеж у машинних залах, пов'язаних з горінням, зокрема турбінного масла, лафетні стволи є найбільш поширеним засобом пожежогашіння.

Другим характерним прикладом неспрацювання автоматичної системи пожежогашіння в машинному залі є пожежа на Білоярській АЕС, яка сталася 31 грудня 1978 року.

Наявна система пінного пожежогашіння з дистанційним запусканням у момент виникнення пожежі не була приведена в дію персоналом станції у зв'язку з пошкодженням вогнем кабелів

систем управління, а ручне запускання системи, що знаходилося в зоні сильного задимлення, не дало змоги обслуговуючому персоналу запустити її.

Під час пожежі на Вірменській АЕС 15 жовтня 1982 року в машинному залі обслуговуючий персонал намагався дистанційно включити установку пінного пожежогасіння, яка не спрацювала.

За кордоном факт неспрацювання автоматичної системи пожежогасіння з дистанційним запусканням мав місце під час пожежі в машинному залі на АЕС Vandellos (Іспанія) 19 жовтня 1989 року.

Відомі випадки недостатньої ефективності систем автоматичної пожежної сигналізації з причини несвоєчасного їх спрацювання [9–13]. Це було наслідком того, що серія зареєстрованих пожеж не були великими за розмірами й інтенсивності. Однак питання надійності й ролі автоматичних сповіщувачів залишається важливим.

**Висновки.** Отже, на основі викладеного можемо резюмувати таке:

1. Виявлено, що першопричиною аварійних ситуацій є механічне руйнування вузлів турбоагрегатів, що зумовила близько 70% пожеж з пошкодженням конструкцій даху в машинних залах АЕС і ТЕС.

2. Установлено факти низької ефективності застосування найбільш поширених засобів пожежогасіння, таких як лафетні стволи та первинні засоби пожежогасіння, для ліквідації горіння турбінного масла.

3. Виявлено низьку ефективність автоматичних систем пожежогасіння машинних залів АЕС і ТЕС у зв'язку з їх високою інерційністю спрацювання з причини відсутності автоматичного запускання, установлено факти неспрацювання систем у дистанційному та ручному режимах запускання.

#### Список літератури:

1. Сравнительный анализ аварийных ситуаций, пожаров и взрывов в машзалах АЭС, электростанциях РАО ЕЭС при нарушениях в работе турбогенераторов с проливом масла и утечкой водорода: Технический отчет / ОАО «ВНИИАЭС». Москва, 2008. 88 с.
2. Обзор аварийных ситуаций, пожаров и взрывов на электростанциях РАО «ЕЭС России», в машинных залах АЭС России и Украины с анализом причин, способствующих факторов и возможностей предупреждения. Научно-технический отчет ОАО «ВНИИАЭС». Москва, 2008.
3. Голоднова О.С. О факторах, способствующих повышению риска крупных техногенных аварий. *Вести в электроэнергетике*. 2010. № 1. С. 3–10.
4. Математичне моделювання вогнестійкості несучих металевих конструкцій машинних залів електростанцій / М.М. Семерак, А.В. Субота, В.М. Новак, В.М. Байтала. *Пожежна безпека* : збірник наукових праць. Львів : ЛДУБЖД, 2012. № 21. С. 7–11.
5. Семерак М.М. Термостійкість несучих конструкцій машинних залів АЕС при горінні водню. *Пожежна безпека* : збірник наукових праць. Львів : ЛДУБЖД, 2011. № 19. С. 1–7.
6. Хмельницкая АЭС. Энергоблок № 2. Модернизация. Главный корпус. Турбинное отделение. Мероприятие 29112. Разработать и реализовать систему по сигналу «пожар» сброса водорода из корпуса генератора за пределы машзала. Этап 1. Технические предложения / КИЭП. 2007.
7. Жаров А.П., Беликова Н.З., Келлер В.Д. Противопожарная система для турбоагрегатов энергоблоков ТЭС. *Электрические станции*. 2001. № 6. С. 43–46.
8. НАПБ В.01.061-2011/111 Протипожежний захист машзалів електростанцій. Правила проектування та експлуатації протипожежного устаткування. 2011.
9. Разработка технических предложений по системам и устройствам локализации возможных пожаров на турбогенераторах с водородным охлаждением (применительно к энергоблоку ВВЕР-1000): Технический отчет / ОАО «ВНИИАЭС». Москва, 2008. 84 с.
10. Микеев А.К. Пожары на радиационно-опасных объектах. Факты. Выводы. Рекомендации. Москва : ВНИИПО МВД России, 2000. 346 с.
11. Технические предложения по повышению пожарной безопасности машзплов АЭС и устойчивости их строительных конструкций при пожаре / КИЭП-ТППБ. 1993.
12. Определение сценариев возможных пожаров в машзалах АЭС, связанных с проливом масла и утечкой водорода по теме: Разработка технических предложений для повышения пожарной безопасности турбогенераторов в водородном охлаждении. Москва, 2008.
13. Разработать мероприятия по повышению огнестойкости несущих конструкций машзалов Балаковской АЭС. Отчет о научно-исследовательской работе ВНИИАЭС, ВНИИПО. Москва, 2008.

**Semichaevsky S.V., Svirsky V.V., Alimov B.O., Stylyk I.G. ON FIRE DANGER OF TURBINE ROOMS OF ENERGY ENTERPRISES**

*The article analyzes the causes of fires in the turbine rooms of energy companies. Emphasis is placed on the fact that all accidents, the primary cause of which was the mechanical destruction of turbine units, led to rapid catastrophic development – fires of turbine oil and hydrogen, damage to the main equipment and building structures of the turbine rooms. This root cause caused about 70% of fires with damage to roof structures in the turbine rooms of power plants. Of these, about two-thirds of the cases relate to the turbine (mechanical imbalance, acceleration), and others – to the generator (damage to the bandages, entering the engine mode). The destruction of the turbine always leads to spills of large amounts of oil, which is accompanied by the destruction of the turbogenerator with hydrogen emissions, fires of turbine oil and hydrogen.*

*The shortcomings of the existing fire extinguishing systems of energy enterprises are investigated. It is noted that at present in the turbine rooms of energy companies there are virtually no automatic fire extinguishing systems designed for firefighting, including turbogenerators. At the same time, the turbine rooms of some NPPs and TPPs are equipped with automatic drencher systems for water (foam) fire extinguishing of oil tanks, which were built according to the design standards of the Soviet times and have exhausted their design resource. A description of the resonant fire that occurred in the turbine room of the boiler-turbine shop №1 of Uglehirska TPP is given.*

*The facts of low efficiency of application of the most widespread means of fire extinguishing, such as gun barrels and primary means of fire extinguishing for elimination of burning of turbine oil are established. The low efficiency of automatic fire extinguishing systems of turbine rooms of energy enterprises due to their high inertia due to the lack of automatic start is revealed, the facts of system failure in remote and manual start modes are established. Specific cases of failure of these fire extinguishing systems are given on the examples of Beloyarsk NPP (Russia), Armenian NPP (Armenia) and Vandellos NPP (Spain).*

**Key words:** energy companies, fire hazard, hydrogen, turbine oil, turbine rooms.

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК [622.236.4:622.215.1].001.6

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/25>

**Коновал В.М.**

Черкаський держаний технологічний університет

**Ищенко К.С.**

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України

### НОВІ ПІДХОДИ ДО ВІДДІЛЕННЯ МОНОЛІТНИХ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ ВІД СКЕЛЬНОГО МАСИВУ

*Результати досліджень дозволили запропонувати нові підходи до збільшення виходу товарних блоків із гірського масиву за допомогою мінімізації технологічних втрат блокової продукції на родовищах зі складним заляганням природних блокових структур, обмежених системами круто- і пологоспадних тріщин, що сприятиме підвищенню продуктивності і зниженню собівартості відділення монолітів від масиву за рахунок обґрунтування оптимальної висоти видобувного уступу. Розроблено методика, згідно з якою проведено теоретичні дослідження щодо забезпечення максимального виходу товарних блоків із масиву, розраховані основні величини початкових тисків і деформацій від дії вибуху шпурового (свердловинного) заряду димного пороху. Експериментально в полігонних умовах дано оцінку ефективності роботи комбінованого шпурового заряду димного пороху з розколювання піщано-цементних блоків. Методами фотопланіметрії в промислових умовах Капустянського гранітного кар'єру м. Новоукраїнка Кіровоградської обл. отримано картограму тріщинуватості фронтальної площини моноліту, за результатами якої проведено розрахунки раціональної висоти і довжини моноліту на уступі блоку з урахуванням розташування і характеристики тріщинуватості гранітного масиву. Із використанням запропонованої схеми та методики розрахунку, в якій висота і довжина моноліту виражається як чисельні значення кількості пологих і круто спадних блоків, розділених системою тріщин, дозволили розрахувати їх технологічні параметри, а також отримано геометричні рівняння в параметричному вигляді, що зв'язують початкові лінійні параметри моноліту з гірничо-геометричними параметрами тріщинуватості масиву. Використання обґрунтованих параметрів нової скоригованої технології відділення блоків природного каменю від масиву дозволить збільшити вихід придатної до використання товарної продукції на 40%.*

**Ключові слова:** свердловина, шпур, вибух, комбінований заряд димного пороху, монолітний блок, поверхня уступу, тріщинуватість

**Постановка проблеми.** Динамічний розвиток будівельної галузі у світі і в Україні потребує значних заощаджень в інноваційних розробках технологій видобутку будівельних матеріалів, до яких належить природний камінь. Природний камінь, у складі якого присутній різного типу і кольору граніт, займає особливе місце серед великої номенклатури будівельних матеріалів. За останні 70 років світове виробництво природного каменю збільшилась майже у 25 разів, при цьому протягом останніх двадцяти років щорічний приріст виробництва і споживання каменю в середньому становив 7,4%. За прогнозними оцінками у найближчі десятиліття це зростання продовжиться і світовий видобуток каменю збільшиться більше ніж у 4 рази.

Магматичні гірські породи, до яких належить природний камінь, через властиву їм високу міцність розробляються вибуховим способом, причому витрати коштів на буропідривні роботи становлять не менше 25–30% від собівартості отриманої продукції. Технологія відділення блоків від масиву для виробництва облицювального і будівельного матеріалу значно залежить від фізико-механічних властивостей, дефектів будови (мікротріщин) та просторового орієнтування породоутворювальних мінералів (мікроструктури) і від тріщинуватості гірського масиву, що руйнується (макроструктури). Мікроструктура і макроструктура магматичної полімінеральної гірської породи, тобто частота розташування макро-

тріщин, їх морфологія і просторове положення, мають вирішальний вплив на характер розповсюдження тріщин у масиві під час підготовки до відділення моноліту на стадії квазістатичної дії вибуху. Як наслідок, саме мікроструктура полімінерального середовища впливає на якість відділеного блоку, тобто придатність до подальшого використання товарної продукції в будівництві.

#### **Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Як зазначалося вище, інтрузивні породи та їх різновиди, до яких входить граніт, є основною природної сировинної бази для отримання облицювального і будівельного матеріалу. Він міцний, нескладний в обробці і, головне, має безліч кольорових відтінків. Не дивлячись на те, що його запаси в країнах співдружності значно перевищують запаси країн далекого зарубіжжя, їх видобуток і обробка відстають у 3–4 рази порівняно з Італією, Бельгією, США, Великобританією. Його споживання вже давно перевищує 500 млн м<sup>3</sup>, а обіги його продажу обчислюються десятками мільярдів доларів. Починаючи з 90-х років минулого століття, споживання природного каменю в Україні і країнах співдружності зростає в середньому на 10–12% у рік. Таке стрімке зростання попиту на природний камінь аж ніяк не означає аналогічних темпів розвитку вітчизняного видобутку та обробки каменю [1].

Однак через низький технічний рівень підприємств галузі, зумовлений відсутністю ефективних засобів видобутку і обробки міцних порід, ці природні багатства використовуються недостатньо. Потреби народного господарства країн співдружності у виробках із природного каменю забезпечуються лише на 10–15%, а запиту експорту – на 5–10%.

Що ж стосується України, то для повного задоволення потреби народного господарства в архітектурних, облицювальних і будівельних виробках із природного каменю необхідним є залучення в розробку родовищ, як тріщинуватих, так і обводнених скельних порід. При цьому розвиток каменеобробних галузей промисловості потрібно розглядати як одне з перспективних завдань, вирішення якого можливе за рахунок упровадження сучасної технології його відділення від масиву і високопродуктивного обладнання з його обробки, що є актуальним науково-прикладним завданням, вирішенню якого і присвячена ця робота.

Установлено, що інтенсивність видобутку блокового природного каменю в масивах обводнених, тріщинуватих порід неможливо збільшити без переходу на спосіб відділення монолітів від масиву свердловинними зарядами, наприклад димного

пороху, з подальшим збільшенням висоти уступу до 6,0 м [2]. Звідси випливає й основна вимога до кар'єрів блокового природного каменю – якості ведення гірничих робіт, яке полягає в збереженні цілісності (монолітності) масиву, що розробляється, а недосконала технологія видобутку блокового природного каменю буропідривним способом є однією з головних причин низького виходу блоків на кар'єрах.

Вітчизняними і закордонними вченими проведено низку досліджень у промислових умовах, які дозволили отримати цікаві результати. Вони показали, що ефективність видобутку гранітних блоків відкритим способом залежить від вибору тієї чи іншої технологічної схеми, яка містить облік розмірів природних блоків каменю, що містяться в масиві і визначаються показниками тріщинуватості [3–6].

Установлено, що за блоками природного походження і тріщинуватості масиву визначається можливість і економічна доцільність розробки родовищ облицювального каменю. Отже, гірничо-геометричний аналіз структури масиву не тільки становить теоретичний інтерес, а і має велике практичне значення. Із цього випливає, що структура масиву становить геометричну безліч його монолітних частин, а також у результаті формування в масиві гірських порід мережі природної тріщинуватості. Так, природний структурний блок, обмежений тріщинами, має форму прямої або похилої призми. Отже, на форму природного блока впливають геометричні характеристики залягання тріщин в масиві – азимут простягання і кут падіння, а на його обсяг – відстань між основними системами тріщин [7]. Таким чином, структура гірського масиву може бути описана як параметрами природної тріщинуватості, так і параметрами природної блоковості, які в сукупності визначають поточний прогноз виходу товарних блоків із масиву.

На практиці в більшості випадків причина невисокого використання потенціалу родовищ облицювального каменю полягає в недостатній відповідності застосовуваної технології видобутку блоків структурними особливостями породного масиву, що розробляється. Процентний уміст різних за обсягом природних блоків у масиві, а також їх форма визначають економічну доцільність застосування одно- або двостадійної схеми видобутку каменю. Необхідність застосування двостадійної технології видобутку зумовлена складним заляганням природних тріщин на родовищі, коли природний блок, із якого складається масив, утворений декількома системами



крутоспадних тріщин і системою первинно-пластових (пологоспадних) тріщин. Як показує досвід, двостадійна технологія особливо ефективна при розробці родовищ коли товща гірських порід має незначну тріщинуватість. До таких родовищ належать родовища групи мармурів, які відпрацьовуються за двостадійною схемою (більше 90%).

Що ж стосується породних масивів групи гранітів, то вони розбиті трьома системами розвинених, майже ортогональних одне до одного тріщин із різними відстанями між тріщинами. Першу систему утворюють пластові тріщини, що мають горизонтальне або з незначним нахилом залягання (кут падіння становить 5–15°). До другої і третьої систем належать поздовжні і поперечні тріщини, які мають майже вертикальне падіння. На їх частку припадає 40–50 і 25–30% від загальної кількості тріщин відповідно.

Родовища блокового каменю, до яких належать граніти, – це міцні гірські породи з розвинутою анізотропією фізико-механічних властивостей, їх доцільно розробляти з використанням шпурових (свердловинних) зарядів металюї вибухової речовини (димний порох). Застосовують й іншу технологію вибухового відділення первинного моноліту з використанням трубок Forsit [8]. Детонація при цьому поширюється послідовно частинами блоку, тому такий спосіб підривання майже не впливає на блоковість каменю.

Для забезпечення високої інтенсивності видобутку блоків природного каменю необхідно забезпечити достатні темпи просування фронту гірничих робіт із випередженням їх на розкривному горизонті. Тому підривання скельних порід розкривання на кар'єрах найбільш часто роблять за схемою з попереднім оконтурюванням. Сутність цієї схеми підривання полягає в тому, що частина масиву руйнується вибухом контурних вертикальних і горизонтальних розосереджених свердловинних зарядів ВР, наприклад, амоніту № 6ЖВ.

Цей традиційний спосіб підривання за схемою з попередньою контурною відбійкою порід не забезпечує надійного збереження монолітності масиву, що відбивається, в якому під дією ударної хвилі з'являються радіальні тріщини, що неприпустимо при виробництві розкривних робіт на родовищі, яке готували до розробки на блоковий камінь. Крім цього, необхідність буріння і заряджання як вертикальних, так і горизонтальних свердловин, зумовлює високу трудомісткість способу.

Для реалізації ресурсозберігальної технології відділення блоків природного каменю від масиву скельних гірських порід нами запропоновано новий

підхід до вибухового відділення монолітів від скельного масиву, заснований на використанні конструкції комбінованого шпурового (свердловинного) заряду ВР для розколювання блока, що дозволяє сформувати спрямовану мережу тріщин як у монолітній, так і в тріщинуватій породі, в напрямку розташування орієнтованих шпурів (свердловин).

Робота виконується відповідно до комплексної програми Національної академії наук України з розробки безвідходних технологій видобування корисних копалин відкритим способом «Наукове обґрунтування розвитку безвідходних технологій видобування корисних копалин відкритим способом зі зменшенням їх шкідливого впливу на навколишнє середовище» (№ ДР 0120U101113).

**Постановка завдання.** Метою роботи є обґрунтування експериментальними і теоретичними дослідженнями раціональних параметрів нової ресурсозберігальної технології відділення моноліту від скельного масиву енергією вибуху.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для обґрунтування раціональних параметрів коригованої технології руйнування гірських порід під час відділення блоків від масиву необхідно провести теоретичні дослідження щодо забезпечення максимального виходу товарних блоків із масиву, розрахувати основні величини початкових тисків і деформацій від вибуху шпурового (свердловинного) заряду димного пороху; експериментальними дослідженнями на піщано-цементних моделях блокової структури встановити основні особливості їх руйнування комбінованим зарядом димного пороху, які будуть враховані під час обґрунтування раціональних параметрів нової технології відділення монолітів від скельного масиву.

Практикою ведення видобувних робіт на гранітних кар'єрах доведено ефективність використання двостадійної схеми з відділенням моноліту від масиву на першому етапі й оброблення блоку перекинутого моноліту на робочу площадку – на другому, яка добре зарекомендувала себе під час видобутку мармурової сировини на кар'єрах країн співдружності. При цьому головною метою двостадійної технології також залишається забезпечення підвищення виходу товарних блоків в умовах складної конфігурації залягання природних тріщин у масиві за рахунок обґрунтованого вибору лінійних розмірів блоку моноліту.

Припустимо, що природний гранітний блок, узятий як приклад для обґрунтування скоригованої технології відділення від масиву (Капустянський

гранітний кар'єр, м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл.), представлені сіро-червоним, а також насиченим червоним крупнозернистої структури гранітом, що має у своїй товщі чітко виражені червоні кристали мікрокліну міцністю  $f=12-14$  балів за шкалою проф. М.М. Протод'яконова. Він обмежується площинами трьох майже взаємоортогональних і найбільш розвинених у масиві систем тріщин, до яких належить система пологоспадних і дві системи крутоспадних тріщин.

Для визначення висоти і довжини моноліту на уступі блоку розглянемо фронтальну (поздовжню) площину моноліту так, щоб сліди першої основної (пологоспадних) системи тріщин і другої основної (крутоспадної) системи на фронтальну площину становили лінії падіння цих тріщин. Для цього за отриманою картограмою тріщинуватості фронтальної площині моноліту, яка є проєкціями природних блокових структур, обмежених площинами під час відділення моноліту від масиву, будуємо прямокутники, одна зі сторін яких збігається з напрямком системи тріщин, що мають мінімальні між собою відстані, тобто максимальне їх розповсюдження в масиві. Тоді для мінімізації втрат обсягів природного каменю, що становить моноліт, проведемо обґрунтування основних технологічних параметрів розробки: висоти уступу, геометричних параметрів моноліту згідно зі структурними особливостями гранітного масиву.

Скористаємося запропонованою в роботі [9] розрахунковою схемою, в якій висота і довжина моноліту представлена як чисельні значення кількості пологоспадних і крутоспадних блокових структур, розділених системою тріщин, які дозволять розрахувати технологічні параметри. Із вищесказаного випливає, що за висоту моноліту беремо відстань, яка кратна числу пологоспадних блокових структур, а довжина моноліту визначається числом, кратним крутим, і пологоспадних окремих блокових структур у межах фронтальної площини моноліту.

Отже, згідно з розробленою методикою розрахунку ми отримали геометричні рівняння в параметричному вигляді, що зв'язують шукані лінійні параметри моноліту з гірничо-геометричними параметрами тріщинуватості масиву:

$$H_y = H_m = n_n l_n \sin \delta_k / \sin \gamma, \quad (1)$$

$$L_m = n_k \frac{l_k}{\sin \delta_k} + n_n \frac{l_n}{\sin \gamma} \cos \delta_k, \quad (2)$$

$$k_{т.п} = \frac{[(n_n l_n)^2 \sin \delta_k \cos \delta_k] / (\sin \gamma)^2 + l_k^2 n_k \operatorname{ctg} \delta_k + n_n n_k l_k^2 \operatorname{ctg} \gamma}{H_m L_m}, \quad (3)$$

де  $n_k$  і  $n_n$  – кількість окремих блокових структур круто- і пологоспадних тріщин масиву, шт.;

$\delta_n$  – кути падіння круто- і пологоспадних систем тріщин, град;  $\gamma$  – кут між круто- і пологоспадними системами тріщин, град;  $l_k$  і  $l_n$  – відстань між круто- і пологоспадними системами тріщин, м;  $k_{т.п}$  – коефіцієнт відносних технологічних втрат блокової продукції.

А сумарні відносні технологічні втрати природного блокового каменю запишемо у вигляді функції висоти уступу (1). У результаті вираз (3) отримує такий вигляд:

$$k_{т.п} = \frac{H_y^2 \operatorname{ctg} \delta_k + H_y (l_k^2 / l_n) n_k (\cos \gamma / \sin \delta_k) + n_k l_k^2 \operatorname{ctg} \delta_k}{H_y (H_y \operatorname{ctg} \delta_k + n_k l_k / \sin \delta_k)}, \quad (4)$$

Отже, екстремум технологічних втрат відповідає умові

$$\delta k_{т.п} / \delta H_y = 0, \quad (5)$$

за якою можна описати залежність для розрахунку оптимальної (з мінімальними технологічними втратами блокового каменю) висоту уступу:

$$H_y^{оп} = \frac{l_k \left\{ \cos \delta_k + \sqrt{(\cos \delta_k)^2 + n_k [1 - (l_k / l_n) \cos \gamma]} \right\}}{1 - (l_k / l_n) \cos \gamma}, \quad (6)$$

Оптимальну висоту уступу розрахуємо з виразу (2), а раціональну довжину моноліту з

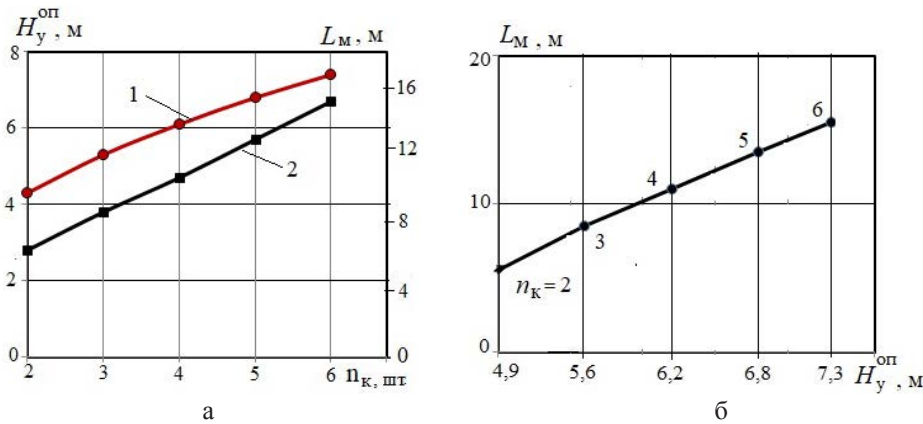
$$L_m = n_k \frac{l_k}{\sin \delta_k} + H_y^{оп} \operatorname{ctg} \delta_k, \quad (7)$$

Використовуючи вирази (6) і (7) при встановленому чисельному значенні  $n_k$ , що характеризує тріщинуватість масиву, розрахуємо оптимальне значення висоти уступу і раціональне значення довжини моноліту, які забезпечують мінімальні технологічні втрати блоків природного каменю, тобто максимальний їх вихід для гірничо-геологічних умов Капустянського гранітного кар'єру (м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл.) (рис. 1).

За розробленою методикою для умов Капустянського гранітного кар'єру (м. Новоукраїнка, Кіровоградська обл.) при  $\delta_k = 62^\circ$ ;  $\gamma = 60^\circ$ ;  $l_k = 1,8$  м;  $l_n = 1,95$  м розраховані оптимальні параметри виділень монолітного блоку: для  $n_k = 3$  –  $H_y^{оп} = 5,8$  м,  $L_m = 8,5$  м,  $m_m = 1,67$  м;  $n_k = 4$ ,  $H_y^{оп} = 6,0$  м,  $L_m = 9,8$  м,  $m_m = 1,69$  м.

Для встановлення основних параметрів руйнування блокових гірських порід під час відділення їх від масиву проведемо теоретичні дослідження і виконаємо розрахунки основних величин початкових тисків і деформацій від вибуху комбінованого шпурового (свердловинного) заряду димного пороху в разі впливу його на породу, ініційованого як у режимі звичайного горіння, так і в режимі вибухового розкладання.

Експериментально підтверджено, що в разі спрацювання димного пороху у свердловині,



**Рис. 1. Залежність зміни оптимальної висоти уступу і раціональної довжини моноліту (а) від кількості в ньому крутоспадних блокових структур (1 –  $H_y$ ; 2 –  $L_M$ ) і оптимальної висоти уступу від раціональної довжини моноліту і кількості в ньому крутоспадних блокових структур (б) –  $\delta_k = 62^\circ$ ;  $\gamma = 60^\circ$ ;  $l_k = 1,8$  м;  $l_n = 1,95$  м**

ініційованого вогнепровідним шнуром (далі – ВПШ) за допомогою традиційного горіння, електрозапалювальним патроном типу (ЕЗП-Б) швидкість горіння становить 400 м/с [10].

Для визначення тиску продуктів горіння димного порошу, скористаємось емпіричним виразом [11],

$$P = \left( \frac{U - A}{b} \right)^{\frac{1}{v}} \quad (8)$$

де  $U$  – лінійна швидкість горіння порошу (400 м/с);  $A, b, v$  – константи.

Слід зазначити, що формула (8) може бути застосована для розрахунку величини тиску в інтервалах  $5 \cdot 10^5 \div 2,5 \cdot 10^8$  Па. Підставляючи у формулу (8) значення констант  $A = 1,5 \cdot 10^2$ ,  $b = 0,2 \cdot 10^2$ ,  $v = 0,47$ , при лінійній швидкості горіння порошу 400 м/с тиск вибуху в шпурі (свердловині) складатиме

$$P = \left( \frac{400 - 1,5 \cdot 10^2}{0,2 \cdot 10^2} \right)^{\frac{1}{0,47}} = 21,57 \text{ МПа}$$

Тоді величину об'єму свердловини при максимальному розширенні її бокової-поверхні продуктами вибуху порошу для різних типів порід можна визначити з виразу [12] при таких параметрах свердловини: початковий радіус свердловини – 0,05 м; висота заряду у свердловині – 1,0 м при атмосферному тиску рівному 0,1 МПа,

$$V_{\max} = V_0 + \Delta V = \beta(P - P_0) + V_0, \quad (9)$$

де  $V_0 = \pi R_0^2 H_3$  – початковий об'єм свердловини;  $R_0$  – початковий радіус свердловини;  $H_3$  – висота заряду в свердловині;  $P_0$  – атмосферний тиск;  $\beta = 1/K$  – коефіцієнт стискання породи;  $K = \frac{EG}{3(3G - E)}$ , Па – модуль об'ємного стискання;  $E$  – модуль Юнга, Па;  $G$  – модуль зсуву, Па.

Відомо, що максимальний об'єм порожнини під час вибуху заряду порошу у процесі його горіння складає

$$V_{\max} = \pi R_{\max}^2 H_3,$$

де  $R_{\max}$  – максимальний радіус порожнини під час вибуху заряду порошу у процесі його горіння.

Тоді після перетворення формули (9) отримаємо вираз для розрахунку максимального радіуса шпуру (свердловини), розширеного при звичайному горінні димного порошу,

$$R_{\max} = R_0 \left[ \frac{(P - P_0)\beta}{\pi R_0^2 H_3} + 1 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

а з урахуванням виразу (10) час розширення стінок свердловини можна представити у вигляді [13]

$$t = \frac{R_0 \left[ \left( \frac{R_{\max}}{R_0} \right)^2 - 1 \right]}{\sqrt{\frac{P}{\rho} \left[ 1 - \left( \frac{4P}{C^2 \rho} + 1 \right)^{\frac{1}{4}} \right]}}, \quad (11)$$

де  $C$  – швидкість подовженої хвилі стискання, м/с;  $\rho$  – щільність гірничої породи, кг/м<sup>3</sup>.

З отриманих співвідношень визначимо відносну деформацію стінок свердловини і швидкість деформації при звичайному режимі горіння порошу, а саме: – відносна деформація

$$\varepsilon = (R_{\max} - R_0) / R_0 \quad (12)$$

– швидкість деформації стінок свердловини

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon / t \quad (13)$$

Так, відповідно до роботи [14] можна визначити межу міцності скельної породи на одновісне стискання при динамічному навантаженні з урахуванням швидкості її деформації

$$\sigma_{сждин} = \sigma_{сжс} R_0^{\gamma}, \quad (14)$$

де  $\sigma_{сжс}$  – межа міцності скельної породи на одно-вісне стискання при статичному навантаженні;  $R_0$  – початковий радіус свердловини;  $\gamma$  – тангенс кута нахилу графіка залежності межі міцності скельної породи на одновісне стискання при динамічному навантаженні від швидкості деформації.

Розрахунковим способом встановлено, що при швидкості деформації стінок шпуру (свердловини)  $10,23 \text{ с}^{-1}$  межа міцності, наприклад, габро-діабазу, складала  $338,4 \text{ МПа}$ , а межа міцності на розтягання його приблизно на  $1/10$  менше межі міцності на стискання. Тоді межі міцності на розтягання габро-діабазу при швидкості деформації стінок шпуру (свердловини)  $10,23 \text{ с}^{-1}$  складає  $33,84 \text{ МПа}$ . Отже, величина тиску продуктів вибуху димного пороху –  $21,57 \text{ МПа}$  на стінки шпуру (свердловини), ініційованого в режимі звичайного горіння на  $57\%$  нижче межі міцності габро-діабазу на розтягання ( $33,84 \text{ МПа}$ ). Із цього випливає, що підірвання шпурового (свердловинного) заряду димного пороху в режимі звичайного горіння, здійснюваного в нижньому однорідному напівпросторі, представленими, наприклад, габро-діабазом, не викликає його руйнування, тобто не приведе до утворення радіальних тріщин на стінках свердловини.

Таким чином, масив порід представлений габро-діабазом можна зруйнувати вибухом у шпурі (свердловині) зарядом димного пороху, іні-

ційованого в режимі звичайного горіння, тільки в тому разі, якщо він містить вільну, незафіксовану поверхню у вигляді розкритих мікротріщин і макротріщин або має близько розташовані крутоспадні поверхні оголеної породи.

Становить особливий інтерес робота шпурового (свердловинного) заряду димного пороху в режимі ініціювання малопотужним детонувальним шнуром (далі – ДШ) системи NONEL зі швидкістю  $2000 \text{ м/с}$ . Тоді початковий піковий тиск димного пороху можна визначити з виразу

$$P = \frac{\rho_{вп} D^2}{4}, \quad (15)$$

де  $\rho_{вп}$  – щільність пороху  $\sim 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $D$  – швидкість вибухового розкладання пороху ( $2000 \text{ м/с}$ ).

А початковий середній тиск продуктів вибухового розкладання пороху визначимо за формулою

$$P = \frac{\rho_{вп} D^2}{8} \quad (16)$$

Тоді максимальний радіус шпуру (свердловини) при вибуховому розкладанні пороху розраховують за формулою,

$$R_{\max} = R_0 (P / P_k)^{\frac{1}{6}}, \quad (17)$$

де  $P_k$  – критична величина тиску ( $200 \text{ МПа}$ ).

Для спрощення розрахунку величини тиску продуктів вибуху димного пороху, який змінюється залежно від швидкості його вибухового перетворення, побудовані номограми, представлені на рис. 2.

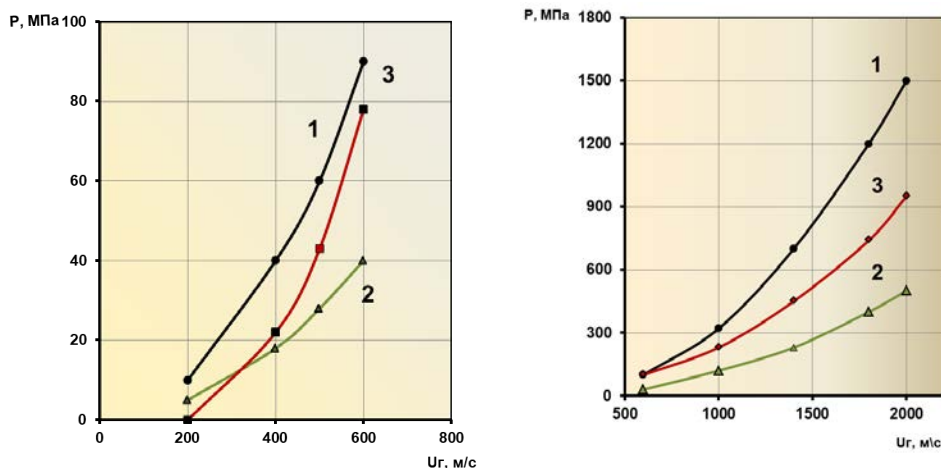


Рис. 2. Номограми для розрахунку показників тиску продуктів вибуху димного пороху в залежності від швидкості його горіння (вибухового розкладання) а) – швидкість горіння димного пороху від 0 до 600 м/с; б) – швидкість горіння димного пороху від 600 до 2000 м/с; 1 – тиск продуктів горіння димного пороху, розрахованого за формулою 1; 2 – початковий середній тиск продуктів вибухового розкладання димного пороху, розрахованого за формулою (16); 3 – початковий піковий тиск продуктів вибухового розкладання димного пороху, розрахованого за формулою (15)

Аналіз розрахунків, виконаних за наведеними формулами, дозволяє встановити, що максимальний радіус свердловини під час руйнування, наприклад габро-діабазів, під час вибуху заряду пороху в режимі вибухового перетворення становить 0,0654, а час розширення стінок свердловини до максимальних значень її радіусу має величину рівну  $6,992 \cdot 10^{-4}$  с або 0,6992 мс. Відносна деформація стінок шпuru (свердловини) під час вибуху пороху в режимі вибухового розкладання дорівнює  $\varepsilon = 0,308$ .

Швидкість деформації стінок свердловини для цих умов підривання має величину  $\dot{\varepsilon} = 440,5 \text{ с}^{-1}$ . Звідси випливає, що при швидкості деформації стінок свердловини  $440,5 \text{ с}^{-1}$  межа міцності, наприклад, габро-діабазу на стискання становить 3102,9 МПа. Отже, межа міцності габро-діабазу на розтягнення при швидкості деформації рівній  $440,5 \text{ с}^{-1}$  складає приблизно 310, 29 МПа.

Таким чином, урахувавши результати розрахунків за вищенаведеними формулами (14) і (15) доведено, що величина тиску продуктів вибуху димного пороху, ініційованого в режимі вибухового розкладання, менше межі міцності габро-діабазу на одновісне стискання в розглянутих умовах навантаження. З огляду на це, можна стверджувати, що ініціювання шпурового (свердловинного) заряду пороху в режимі вибухової розкладання, яке здійснено в нижньому однорідному напівпросторі, представленою монолітним габро-діабазом, не розповсюджує дистракційного впливу під час руйнування породи. Цілком очевидно, що руйнування породи відбуватиметься тільки за рахунок розвитку радіальних тріщин.

Якщо врахувати те, що при наявності близько розташованої крутоспадної поверхні оголеної породи (наприклад, поздовжнього укусу уступу) тангенціальні напруження розтягання по лінії розташування шпурів (свердловин) має приблизно у 1,5–2,0 раза більшу величину, ніж у перпендикулярному напрямку [15], що не викликає сумнівів у відділенні моноліту габро-діабазу від масиву без появи в ньому порушеної структури, викликаного дією вибуху заряду димного пороху, ініційованого в режимі вибухової розкладання.

Отримані результати розрахунків дають підставу вважати, що наведені раніше висловлювання про деструктивний вплив вибухових навантажень на блоки-заготовки роп-ручейських габро-діабазів не відповідають дійсності незалежно від застосовуваного способу ініціювання шпурових (свердловинних) зарядів димного пороху.

Для обґрунтування режимів підривання і раціональні параметри нової ресурсозберігальної тех-

нології вибухового відділення моноліту природного каменю від скельного масиву з використанням комбінованого шпурового заряду димного пороху були проведені експерименти з розколювання піщано-цементних блоків у полігонних умовах [16]. Відповідно до методики досліджень блокові моделі виготовлялись прямокутної форми розміром  $400 \times 300 \times 200$  мм. Піщано-цементна суміш готувалась у такій пропорції: кварцовий пісок + цемент марки М400 = 1:1 з додаванням 10% води. Згідно з чинними ДСТУ були досліджені фізико-механічні властивості матеріалу моделей і після обробки результатів випробувань визначені середні їх показники, які мають такі значення: щільність –  $1920 \text{ кг/м}^3$ , міцність на одновісне стискання – 20,6 МПа, швидкість подовженої хвилі –  $3150 \text{ м/с}$ , а також середньо квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації величин, котрі не перевищили 10%.

У процесі формування моделей уздовж осі перетину в напрямку передбачуваного розколювання на рівній відстані одне від одного (40 мм) формувались вибухові порожнини – шпури діаметром 12 мм на глибину  $2/3$  висоти моделі, які змінювались залежно від фізико-механічних характеристик матеріалу моделі. При цьому решта масиву моделі повинні мати достатній опір вибуховим газам, що розширюються. У підготовлених вибухових порожнинах формувались комбіновані заряди димного пороху з використанням ДШ. Заряд димного пороху заповнювали в патрон спеціальної конструкції, який має подовжню кільцеву виїмку, в яку вкладали нитку ДШ діаметром 3 мм. Детонувальний шнур виготовляли з полілорвінілового хвилеводу з внутрішнім діаметром 2 мм з пресованим у його середині порошкового тону щільністю  $1200 \text{ кг/м}^3$ . Загальна маса димного пороху в зарядах усіх серій експериментів становила 20,0 г. Для підриву зарядів пороху і ДШ формували бойовики з розміщенням у паперовій гільзі діаметром 3–2 мм чистого тону масою 80 мг з ініціатором, виготовленого з ніхромового містка з крапелькою високобризантного ВР (азиду свинцю) масою 10 мг. Ініціювання зарядів здійснювалось з уповільненням, починаючи з ДШ, а потім заряди димного пороху. Схема моделі і конструкція комбінованого заряду димного пороху наведені на рис. 3, а, б.

Результати експериментальних вибухів наведено на рис. 4. На ньому представлено зовнішній вигляд моделі, розколотої вищеописаним варіантом нового способу відділення монолітів природного каменю від скельного масиву.

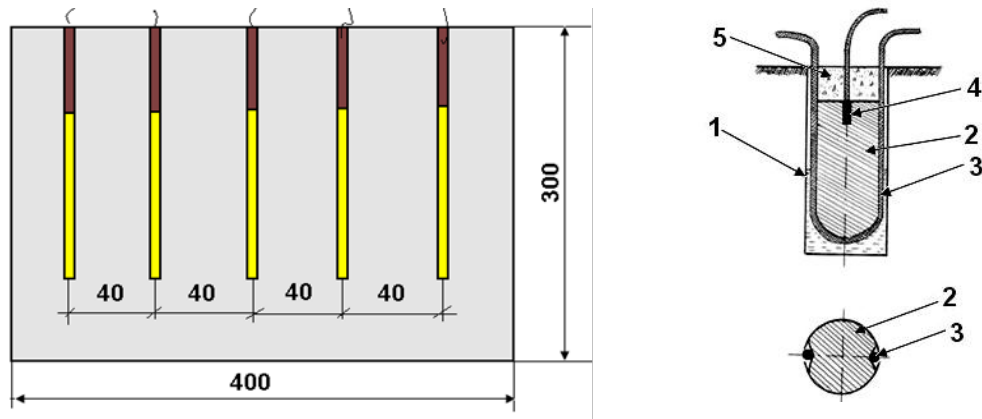


Рис. 3. Схема моделі і конструкція комбінованого шпурового заряду димного пороху  
 а – схема моделі; б – конструкція заряду;  
 1 – шпур; 2 – заряд димного пороху; 3 – ДШ; 4 – патрон-бойовик; 5 – набивка

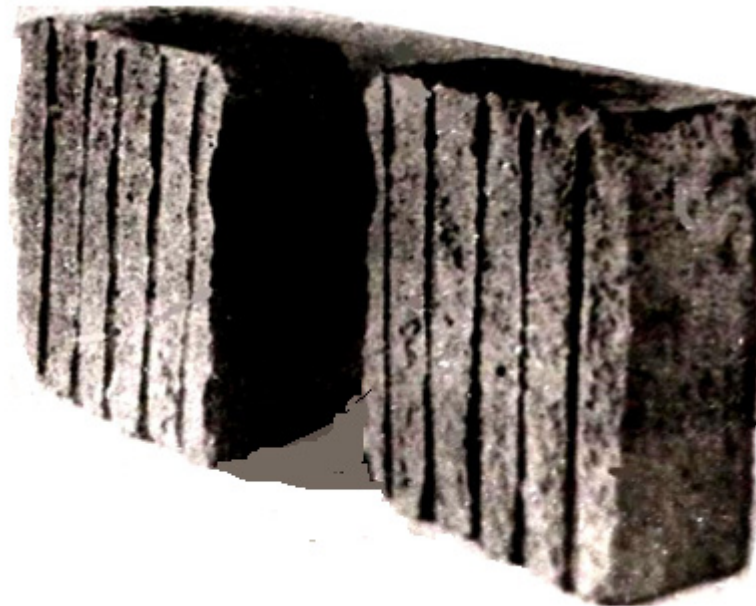


Рис. 4. Зовнішній вигляд піщано-цементного блоку, розколотого комбінованим зарядом димного пороху

Критерієм оцінки якості розколювання була взята шорсткість, яка характеризується середньою величиною всіх опуклостей і вм'ятин в обох новоутворених поверхнях. Шорсткість вимірювали за двома паралельними слідами утвореними шпурами, лініях, віддаленим від країв новоутвореної поверхні на відстані 50 мм.

Середнє значення цього показника для п'яти шпурів склало 2,9 мм, тобто істотних змін шорсткості не зафіксовано. Отже, результати експериментів підтвердили ефективність нової конструкції комбінованого заряду димного пороху для розколювання твердого середовища блокової будови.

**Висновки.** Результати експериментальних в полігонних умовах і теоретичних досліджень з обґрунтування раціональних параметрів розробленої ресурсозберігальної технології згідно зі способом відділення монолітів природного каменю від масиву для умов Янцевського родовища сірих гранітів (Запорізька обл.), Капустянського гранітного кар'єру блокового каменю (Кіровоградська обл.), Покостівського родовища гранодіоритів ПМП «Граніт» (Житомирська обл.) дозволили отримати такі результати:

– згідно з побудованою картограмою тріщинуватості фронтальної площини моноліту і виявлених слідів на його фронтальній (поздовжній) площині

встановлено напрямок системи тріщин і лінію їх падіння, що має мінімальну відстань між тріщинами, тобто максимально розповсюджені в масиві;

– за даними поширення систем тріщин у блоковому масиві проведено обґрунтування основних технологічних параметрів розробки: висоти уступу, геометричних параметрів моноліту згідно зі структурними особливостями гранітного масиву;

– відповідно до розробленої схеми та методики розрахунку визначена висота і довжина моноліту у вигляді чисельних значень кількості

пологоспадних і крутоспадних блокових структур, розділених системою тріщин, що дозволило розрахувати параметри скоригованої технології відділення моноліту від скельного масиву;

– відповідно до розробленого нового способу вибухового відділення моноліту від скельного масиву обґрунтовані режими підривання і технологічні параметри комбінованого шпурового (свердловинного) заряду з розколювання піщано-цементних блоків енергією вибуху в полігонних умовах.

#### Список літератури:

1. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Нурымов Е.К., Букаева А.З. Современное состояние добычи блочного строительного камня из крепких горных пород. *Сборник трудов XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века»*. Донецк : МСМ, 2016. Том. 2. С. 90–95.
2. Мандринкевич В.Н., Морозова Т.В., Усик И.И. Разработка месторождений природного камня взрывным способом. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*. 2016. Вып. 92. С. 78–82.
3. Madjid YU, Emad M.Z., Rehman G., Arshad M. Influence of the methods of extraction of block stone in the Nevra quarry on the quality of the separated blocks. *Journal of Mining Science*. 2019. № 4. P. 105–121. DOI: 10.15372/FTPRPI20190412
4. Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S. The research of high-strength dimension stone mining technological schemes in Russia and abroad. *Sbornik nauchnyih trudov SWorld*. Odessa : Kuprienko, 2013. Rel. 2. Tom 11. P. 64–73.
5. Pershin G.D., Karaulov N.G., Ulyakov M.S., SHarov V.N. Features of diamond-wire saws application for rock overburden re-removal at marble quarry construction. *Sbornik nauchnyih trudov SWorld*. Odessa : Kuprienko, 2013. Rel. 3. Tom 14. P. 39–42.
6. Першин Г.Д., Караулов Н.Г., Уляков М.С. Современные технологические схемы добычи блочного высокопрочного камня. *Вестник МГТУ им. Г.И. Носова*. 2015. № 3. С. 5–11.
7. Першин Г.Д., Уляков М.С. Повышение выходов блоков высокопрочного камня на месторождениях со сложным залеганием природных трещин в массиве. *ФТПРПИ*. 2015. № 2. С. 118–123.
8. Дубровский А.Б., Уляков М.С. Выбор оборудования при разработке Нижне-Санарского месторождения гранодиоритов. *Горный журнал*. 2011. № 5. С. 67–70.
9. Першин Г.Д., Уляков М.С. Обоснование комбинированного способа подготовки к выемке блочного высокопрочного камня. *Изв. вузов. Горн. журн.* 2013. № 4. С. 15–18.
10. Афонин В.Г., Гейман Л.М., Комир В.М. Справочное руководство по взрывным работам в строительстве. Киев : Будівельник, 1974. 369 с.
11. Беляев А.Ф., Мазнеев С.Ф. Зависимость скорости горения дымного пороха от давления. *Доклады АН СССР*. 1960. Том 131. № 4. С. 887.
12. Физический энциклопедический словарь. М.: *Сов. энциклопедия*, 1965. Том 4. 592 с.
13. Белоконь В.П., Белоконь М.П., Ольховский А.К. (1974). Исследование влияния детонационных характеристик ВВ и физико-механических свойств горных пород на продолжительность волны сжатия. *Механика и разрушение горных пород*: Межвед. сб. науч. тр. Киев : Наук. думка. 1974. Вып. 2. С. 227–229.
14. Кутузов Б.Н., Тарасенко В.П. Физика разрушения горных пород. Москва : Изд-во МГУ. 1975. Часть 2. 190 с.
15. Ито И., Сасса К., Танимото Т. Механизм разрушения горных пород под действием взрыва. *Дзайрё*. 1973. Том. 20. С. 203–206.
16. Ищенко К.С., Кратковский И.Л. Исследование эффективности нового способа отделения монолитов от скального массива энергией взрыва. *Геотехническая механика*: Межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепрпетровск, 2012. № 104. С. 31–41.

#### Konoval V.M., Ishchenko K.S. NEW APPROACHES TO REJECT MONOLITHIC BLOCKS OF NATURAL STONE FROM ROCK MASS

*The results of the research allowed to offer new approaches to increase the yield of commodity blocks from the massif by minimizing technological losses of block products in deposits with complex natural block structures, limited by systems of steep and sloping cracks, which will increase productivity and reduce the cost of separation*

*of monoliths. substantiation of the optimal height of the extraction ledge. A method has been developed according to which theoretical research has been carried out to ensure the maximum output of commodity blocks from the array, the basic values of initial pressures and deformations from the action of blast (borehole) charge of smoke powder have been calculated. Experimentally in landfill conditions, the efficiency of the combined borehole charge of smoke powder for splitting sand-cement blocks was evaluated. Photoplanimetry methods in industrial conditions of Kapustyansky granite quarry, Novoukrainka, Kirovohrad region, obtained a fracture map of the frontal plane of the monolith, based on which the calculations of rational height and length of the monolith on the ledge of the block taking into account the location and characteristics of fracturing. Using the proposed scheme and calculation method, in which the height and length of the monolith is expressed as numerical values of the number of sloping and steeply descending blocks separated by a system of cracks, allowed to calculate their technological parameters, and obtained geometric equations in parametric form, connecting the initial linear parameters of the monolith with mining and geometric parameters of the fracture of the array. The use of reasonable parameters of the new adjusted technology of separation of blocks of natural stone from the array will increase the yield of usable marketable products by 40%.*

**Key words:** well, borehole, explosion, combined charge of smoke powder, monolithic block, ledge surface, fracture.



## ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 615:661.1:582.998:57.086.83

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/26>

**Загородня Д.С.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Гуцько К.І.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Петріна Р.О.**

Національний університет «Львівська політехніка»

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕГУЛЯТОРІВ РОСТУ НА РІСТ КАЛУСНОЇ БІОМАСИ *CARLINA ACAULIS*

У статті досліджується вплив регуляторів росту на ріст калусної біомаси *C. acaulis* залежно від їх концентрації та співвідношення. Вивчено вплив концентрацій 1-нафтилоцтової кислоти (НОК), 3-індолілоцтової кислоти (ІОК) та кінетину (Кін). Використано дев'ять різних середовищ із концентрацією ІОК 1,0-3,0 мг/л, НОК 0,2-1,0 мг/л, кінетину 0,1-0,5 мг/л. Як експланти використано листкові та кореневі меристеми рослини з природи та отриманої з насіння в умовах *in vitro*. Стерилізацію експлантів проведено в 70%-му етанолі 1 хв та у 30%-му пергідролі 15 хв. Ефективність стерилізації становила 98%. Експланти культивували за температури  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ , освітлення 2000 лк, відносної вологості повітря 70% із 16-годинним фотоперіодом на живильному середовищі Мурасиге-Скуга (МС). На всіх модифікованих середовищах на 21–30 добу формувалася калус щільної консистенції та світлого жовто-коричневого кольору. Кожні 45–46 діб його було перенесено на свіже живильне середовище МС того ж складу для подальшого калусоутворення. Проведено п'ять пасажів та отримано 258 г калусної біомаси *C. acaulis*. Найвища ефективність калусогенезу отримана за використання ІОК, НОК, Кін у концентрації 3,0 мг/л, 0,5 мг/л, 0,5 мг/л відповідно. Дослідження впливу типу експланту на ріст калусної біомаси показало, що кращі результати отримано для листкових експлантів. Експланти *Carlina acaulis*, отримані в умовах *in vitro*, мали вищий показник росту калусної біомаси, що може бути альтернативним джерелом у проведенні експериментів щодо впливу умов проведення культивування, а також у розробці створення фармацевтичних препаратів, косметичних та гігієнічних засобів.

**Ключові слова:** *Carlina acaulis*, регулятори росту, калусна біомаса, калусогенез, *in vitro*, 1-нафтилоцтова кислота, 3-індолілоцтової кислота, кінетин.

**Постановка проблеми.** Одним із важливих завдань сучасної біотехнології рослин є пошук екологічно чистої сировини з біологічно активними речовинами (далі – БАР). Традиційно БАР рослин одержують із природної сировини – біомаси лікарських рослин, що ростуть у природі, або рослин із полів спеціалізованих господарств, де проводять культивування, підвищують врожайність рослин і збирають. Широке застосування рослин для отримання БАР призвело до значного зменшення їхньої кількості у природі.

Відомо багато рослин з цінними властивостями та великою кількістю БАР, що перебувають на межі зникнення і заготовля яких є забороненою. Це відкасник безстебловий (*Carlina acaulis*),

відкасник татарниколистий (*Carlina onopordifolia*) та інші рідкісні види. Так, *Carlina acaulis* поступово зникає на території нашої країни, у зв'язку з чим внесений до списку регіонально-рідкісних видів рослин, які потребують охорони в межах Львівської області.

*Carlina acaulis* L. – це трав'яна багаторічна рослина з родини айстрових, що зустрічається в Південній та Центральній Європі [1]. *C. acaulis* поширена в горах Південної і Середньої Європи (Піреней, Альпи, Аппеніни, Юра, Балкани і Карпати). Також поширений у Румунії на масиві Жілеу (Бігарські гори), Латвії і Литві, трапляється в Білорусі [2].

Рослина має товстий і м'ясистий стрижневий корінь, поодинокі, здебільшого вкорочені й непомітні

(недорозвинені) стебла. Листя ланцетне, по краях вкрите колбочками; перисторозсічені або перисто-роздільні листки ростуть у прикореневій розетці (завдовжки до 35 см і 8 см завширшки) [3, 4]. Квітки зібрані у великі кошики (діаметром від 7 до 15 см), що розміщені посередині листкових розеток. *C. acaulis* цвіте в липні–вересні протягом 40–50 днів [3].

Корінь відкащика містить дубильні й смолисті речовини, інулін (12–18%), барвники, ефірну олію (1–2%) та цукор [3]. Листя містить флавоноїди: 7-глікозид апігеніну (0,45%), апігенін (0,15%), хлорогенову кислоту (1,94%) орієнтин (0,32%), гомоорієнтин (0,92%), вітексин (0,61%) ізошафтозид [5, 6].

Наразі препарати відкащика безстеблого використовують як відхаркувальний, проносний, потогінний та сечогінний засіб при ниркових набряках, затримці менструацій, простудних захворюваннях сечових органів та нирок, при катарах легень; при гіпертонії, загальній загальмованості великих півкуль головного мозку, дисфункції вищої нервової діяльності, пов'язаній з вагітністю, набряках. Ефірна олія діє бактерицидно щодо *Staphylococcus*, *Enterococcus*, *Salmonella* та *Shigella* (у кількості 0,02–0,78 мкл/мл) [1, 2].

Характерною особливістю фітогормонів, що відрізняє їх від вітамінів, мікроелементів, є те, що вони впливають на фізіологічні та морфогенетичні програми організму. Фітогормони – це природні регулятори росту й розвитку рослин, вони зумовлюють взаємодію клітин, (а також тканин і органів) шляхом стимулювання й інгібування певних процесів в організмах. Ці сполуки впливають на розподіл клітин і їхній ріст розтягуванням, порушення стану спокою, а також на дозрівання, формування плоду, старіння, стійкість до стресу; забезпечують функціональну цілісність рослини, закономірну послідовність фаз індивідуального розвитку. Виділяють п'ять основних груп фітогормонів: цитокініни (БАП, кінетин), ауксини (ІОК, НОК, 2,4-Д), гібереліни (гіберелова кислота), абсцизова кислота та етилен. Фізіологічна дія фітогормонів залежить не тільки від специфіки речовини, а також від її концентрації, співвідношення між різними гормонами, достатності у живильному середовищі мікро- і макросолей та джерела вуглецю. Так, цитокініни – це похідні аденіну з ізопреноїдним або циклічним боковим ланцюгом у №6-положенні, вони спрямовані на прискорення росту кореня. Ауксини є речовинами індольної природи, у рослині продукуються зростаючими верхівками (апексами) стебел і коренів, за низьких концентрацій у живильному середовищі стимулюють ріст пагона. Гібереліни

належать до дитерпеноїдів флуороенового ряду, вони стимулюють і активують ріст стебла рослин, порушують у рослин період спокою і викликають проростання насіння.

Важливим моментом є правильний підбір фітогормонів, їхньої концентрації для певного виду рослини. Ступінь активності окремих гормонів росту змінюється не тільки від рослини до рослини, а й від органу до органу, від тканини до тканини, від клітини до клітини і, крім того, залежить від віку та фізіологічного стану рослин (тканини) [7].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У літературі показано, що стеблові та кореневі експланти рослин *C. acaulis*, *C. cirsioides* та *C. onopordifolia* здатні формувати калус. Перші ознаки калусоутворення переважно спостерігають через 25–35 діб із часу закладання експерименту. Підбираючи умови для калусогенезу, спостерігається залежність ефективності утворення та проліферації калусу від мінерального складу живильного середовища, співвідношення і концентрації регуляторів росту й типу експланта. Встановлено, що на живильному середовищі МС з додаванням ІОК, НОК та Кін для рослин *C. acaulis* відсоток утвореного калусу на експлантах кореневого походження становить 98%, на стеблових – 95%; для *C. cirsioides* – 99% і 96% та *C. onopordifolia* – 87% і 93%. Калус має світло-жовте забарвлення та пухку консистенцію. На живильному середовищі МС/2, доповненому 0,1 мг/л БАП та 0,5 мг/л 2,4 Д, відсоток сформованого калусу для *C. acaulis* на експлантах кореневого походження складає 97%, на стеблових – 96%. Менш сприятливим для індукції калусогенезу є живильне середовище В5, доповнене 0,1 мг/л БАП та 0,5 мг/л 2,4 Д. Відсоток калусогенезу для *C. acaulis* на експлантах кореневого походження на цьому середовищі складає 86%, на стеблових – 83%. Формування калусу відбувається повільно (упродовж 6–8 тижнів); утворена калусна тканина характеризувалася блідо-жовтим забарвленням та пухкою консистенцією. За подальшого пасажування калус набуває буро-жовтого забарвлення; ріст суттєво сповільнюється [8].

Відомі дослідження, у яких показано, що найоптимальнішим середовищем для калусогенезу є агаризоване середовище Мурасиге-Скуга з фітогормонами – індолілоцтовою кислотою (ІОК),  $\alpha$ -нафтил-1-оцтовою кислотою (НОК) та кінетином у концентрації 3,0 мг/л, 0,5 мг/л та 0,5 мг/л відповідно. За цих умов на 21 день культивування утворюється первинний калус світло-коричневого кольору розміром 1–2 мм, відсоток життєздатних експлантів складає 76,4% [5].

Велике значення мають і співвідношення фітогормонів у середовищі. За використання живильного середовища МС з фітогормонами: БАП 0,5 мг/л, НОК 0,1 мг/л; або другого варіанту – з 2,4-Д 1,0 мг/л, ІОК 2,0 мг/л; або третього варіанту – з НОК 0,5 мг/л, ІОК 3,0 мг/л, кінетин 0,5 мг/л – максимальний відсоток життєздатних експлантів спостерігається на середовищі з вмістом гормонів ІОК, НОК та кінетину в концентрації 3,0 мг/л; 0,5 мг/л; 0,5 мг/л відповідно [9].

Комбінація ІМК (індол-3-масляної кислоти) з Кін (кінетином) виявилася більш ефективною для калусоутворення, ніж комбінація з 2iP (6-( $\gamma$ , $\gamma$ -диметилаліламіно)пурином). Поєднання 2,4-D (2,4-дихлорфеноксиоцтової кислоти) з Кін або ВА (6-бензиламінопурином) у рівній пропорції також сприяє росту калусу. Навпаки, додавання TDZ (тідіазурону) призводить до поганого продукування калусної тканини незалежно від того, який орган рослини використовується як експлант. Із досліджень відомо, що кращими експлантами є листя, ніж корінь [10].

**Постановка завдання.** В основі роботи – визначення оптимальних кількостей та співвідношення регуляторів росту у модифікованому середовищі Мурасиге-Скуга для максимального накопичення калусної біомаси *C. acaulis* в умовах *in vitro*.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для експерименту використано насіння та рослину *C. acaulis*, зібрану в природних місцях зростання (Сколівський район, Львівська область) у липні-серпні 2020 р. [5, 9].

У культивуванні рослини *in vitro* використано стандартну методику індукування калусогенезу рослини за допомогою регуляторів росту. Введено в культуру *in vitro* насіння, листові та кореневі меристеми *C. acaulis*. Живильне середовище використано базове Мурасиге-Скуга (МС) з рН 5,0-5,8. Для стерилізації використано 70% етанол та 30% пергідроль.

Ріст та культивування стерильних експлантів відбувався в термостатичних умовах в ламінарі за температури  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ , фотоперіоді 16/8, освітленості 3000 лк та відносної вологості повітря 70%. Живильні середовища, посуд, інструменти, матеріали готували до роботи за загальновідомими методиками [11–13]. Дослідження проведено в біотехнологічній лабораторії кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка».

У дослідженні використано різні концентрації фітогормонів, які відіграють основну роль у системі регуляції процесу росту біомаси рослин.

Процес введення в культуру *in vitro* починали з одержання середовища МС, його стерилізації та підготовки рослинного матеріалу. Середовище для проростання насіння було без регуляторів росту, в нього після стерилізації поміщали насіння (10 чашок Петрі по 12 насінин). Стерилізацію проводили 1 хв у 70%-му етанолі і 10 хв у 30%-му пергідролі, потім тричі промивали у дистильованій воді. Умови проростання насіння – кімнатна температура, темрява, час 3 тижні. Після отримання експлантів у вигляді невеличких рослин розміром 1–2 см визначено ефективність стерилізації, яка становила 80%.

Наступним етапом було отримання середовища МС з регуляторами росту для ініціації калусогенезу листової та кореневої меристеми рослини з природи та рослини, одержаної в умовах *in vitro*. Одержані стерильні експланти переносили для культивування на середовище МС, модифіковане різними концентраціями фітогормонів: 1-нафтилоцтовою кислотрою (НОК), 3-індолілоцтовою кислотою (ІОК) та кінетином (Кін). Використано дев'ять різних середовищ із концентрацією ІОК (1,0-3,0 мг/л), НОК (0,2-1,0 мг/л), кінетин (0,1-0,5 мг/л). Стерилізацію експлантів проведено в 70%-му етанолі 1 хв та у 30%-му пергідролі 15 хв. Ефективність стерилізації становила 98%. Експланти культивували за температури  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ , освітлення 2000 лк, відносної вологості повітря 70% із 16-годинним фотоперіодом. Для дослідження використовували біотехнологічний метод культури тканин рослин *in vitro*, візуальне спостереження, статистичні (середнє арифметичне, стандартна похибка). Дослід для культивування експлантів проводили в чашках Петрі – для експлантів, отриманих в умовах *in vitro*, використано для кожного середовища по 6 чашок, у які поміщено по 10 експлантів (60 експлантів – 30 листових, 30 корневих); для експлантів рослини з природи – таку ж кількість.

У результаті вдалого підбору співвідношення концентрацій регуляторів росту впродовж 21–30 доби в деяких варіантах спостерігали початок утворення меристематичних осередків у вигляді бугристої поверхні та збільшення в розмірах. На середовищах, де було виключено ауксини, калусогенез не спостерігався. Найкращі результати росту культури отримано з використанням середовища з вищим вмістом ІОК та вищим співвідношенням ІОК/НОК. За використання ІОК у концентрації 1,0 мг/л калус утворювався менш ефективно, лише через 30 діб. Вміст кінетину не впливав на ріст калусу,

тому можна його використовувати у концентрації 0,1 мг/л. На всіх модифікованих середовищах на 21–30 добу формувалася калус щільної консистенції та світлого жовто-коричневого кольору. Після 50 діб культивування калус втрачав колір та некротував. Тому на 45–46 добу його було перенесено на свіже живильне середовище МС того ж складу для подальшого калусоутворення. Візуальне порівняння ростових факторів для листових та стеблових експлантів вказувало на кращий результат у листових, швидкість росту та кількість меристематичних осередків була вищою. Швидкість росту калусної біомаси на експлантах, отриманих в умовах *in vitro*, була вищою, ніж на експлантах рослини з природи. Ефективність калусогенезу експлантів *C. acaulis* (відношення кількості експлантів, на яких отримано калусну біомасу, до загальної кількості експлантів), одержаних з насіння *in vitro*, на різних середовищах МС подано в табл. 1. Ефективність калусогенезу експлантів *C. acaulis*, одержаних з рослини з природи, на різних середовищах МС подано в табл. 2. Також треба зазначити, що співвідношення біомаси на листових/кореневих експлантах для рослин, отриманих в умовах *in vitro*, було нижчим, ніж для рослин з природи.

Таблиця 1  
Ефективність калусогенезу експлантів *Carlina acaulis*, одержаних з насіння *in vitro*, на різних середовищах МС

Варіанти середовищ	Концентрація регуляторів росту, мг/л			Ефективність калусогенезу, %
	НОК	ІОК	Кін	
МС1	0,2	1,0	0,1	90,0
МС2	0,5	3,0	0,1	95,0
МС3	1,0	1,0	0,1	81,6
МС4	0,2	2,0	0,5	95,0
МС5	0,5	3,0	0,5	100,0
МС6	1,0	3,0	0,5	83,3
МС7	0,2	3,0	1,0	91,7
МС8	0,5	3,0	1,0	98,3
МС9	1,0	3,0	1,0	80,0

На середовищах МС3, МС6, МС9 утворення калусу було значно слабшим, ніж у варіантах МС1, МС2, МС4, МС8. Найактивніше утворення калусу, яке візуально спостерігалось, було у варіанті МС2, МС5 та МС7 з додаванням НОК/ІОК 0,5/3,0, де протягом першого пасажу майже всі експланти утворювали калусну біомасу та спостерігався найактивніший її ріст. Ефективність калусогенезу на середовищі МС6 дорівнювала 100%.

Таблиця 2

Ефективність калусогенезу експлантів *Carlina acaulis*, одержаних з рослини з природи, на різних середовищах МС

Варіанти середовищ	Концентрація регуляторів росту, мг/л			Ефективність калусогенезу, %
	НОК	ІОК	Кін	
МС1	0,2	1,0	0,1	86
МС2	0,5	3,0	0,1	69
МС3	1,0	1,0	0,1	78
МС4	0,2	2,0	0,5	92
МС5	0,5	3,0	0,5	96,6
МС6	1,0	3,0	0,5	78
МС7	0,2	3,0	1,0	88
МС8	0,5	3,0	1,0	94
МС9	1,0	3,0	1,0	74

Ріст біомаси, одержаної в чашках Петрі з експлантів рослини з природи має таку ж закономірність, як і з експлантів, одержаних *in vitro*. Найкращі результати отримано на середовищах МС2, МС5 та МС7. Ефективність калусогенезу на середовищі МС6 дорівнювала 96,6%.

Таблиця 3

Отримана калусна *Carlina acaulis* із листових та корневих експлантів

Походження експлантів	Тип експлантів	Маса калусної біомаси, г
Експланти, отримані <i>in vitro</i>	листові	84
	кореневі	56
	листові/кореневі	1,5
Експланти, отримані з природи	листові	92
	кореневі	26
	листові/кореневі	3,54

Протягом другого пасажу було відбраковано тканини, де спричинився ризогенез, що можна пояснити дією ІОК, що входить у склад середовища. Після п'яти пасажів одержано максимальний приріст біомаси. Калусну культуру висушено до повітряно-сухого стану при температурі 40°C та отримано 258 г. Зважено окремо біомасу, одержану з корневих експлантів, і окремо одержану з експлантів рослини з природи. Результати зважування подано в табл. 3, з яких можна зробити висновок, що біомаси більше на експлантах, одержаних *in vitro*. І на листових, і на корневих експлантах добре утворюється калусна біомаса і є менша розбіжність між їхньою масою, ніж на експлантах рослини з природи (табл. 3).

**Висновки.** Досліджено вплив регуляторів росту, а саме 1-нафтилоцтової кислоти (НОК), 3-індолілоцтової кислоти (ІОК) та кінетину (Кін), на ріст калусної біомаси *Carlina acaulis* за різних концентрацій і співвідношень під час культивування в умовах *in vitro*. Найвища ефективність калусогенезу отримана за використання ІОК, НОК, Кін в концентрації 3,0 мг/л, 0,5 мг/л, 0,5 мг/л відповідно. Дослідження впливу типу експланту

на ріст калусної біомаси показало, що кращі результати отримано для листових експлантів. Експланти *Carlina acaulis*, отримані в умовах *in vitro*, мали вищий показник росту калусної біомаси, що може бути альтернативним джерелом у проведенні експериментів щодо впливу умов проведення культивування, а також у розробці фармацевтичних препаратів, косметичних та гігієнічних засобів.

#### Список літератури:

1. Historical and traditional medical applications of *Carlina acaulis* L. A critical ethnopharmacological review / M. Strzemiński, M. Wójciak-Kosior, I. Sowa, D. Załuski, R. Verpoorte. *Journal of Ethnopharmacology*. 2019. V. 239. Pp. 111–842. doi.org/10.1016/j.jep.2019.111842.
2. Розроблення технологічної схеми екстракції коренів *Carlina acaulis* / О.М. Федоришин, Д.С. Загородня, А.С. Кривавич, А.О. Миляннич. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31. № 1. С. 93–98.
3. Гродзінський А.М. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / Відп. ред. А.М. Гродзінський. Київ : Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М.П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 544 с.
4. Манівчук Ю.В. Зміна ролі *Carlina acaulis* L. у сукцесійних процесах лучних біогеоценозів під впливом біогенних добрив. *Науковий вісник Ужгородського університету*. 2007. № 20. С. 40–44.
5. Введення в культуру *in vitro* відкасника безстеблевого / Р. Петріна, Р. Конечна, О. Побігушка, С. Матвійків. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування. 2013. № 761. С. 169–172.
6. Bioactivity assays on *Carlina acaulis* and *C. acanthifolia* root and herb extracts / S. Dordevic, V. Tadic, S. Petrovic et al. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. 2012. V. 7. No. 3. P. 1213–1222.
7. Штомпель О.І. Пошук регуляторів росту рослин серед похідних п'ятиста шестичленних азазетероциклів : дис. ... канд. біол. наук : 02.00.10. Київ, 2019. 162 с.
8. Мікроклональне розмноження та калусогенез деяких видів роду *Carlina* L. Н. Кравець, Н. Тулайдан, М. Мосула, Н. Дробик. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2018. Т. 22. С. 274–281.
9. Одержання культури тканин відкасника безстеблевого (*Carlina acaulis*) – джерела біологічно активних сполук / Р.О. Петріна, Р.Т. Конечна, О.В. Федорова, О.Р. Побігушка, С.О. Матвійків, В.П. Новіков. *Актуальні проблеми синтезу і створення нових біологічно-активних сполук та фармацевтичних препаратів*: матеріали доповідей та збірник наукових статей (Львів, 23–25 квітня 2013 р.) Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. С. 63–64.
10. The impact of different cultivation systems on the Content of Selected Secondary Metabolites and Antioxidant Activity of *Carlina acaulis* Plant Material / V. Strzemiński, S. Dresler, I. Sowa, A. Czubacka et al. *Molecules*. 2020. V. 25(1). 146.
11. Кунах В.А. Біотехнологія лікарських рослин. Генетичні та фізіолого-біохімічні основи. Київ : Логос, 2005. 730 с.
12. Дослідження екстрактів калусної біомаси *Carlina acaulis*. / Р. Конечна, Р. Петріна, В. Новіков, Ю. Конечний, Р. Шикуча, О. Корнійчук. *Український фармацевтичний журнал*. 2015. Т. 4(39). С. 57–61.
13. Research of antioxidant properties of extracts of the plants and the callus biomass / R. Konechna, O. Khropot, R. Petrina, M. Kurka, Z. Gubriy, V. Novikov. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 2017. V. 10(7). P. 182–185.

#### **Zahorodnia D.S., Huzko K.I., Petrina R.O. INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF GROWTH REGULATORS ON THE GROWTH OF CALLUS BIOMASS *CARLINA ACAULIS***

*The article investigates the influence of growth regulators on the callus biomass of C. acaulis depending on their concentration and change. The effect of concentrations of 1-naphthylacetic acid (NOC), 3-indolylacetic acid (IOC) and kinetin (Kin) was studied. Nine different media with a concentration of IOC 1.0-3.0 mg / l, NOC 0.2-1.0 mg / l, kinetin 0.1-0.5 mg / l are used. Leaf and root meristems of the plant from nature and obtained from conditions in vitro were used as explants. The explants were sterilized in 70% ethanol for 1 minute and in 30% perhydrol for 15 minutes. The sterilization efficiency was 98%. The explants were cultured at a temperature of 24 ± 1°C, illumination of 2000 lux, capacitive humidity of 70% with a 16-day photoperiod on Murashige-Skuga (MS) living medium. A callus of dense consistency and light yellow-brown color was formed on all*

*modified media at 21-30. Every 45-46 days it was transferred to fresh living environment of MS of the same composition for further callus formation. Five passages were performed and 258 g of callus biomass of C. acaulis was obtained. The highest efficiency of callusogenesis was obtained using IOC, NOC, Kin at a concentration of 3.0 mg / l, 0.5 mg / l, 0.5 mg / l, respectively. A study of the effect of explant type on callus biomass growth showed that the best results were obtained for leaf explants. Carlina acaulis explants obtained in vitro are a small indicator of callus biomass growth, which can be an alternative source in experiments on cultivation conditions, as well as in the development and development of pharmaceuticals, cosmetics and hygiene products.*

**Key words:** *Carlina acaulis, growth regulators, callus biomass, callusogenesis, in vitro, 1-naphthylacetic acid, 3-indolylacetic acid, kinetin.*

УДК 504.4.054+66.081.3+661.183  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/27>

**Іванченко А.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Сорока О.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Єлатонцев Д.О.**

Дніпровський державний технічний університет

**Ткаченко Е.Е.**

Дніпровський державний технічний університет

**Чупринов Є.В.**

Навчально-науковий технологічний інститут  
Державного університету економіки і технологій, м. Кривий Ріг

**Яцен Т.Г.**

Дніпровський державний технічний університет

**Ревак О.А.**

Відокремлений структурний підрозділ «Технологічний фаховий коледж»  
Дніпровського державного технічного університету

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИЛУЧЕННЯ ЦИНКУ ТА ФЕРУМУ З ВОДНИХ СЕРЕДОВИЩ СОРБЕНТАМИ НА ОСНОВІ ПРИРОДНОЇ СИРОВИНИ

Зазначено екологічні наслідки скидання неочищених промислових стічних вод, забруднених іонами важких металів. Проаналізовано сучасні технології вилучення важких металів із водних гетерогенних систем. Охарактеризовано хімічний склад цеоліту Сокернянського родовища, глауконіту Адамівського родовища, бентоніту Черкаського родовища та фізико-хімічні характеристики сорбенту лігноцелюлозного (далі – СЛЦ). Для отримання СЛЦ зі шкаралупи волоського горіха та кісточок абрикоса застосовано обробку 20%  $\text{NH}_4\text{OH}$  протягом 4 год із подальшою обробкою кислотно-сольовим робочим 20%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 40%  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  і 40%  $\text{H}_2\text{O}$ , за умов постійного перемішування протягом 4 год. Під час дослідження з визначенням концентрації цинку і феруму(III) у вихідних та очищених стоках застосовувано титрометричний комплексометричний метод, заснований на утворенні забарвлених комплексів металів з ЕДТА (етилендіамінтетраоцтовою кислотою) в присутності індикаторів ксиленолового оранжевого (для іонів  $\text{Zn}^{2+}$ ) та сульфосаліцилової кислоти (для іонів  $\text{Fe}^{3+}$ ) при рН 5–6 і рН 2,5, відповідно.

Досліджено процес вилучення іонів  $\text{Zn}$  і  $\text{Fe}$  під час застосування природних сорбентів витратою 4 г/дм<sup>3</sup> та тривалістю обробки водних середовищ 60–120 хв. Установлено, що ефективність вилучення йонів цинку протягом 120 хв становить за умов використання цеоліту 35,37%, глауконіту – 41,5%, бентоніту – 23,58%, СЛЦ – 33,96%. Виявлено, що ефективність вилучення феруму(III) під час обробки цеолітом через 2 години контактування становить 12,8%, бентоніту – 56,4%, глауконіту – 73,9%, СЛЦ – 99,79%. Досягнуто майже повного вилучення йонів феруму(III) під час застосування СЛЦ у кількості 4 г/дм<sup>3</sup>. У майбутньому заплановано дослідження впливу дози адсорбентів на процес вилучення важких металів із водних середовищ.

**Ключові слова:** цеоліт, бентоніт, глауконіт, сорбент лігноцелюлозний, адсорбція, ферум(III), цинк, важкі метали

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасної Української держави залежить від підприємств хімічної та металургійної промисловості. Наразі однією з проблем цих галузей є антропогенне

забруднення саме промисловими стічними водами. Промислові стічні води здатні навіть за невеликих концентрацій забруднювачів завдати шкоди здоров'ю людини та стану навколишнього

природного середовища. Неочищені промислові стічні води, залежно від походження та складу, містять велику кількість іонів важких металів. Якщо не проводити ефективно їх очищення, то забруднене природне середовище призводить до екологічної катастрофи. Саме тому очищення стічних вод – необхідний етап технологічного процесу промислового виробництва.

Таким чином, актуальним є науково-практичне завдання підвищення екологічної безпеки очищення промислових стічних вод від іонів феруму(III) та цинку через застосування природних глинистих сорбентів. Глинисті сорбенти – розповсюджений та дешевий матеріал. Бентоніт належить до глинистих природних мінералів, що мають високу сорбційну здатність щодо катіонів металів. Цеоліт – велика група мінералів, водні алюмосилікати кальцію і натрію, що мають пористу тривимірну структуру тетраїдрів ( $\text{AlO}_4$ ) та ( $\text{SiO}_4$ ). Глауконіт – мінерал класу силікатів групи гідрослюд, до складу якого входять кремній, алюміній та калій.

Глинисті мінерали характеризуються порівняною дешевизною і мають високу питому поверхню. Зростання інтересу до природних глин та інших сорбентів із природної сировини зумовлено також необхідністю заміни традиційних способів очищення водних середовищ на екологічно нешкідливі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед забруднювальних речовин за токсикологічними оцінками йони важких металів займають друге місце, поступаючись тільки пестицидам [1, с. 1].

Серйозну небезпеку забруднення довкілля становлять важкі метали, йони яких не піддаються біодеструкції та акумулюються у водоймі. Вони належать до речовин, токсичних для гідробіонтів та споживачів води. Серед небезпечних характеристик іонів важких металів – канцерогенна, мутагенна дія, особливо можна виділити ефект кумуляції – процес накопичення політантів живими організмами. Збільшення масштабів виробництва та підвищення вимог до якості води диктують пошук дедалі ефективніших способів видалення забруднень із природних та стічних вод, повернення очищених стоків для повторне використання. Серед методів, які успішно застосовуються для вирішення цього завдання, сорбційне очищення є одним із найбільш ефективних.

Однією з найважливіших проблем сучасного етапу розвитку виробництва є необхідність створення надійних природоохоронних технологій, що унеможливають проникнення промислових відходів у біосферу.

Праця [1, с. 1] присвячена проблемам вилучення йонів важких металів зі стічних вод. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що застосування комбінованого методу очищення, що поєднує ультрафільтрацію з комплексоутворенням з використанням дешевих комплексоутворювачів природного походження, дозволяє значно підвищити ступінь очищення стічних вод від іонів важких металів.

У роботі [3, с. 204] досліджено процеси очищення води від важких металів під час їх висадження калій фероціанідом. Показано, що під час очищення води від іонів купрум(II) та плюмбум(II) через комплексоутворення з калій ціанофератом у разі використання нанофільтрування після відстоювання та механічного фільтрування ефективність вилучення йонів важких металів зростає. Вивчено ефективність зв'язування ціаноферату калію та йонів міді в процесі взаємодії з полікатіонними флокулянтами.

Досліджено адсорбцію іонів  $\text{Cr(VI)}$  нативною подрібненою шкаралупою кісточок *Prunus armeniaca*. Визначено, що за початкової концентрації  $5 \text{ мг/дм}^3$   $\text{pH} = 2$ , 30 хв контактування та дозування адсорбенту  $20 \text{ г/дм}^3$  максимальна сорбційна ємність склала  $0.037 \text{ мг/г}$ . Ізотерми адсорбції найбільш адекватно описуються моделлю Фрейндліха ( $R^2 = 0.990$ ), а кінетика процесу підпорядковується моделі псевдвторого порядку [4, с. 15].

Підвищити сорбційні характеристики подрібненої шкаралупи кісточок абрикоса можливо за допомогою впливу на них ультразвукової обробки. Так, вплив останньої потужністю  $200 \text{ Вт}$  протягом  $15 \text{ хв}$  із частотою  $22 \text{ кГц}$  сприяє збільшенню максимальної сорбційної ємності з  $6,6 \text{ мг/г}$  до  $9,9 \text{ мг/г}$  за іонами  $\text{Cr(VI)}$ . Як і в попередній статті, знайдено, що максимальна сорбційна ємність спостерігається при  $\text{pH} = 2$  при початковій концентрації іонів  $\text{Cr(VI)}$   $75 \text{ мг/дм}^3$ . Визначено, що при початковій концентрації названих іонів  $25$ ,  $50$  та  $75 \text{ мг/дм}^3$  ступінь їх видалення нативним сорбційним матеріалом становить  $45,6\%$ ,  $32,4\%$  та  $25,8\%$ , після обробки ультразвуком –  $62,4\%$ ,  $47,2\%$  та  $28,4\%$ . [5, с. 88].

Також нативна шкаралупа кісточок абрикоса досліджувалася як сорбційний матеріал для видалення іонів  $\text{Cu}^{2+}$  в статичних умовах. Знайдено, що максимальна сорбційна ємність, що дорівнює  $4.5 \text{ мг/г}$ , досягається при  $\text{pH} = 5$ , початковій концентрації іонів  $\text{Cu}^{2+}$   $60 \text{ мг/дм}^3$  та дозуванні сорбційного матеріалу  $6 \text{ г/дм}^3$ . Визначено, що основним механізмом є іонний обмін. Ізотерма адсорбції добре описується моделлю Ленгмюра, а кінетика сорбції підпорядковується моделі псевддругого порядку [6, с. 277].



Подрібнена шкаралупа волоського горіха з розмірами частинок 1.6–2.5 мм досліджувалася для вилучення в статичних умовах сорбції іонів  $\text{Fe}^{3+}$  з початковою концентрацією 3 мг/дм<sup>3</sup>. Установлено, що при дозі адсорбенту 10 г/дм<sup>3</sup> при рН=7 ступінь видалення іонів  $\text{Fe}(\text{III})$  становить 92,7% через 240 хв контактування. Визначено, що сорбційна здатність порошку шкаралупи волоського горіха збільшується з підвищенням температури, що вказує на перебіг хемосорбції, а ізотерма адсорбції відповідала моделі Фрейндліха [7, с. 68].

Досліджено адсорбцію іонів  $\text{Zn}^{2+}$  вилуженої шкаралупою волоського горіха, каштана та мигдалю з варіюванням параметрів процесу. Зокрема, визначено, що при початковій концентрації іонів цинку 1000 мг/дм<sup>3</sup> при зміні маси шкаралупи *Juglans regia* з 2 до 12 г/дм<sup>3</sup> збільшується з 28,91 до 70,41% при часі контактування 120 хв [7, с. 69]. Методом планування експерименту після обчислення отриманих результатів виявлено, що максимальний ступінь видалення іонів  $\text{Zn}^{2+}$  (84,2%) спостерігається при рН=6,53, дозуванні шкаралупи 8,1 г/дм<sup>3</sup> та часу контактування 15,67 хв.

**Постановка завдання.** В основі роботи є проведення експериментального дослідження процесу вилучення важких металів, а саме іонів  $\text{Zn}$  із водних середовищ цеолітом, глауконітом, бентонітом та сорбентом лігноцелюлозним (СЛЦ) витратою 4 г/дм<sup>3</sup> в інтервалі часу 10–120 хв.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час дослідження з визначенням концентрації цинку і феруму(III) у вихідних та очищених стоках застосовано титриметричний комплексометричний метод, заснований на утворенні забарвлених комплексів металів з ЕДТА (етилендіамінтетраоцтовою кислотою) в присутності індикаторів ксиленолового оранжевого (для іонів  $\text{Zn}^{2+}$ ) та сульфосаліцилової кислоти (для іонів  $\text{Fe}^{3+}$ ) при рН 5–6 і рН 2,5, відповідно.

Для проведення експериментальних досліджень процесу вилучення йонів  $\text{Zn}$  та  $\text{Fe}$  з водних середовищ використано природні сорбенти, а саме цеоліт Сокернянського родовища, глауконіт Адамівського родовища та бентоніт Черкаського. Хімічний склад зразків природного бентоніту, цеоліту та глауконіту, що використовувались у дослідженні, надано в табл. 1–3 [8, с. 109].

Сорбент лігноцелюлозний (далі – СЛЦ) зі шкаралупи волоського горіха та кісточок абрикосу готували так [9, с. 113]. Вихідну сировину спочатку подрібнювали, класифікували і відбирали фракції розміром 0,6–1,6 мм. Потім сорбент обробляли 20% розчином  $\text{NH}_4\text{OH}$  протягом 4 год при постійному перемішуванні. Тверду фазу

промивали водопровідною водою до рН = 7–8 і висушували при температурі 130 °С протягом 3 год. Надалі суміш обробляли кислотно-сольовим робочим розчином, який містив 20%  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 40%  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  і 40%  $\text{H}_2\text{O}$ , при постійному перемішуванні протягом 4 год. Після активації суміш знову фільтрували, відділяючи фільтрат в окрему ємність, а сорбент кондиціонували за допомогою витримки у воді протягом 6 діб. Потім воду повертали на промивку сорбенту від луку, а готовий сорбент висушували і використовували для очищення рідких середовищ від іонів важких металів цинку та феруму(III). Основні фізико-хімічні характеристики СЛЦ показано у табл. 4 [9, с. 114].

Таблиця 1

**Хімічний склад цеоліту  
Сокернянського родовища, %**

Оксид	Вміст, % мас.	Оксид	Вміст, % мас.
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13,1	$\text{CaO}$	2,1
$\text{SiO}_2$	69,7	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,9
$\text{Na}_2\text{O}$	4,38	$\text{MnO}_2$	1,07
$\text{K}_2\text{O}$	1,73	$\text{TiO}_2$	0,2

Таблиця 2

**Хімічний склад глауконіту  
Адамівського родовища, % мас.**

Оксид	Вміст, % мас.	Оксид	Вміст, % мас.
$\text{SiO}_2$	67,3	$\text{CaO}$	2,73
$\text{TiO}_2$	0,15	$\text{MgO}$	2,00
$\text{Al}_2\text{O}_3$	8,25	$\text{K}_2\text{O}$	4,69
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	10,42	$\text{Na}_2\text{O}$	1,60
$\text{FeO}$	0,5	$\text{P}_2\text{O}_5$	2,25
$\text{MnO}$	0,01		

Таблиця 3

**Хімічний склад бентоніту  
Черкаського родовища, %**

Оксид	Вміст, % мас.	Оксид	Вміст, % мас.
$\text{Al}_2\text{O}_3$	23,76	$\text{CaO}$	1,072
$\text{SiO}_2$	69,87	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1,24
$\text{Na}_2\text{O}$	2,91	$\text{MnO}_2$	0,08
$\text{K}_2\text{O}$	1,006	$\text{SrO}$	0,02
		$\text{TiO}_2$	0,001

Таблиця 4

**Основні фізико-хімічні характеристики СЛЦ**

Показник	Значення
Статична обмінна ємність, ммоль/см <sup>3</sup>	1,3
рН фільтрату	7,2
Масова частка вологи, %	31,4
Питомий об'єм при набуханні у дистильованій воді, см <sup>3</sup> /г	0,6
Вихід сорбенту, %	90

Експеримент із вилучення важких металів полягав у такому. Рідкі середовища з вихідною концентрацією цинку  $212 \text{ мг/дм}^3$  та феруму(III)  $64 \text{ мг/дм}^3$  обробляли сорбентами концентрацією  $4 \text{ г/дм}^3$  та через 1 та 2 години визначали вміст іонів цинку та феруму(III) в очищеній воді методом титрування. Установка з визначення важких металів Fe та Zn методом титрування показана на рис. 1.

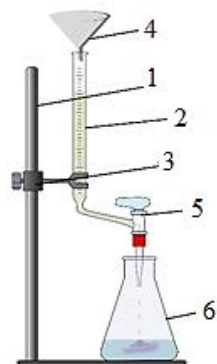


Рис. 1. Установка із визначення важких металів Fe та Zn методом титрування  
1 – штатив; 2 – бюретка; 3 – зажим для бюретки; 4 – воронка; 5 – кран; 6 – колба

Визначення металів проводили так. Рідке середовище (воду) поміщали в мірну колбу об'ємом 200 мл, піпеткою відбирали 50 мл розчину для титрування, потім додавали 2 мл буферного розчину, індикатор і титрували ЕДТА.

На рис. 2 та 3 представлено результати експериментальних досліджень. На рис. 2 показано залежність концентрації цинку від тривалості контактування сорбентів з водними середовищами.

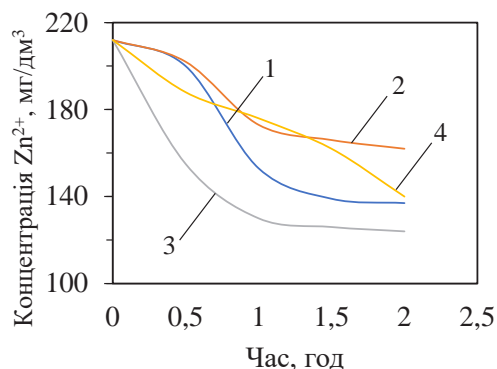


Рис. 2. Залежність концентрації цинку від тривалості контактування сорбентів із водними середовищами  
1 – цеоліт; 2 – бентоніт; 3 – глауконіт; 4 – СЛЦ

Установлено, що під час використання цеоліту вміст цинку через 2 години контактування знижується до  $137 \text{ мг/дм}^3$ , бентоніту –  $124 \text{ мг/дм}^3$ ,

глауконіту –  $162 \text{ мг/дм}^3$ , СЛЦ –  $140 \text{ мг/дм}^3$ . Таким чином, бентоніт виявив найвищу ефективність для вилучення цинку. Цей сорбент має високий вміст монтморилоніту, хімічно-кристалічну будову, яка зумовлюється наявністю на поверхні іонообмінних катіонів, що визначає його фізичні та хімічні властивості. Висока сорбційна ємність бентоніту визначається здебільшого його здатністю до швидкого катіонного обміну.

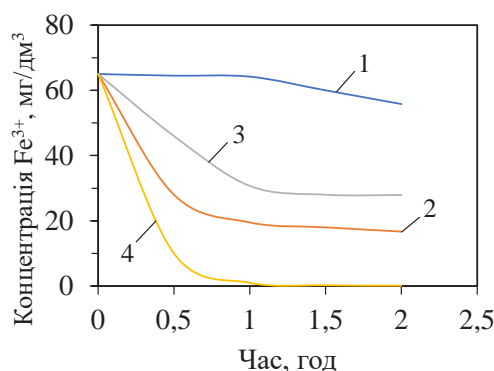


Рис. 3. Залежність концентрації феруму від тривалості контактування сорбентів із водними середовищами  
1 – цеоліт; 2 – бентоніт; 3 – глауконіт; 4 – сорбент лігноцелюлозний (СЛЦ)

Із рис. 3 випливає, що під час використання цеоліту, вміст феруму через 2 години контактування знижується до  $55,8 \text{ мг/дм}^3$ , бентоніту –  $27,9 \text{ мг/дм}^3$ , глауконіту –  $16,7 \text{ мг/дм}^3$ , СЛЦ –  $0,13 \text{ мг/дм}^3$ . Таким чином, ефективність очищення від феруму(III) під час використання СЛЦ становить  $99,79\%$ , що є ефективним показником. Вірогідно, поглинання целюлозними матеріалами іонів феруму є наслідком двох процесів, які відбуваються паралельно: коагуляції позитивно заряджених міцел сполук феруму(III) на поверхні волокон целюлози та іонообмінної сорбції. Целюлоза міцно утримує ферум(III) у формі гідроксиду, що сорбується із солей, які піддаються гідролізу. Кількість поглиненого феруму пропорційна до ступеня гідролізу його солей у розчині. Фіксація феруму відбувається з утворенням водневих зв'язків між целюлозою та гідроксидом металу. Можлива також взаємодія позитивно заряджених частинок оксиду феруму з негативно зарядженою целюлозою та без участі карбоксильних груп полімеру. Досить високо виявив себе щодо феруму і глауконіт, ефективність очищення склала  $73,9\%$ . Глауконіт належить до шаруватих силікатів із жорстким структурним осередком. У його складі сітка октаєдрів укладена між двома сітками тетраєдрів. Цей мінерал характеризується суттєвими відмінностями у

кількісному співвідношенні октаєдрів, що утворюють його структуру і тому різною сорбційною здатністю та ємністю залежно від того чи іншого родовища. У цьому разі показано, що глауконіт Адамівського родовища виявляє більшу ефективність щодо вилучення іонів феруму, ніж до цинку. У майбутньому заплановано дослідження впливу дози адсорбентів на процес вилучення важких металів із водних середовищ.

**Висновки.** Для вилучення фонів феруму та цинку з водних середовищ використано адсорбенти з природної сировини: цеоліт, глауконіт, бентоніт на СЛЦ, охарактеризовано їх хімічний

склад. Досліджено процес вилучення Zn і Fe під час застосування природних сорбентів витратою 4 г/дм<sup>3</sup> та тривалістю обробки водних середовищ 10–120 хв. Установлено, що ефективність вилучення цинку протягом 120 хв складає: під час використання цеоліту – 35,37%, глауконіту – 41,5%, бентоніту – 23,58 %, СЛЦ – 33,96%. Виявлено, що ефективність видалення іонів феруму(III) під час застосування цеоліту через 2 години контактування становить 12,8%, бентоніту – 56,4%, глауконіту – 73,9%, СЛЦ – 99,79%. Досягнуто майже повне вилучення йонів феруму(II) при обробці СЛЦ у кількості 4 г/дм<sup>3</sup>.

#### Список літератури:

1. Безцінний О.О. Відтворення відпрацьованих стічних вод, забруднених іонами важких металів. *Комунальне господарство міст*. 2018. № 142. С. 45–48.
2. Волошин М.Д., Щербак О.Л., Черненко Я.М., Корнієнко І.М. Удосконалення технології біологічної очистки стічних вод. Дніпродзержинськ : Дніпродзержинський державний технічний університет. 2009. 231 с.
3. Трус І.М., Гомеля М.Д., Мельниченко Є.В., Мігранова В.О. Очищення води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флотацією. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1 (15). С. 204–213.
4. Khazaei I., Aliabad M., Mosavian H.T.H. Use of agricultural waste for removal of Cr(VI) from aqueous solution. *Iranian Journal of Chemical Engineering*. 2011. Vol. 8. Pp. 11–23.
5. Kalipci E., Namal O.O. Removal of Cr(VI) using a novel adsorbent modification. Ultrasonic method with apricot kernel shells. *Environment Protection Engineering*. 2018. Vol. 44. Pp. 79–93.
6. Šoštarić T., Petrović M., Milojković J., Lacićević S., Cosović A., Stanojević M., Stojanović M. Application of apricot stone waste from fruit processing industry in environmental cleanup: copper biosorption study. *Fruits*. 2015. Vol. 70. Pp. 271–280.
7. Lu. X., Rao T., Zhong L. Static absorption of Fe in simulated micro-polluted water by waste walnut shell powder. *Environmental Pollution & Control (China)*. 2011. Vol. 1. Pp. 66–69.
8. Іванченко А.В. Науково-технологічні засади переробки N,P,K,Ca-вмісних відходів і одержання біомінеральних добрив : дис. ... докт. техн. наук. Дніпро : ДВНЗ «УДХТУ». 374 с.
9. Єлагонцев Д.О., Мухачев А.П., Супрунчук В.І. Сорбент лігноцелюлозний зі шкаралупи волоського горіха. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2019. № 29. № 1. С. 110–115.

#### Ivanchenko A.V., Soroka O.V., Yelatontsev D.O., Tkachenko E.E., Chuprinov E.V., Yatsen T.G., Revak O.A. RESEARCH INTO TECHNOLOGY OF ZINC AND FERUM EXTRACTION FROM AQUATIC ENVIRONMENTS BY SORBENTS BASED ON NATURAL RAW MATERIALS

*The ecological consequences of the discharge of untreated industrial wastewater contaminated with heavy metal ions are indicated. The analysis of modern technologies of extraction of heavy metals from water heterogeneous systems is made. The chemical composition of zeolite of the Sokernyanskoye deposit, glauconite of the Adamivskoye deposit, bentonite of the Cherkasy deposit, and physicochemical characteristics of the lignocellulose sorbent (SLC) are characterized. To obtain SLC from walnut shells and apricot kernels, treatment with 20% NH<sub>4</sub>OH was applied for 4 h, followed by treatment with acid-salt working 20% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 40% CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, and 40% H<sub>2</sub>O, with constant stirring for 4 hours. A titrimetric complexometric method based on the formation of colored metal complexes with EDTA (ethylenediaminetetraacetic acid) in the presence of indicators of xylenol orange (for Zn<sup>2+</sup> ions) and sulfosalicylic acid (for Fe<sup>3+</sup> ions) at pH 5–6 and pH 2.5, respectively.*

*The process of Zn and Fe ions extraction using natural sorbents with a consumption of 4 g/dm<sup>3</sup> and the duration of treatment of aqueous media of 60–120 min has been studied. It was found that the efficiency of extraction of zinc ions for 120 min is when using zeolite – 35.37%, glauconite – 41.5%, bentonite – 23.58%, SLC – 33.96%. It was found that the efficiency of extraction of iron (III) during treatment with zeolite after 2 hours of contact is 12.8%, bentonite – 56.4%, glauconite – 73.9%, SLC – 99.79%. Almost complete extraction of iron (III) ions was achieved with the use of SLC in the amount of 4 g/dm<sup>3</sup>. In the future, it is planned to study the effect of the dose of adsorbents on the process of extraction of heavy metals from aqueous media.*

**Key words:** zeolite, bentonite, glauconite, lignocellulose sorbent, adsorption, iron (III), zinc, heavy metals.

**Кіндзера Д.П.**

Національний університет «Львівська Політехніка»

**Сомар Г.В.**

Національний лісотехнічний університет

## ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВНОГО ПИЛУ ТА ЗОЛОШЛАКУ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ЛЕГКИХ НАПОВНЮВАЧІВ

Огляд джерел літератури показав, що одним із раціональних методів утилізації деревного пилу та золошлакових відходів теплових електростанцій є їх залучення до виробничих процесів, що відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій у промислово розвинених країнах. Такий підхід дає змогу зменшити кількість відвалів та запобігти подальшому накопиченню відходів. Основними перевагами використання вказаних відходів у виробничому процесі є захист навколишнього середовища та збереження сировинних ресурсів для виробництва готової продукції. Запропоновано технологію виробництва легких наповнювачів для бетону з використанням золошлакових відходів ТЕС та деревного пилу деревообробних підприємств як сировинних компонентів. Частину глинистого матеріалу, що є основним компонентом шихти за класичною технологією виробництва наповнювачів, можна замінити золошлаком, зважаючи на близький уміст основних хімічних компонентів. Уведення в склад шихти деревного пилу сприятиме формуванню пористості наповнювачів під час його вигорання за високих температур. Золошлакові відходи, які є гідралічними сумішами, необхідно висушувати, зважаючи на високий вологовміст. Оскільки енергозатрати на реалізацію процесу сушіння є значними, пошук альтернативних методів сушіння є актуальним завданням. Для реалізації процесу сушіння золошлаку запропоновано метод фільтраційного сушіння, який дає можливість інтенсифікувати процеси масо- і теплообміну, зменшити тривалість сушіння. Досліджено вплив швидкості теплового агента на тривалість процесу сушіння золошлаку. Кінетичні криві для золошлаку характеризуються періодами механічного витіснення та видалення вологи. Отже, сушіння золошлакових відходів фільтраційним методом дозволить знизити енерговитрати на реалізацію процесу за рахунок витіснення та видалення значної кількості вологи рухомих тепловим агентом під дією перепаду тиску. Результати дослідження кінетики сушіння є корисними для організації та інтенсифікації процесу як попереднього етапу на лінії виробництва легких наповнювачів. Зразки пористого наповнювача готували з використанням шихти різного складу. Досліджено фізико-механічні властивості зразків легких наповнювачів, як-от теплопровідність та міцність на стиск. Отримані наповнювачі рекомендовані для виробництва легких бетонів.

**Ключові слова:** золошлакові відходи, деревний пил, утилізація, легкі наповнювачі, фільтраційне сушіння, легкий бетон.

**Постановка проблеми.** Унаслідок діяльності підприємств різних галузей промисловості в Україні щорічно утворюється та накопичується значна кількість промислових відходів. На превеликий жаль, нині найпоширенішим способом поводження з промисловими відходами в Україні є розміщення їх у відвали, терикони, шламо- та хвостосховища, звалища та інші накопичувачі. Вони займають мільйони гектарів земель, є джерелом забруднення повітря, ґрунтів, підземних вод. Отже, проблема поводження з відходами є однією з найактуальніших проблем сьогодення і посідає пріоритетні позиції.

Зокрема, серед численного розмаїття промислових відходів значними є відходи деревини. В Україні щорічно заготовлюється близько

15,0 млн м<sup>3</sup> деревини, що призводить до утворення близько 49 млн т деревних відходів, які утворюються на всіх стадіях її заготівлі, переробки та обробки [1; 2]. Значна кількість деревних відходів вже утилізується раціональним чином, чого не можна сказати про дрібнодисперсні фракції деревини та деревний пил, які в значних кількостях утворюються на технологічних лініях шліфування виробів із деревини. Ураховуючи дрібнодисперсність деревного шліфувального пилу, його слід зарахувати до 3-го класу небезпеки, адже в ньому, окрім підвищеної шкідливості на організм людини, зосереджена прихована загроза у вигляді здатності до самозаймання під час нагромадження та зберігання на територіях підприємств. Утилізація дрібнодисперсних фракцій деревини,

що утворились унаслідок шліфування деревини, а також пилу, вловленого батарейними циклонами та фільтрами, проводиться через захоронення у відвали, які займають значні земельні площі.

Розробка заходів раціонального поводження з відходами паливно-енергетичного комплексу є також актуальним завданням. Збільшення потужностей теплових електростанцій супроводжується зростанням обсягів відходів у вигляді золи та шлаку. Наразі кількість утворених відходів перевищує 1,5 млрд т, що спричиняє значне екологічне навантаження на навколишнє середовище внаслідок їх розміщення у золо- та шлаковідвалах, більшість із яких є вже майже заповненими.

Розвинені країни давно навчилися отримувати прибуток від переробки промислових відходів. Добрим прикладом є острівна Японія – країна з мінімальними запасами природних ресурсів і найвищим показником циклічності економіки. Зважаючи на сучасні світові тенденції, методи утилізації відходів мають бути раціональними, що передбачає впровадження передових технологій із залученням відходів деревообробних підприємств, зокрема дрібнодисперсних фракцій деревини та деревного пилу, а також відходів паливно-енергетичного комплексу, у вигляді золи та шлаку у виробничі процеси як цінні сировинні ресурси для виробництва нових продуктів. Такий підхід є актуальним із точки зору як раціонального використання природних ресурсів, так і охорони навколишнього середовища [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасних умовах нестачі природних ресурсів утилізація відходів деревообробних підприємств та паливно-енергетичного комплексу через їх залучення у виробничі цикли (як вторинної сировини для отримання нових продуктів з упровадженням енергоефективних технологічних рішень) є важливим завданням сьогодення.

Аналіз літературних даних показав, що нині дрібнодисперсну деревину чи деревний пил використовують як енергетичну сировину для виробництва біопалива, а також в інших виробництвах як вторинну сировину для виготовлення нових матеріалів та продуктів [4]. Деревний пил може бути заміником деревного борошна – продукту, який має доволі високу собівартість, оскільки для його виробництва застосовують стадійне розмелювання деревини в млинах, що зумовлює значні енергозатрати. Зважаючи на вищесказане, доцільність використання деревного пилу є обґрунтованою для виробництва широкого різновиду термопластичних деревно-полімерних композиційних

матеріалів, лінолеумів, фенопластів (бакелітів, карболітів), арболітів, фібролітів, ксилолітів, тирсобетонів, королітів [2]. Зважаючи на тиксотропні якості деревного пилу, його застосовують як додаток під час формування клейових мас, шпаклівок, замазок. Деревний пил має виражені сорбувальні властивості, тому його використовують для виробництва сорбентів, що застосовуються в різних технологіях очищення газових і рідинних потоків від шкідливих компонентів.

Авторами робіт [5–9] пропонуються різноманітні способи утилізації відходів паливно-енергетичного комплексу. Золошлакові відходи рекомендують використовувати як добавки для виробництва цементу, бетону [10; 11]. Зола винесення придатна для одержання гіпсових в'язучих матеріалів – додавання її в сировинну суміш сприяє підвищенню міцності та водостійкості одержаних композицій [12]; золошлак може замінити високоякісну сировину під час виробництва кераміки [13]. Золошлакові матеріали володіють високою поглинальною здатністю та термічною стійкістю, що дає можливість їх використання для вловлювання парів нітратної кислоти [14], очищення стічних і поверхневих вод від нафтопродуктів [15].

Не дивлячись на розроблені та запроваджені технології застосування деревного пилу та золошлакових відходів, відомо, що в Україні лише близько 10% золошлакових відходів та близько 15% дрібнодисперсної деревини та пилу деревообробних підприємств використовуються як вторинні сировинні ресурси. Таким чином, необхідним є пошук нових сфер їх застосування, що дозволить не тільки зменшити наявну кількість вказаних відходів, а й запобігти складуванню нових партій.

**Постановка завдання.** Нами пропонується залучення вказаних відходів у виробництво пористих наповнювачів для легких бетонів, які (за класичною технологією) одержують способом випалювання шихти, основним компонентом якої є глина або суглинок, додатками є компоненти, здатні до вигорання за температури 800–1500°C, що сприяє формуванню пористості готового продукту [16].

На більшості ТЕС застосовують систему гідротранспорту золошлакових сумішей у відвали. Отже, золошлаки – це гідросуміші, які потребують попередньої дегідратації перед їх застосуванням як сировинних ресурсів. Проблема реалізації процесів сушіння золошлаків ТЕС полягає в тому, що внаслідок низької ефективності використання теплової енергії в барабанних сушарках, енергозатрати на процес сушіння є в декілька разів більшими, ніж це потрібно на перетворення вологи в пару. Окрім

цього, за температур теплового агента більше 300°C, пилоподібна фракція матеріалу здатна до самозаймання, що спричиняє виробничі небезпеки.

Запропонований нами метод фільтраційного сушіння золошлаків ТЕС дає змогу використати низькотемпературний тепловий агент; зменшити втрати матеріалів з відпрацьованим сушильним агентом, оскільки найдрібніші частинки будуть втримуватись стаціонарним шаром; зменшити споживання енергії в процесі сушіння, оскільки значна кількість вологи з матеріалу буде механічно витіснятися та виноситись рухомих тепловим агентом внаслідок перепаду тисків; інтенсифікувати процеси масо- та теплопередачі за допомогою збільшення швидкості руху теплового агента до науково обґрунтованих меж. Таким чином, застосування фільтраційного методу для сушіння золошлаку позитивно вплине на собівартість готової продукції. Для розробки науково обґрунтованих режимів фільтраційного сушіння золошлаку, як складника шихти для виробництва пористих наповнювачів, необхідним є проведення досліджень кінетики процесу з метою визначення тривалості процесу та встановлення параметрів інтенсифікації.

**Метою статті** є оцінка можливості використання деревного пилу та золошлаків ТЕС як ресурсів сировини для виготовлення легких наповнювачів; дослідження основних закономірностей кінетики фільтраційного сушіння золошлаку ТЕС за різних швидкостей руху теплового агента з метою інтенсифікації;

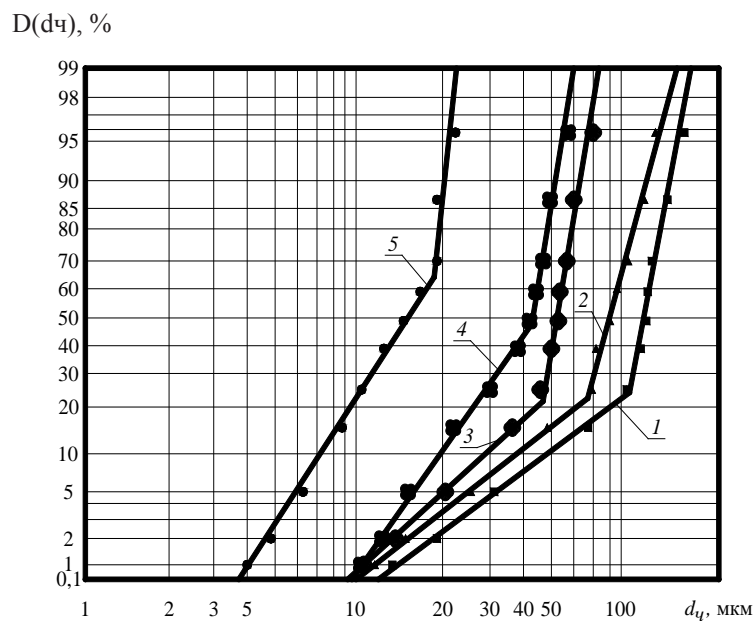
дослідження фізико-механічних властивостей пробної партії легких наповнювачів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

У роботі об'єктами дослідження вибрано деревний пил, утворений у цеху шліфування деревини та золошлак теплової електростанції. Дослідження проводилися на основі аналізу та систематизації наукових уявлень про фактори, що впливають на створення наповнювачів на основі вторинних сировинних ресурсів, методів, направлених на поліпшення фізико-механічних властивостей.

*Деревний пил.* Хімічний склад деревного пилу відповідає складу вихідної деревини, основним компонентом якого є целюлоза (48–53% від загального складу). Дисперсний склад пилу визначали за допомогою приладу X-ray Disc Centrifuge Particle Size Analyzer Ver. 3.78, на основі чого встановлено, що понад 80% складу деревного пилу, утвореного внаслідок процесів шліфування заготовок із масиву деревини, представлено дрібнодисперсною фракцією. Насипна щільність деревного пилу залежить від багатьох факторів (вологість, розміри і форми частинок, порода деревини) і перебуває в межах 110–120 кг/м<sup>3</sup>. На рис. 1 наведені інтегральні криві розподілу часток пилу в пробах, відібраних одночасно на дільниці шліфування меблевих заготовок із масиву деревини.

Порівнюючи розміщення кривих на координатній сітці (рис. 1), можна зробити висновок про те, що їх положення залежить від максимального



**Рис. 1.** Криві розподілу частинок деревинного пилу:  
 1 – в системі аспірації; 2 – від шліфувального барабана;  
 3 – до батареї циклонів (сума 1 і 2);  
 4 – після батареї циклонів; 5 – після фільтру

діаметра частинок пилу. На основі узагальнення результатів досліджень, отримано залежність, яка дає змогу розрахувати максимальний діаметр частинки пилу, що аспірується від шліфувального верстата:

$$\delta_{\max} = \frac{3}{g} \sqrt{\frac{2 \cdot \eta \cdot U_{\text{вх}}}{1 + 0,08 \cdot \frac{U_{\text{вх}} \cdot L}{U_0 \cdot H}}} \quad (1)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Па·с;  $U_{\text{вх}}$  – швидкість повітряного потоку при вході в зону аспіраційного укриття, м/с;  $U_0$  – швидкість повітряного потоку в зоні аспіраційного укриття, м/с;  $L$  та  $H$  – довжина і висота зони аспіраційного укриття відповідно, м.

Отримані дані у вигляді рис. 1 та залежності (1) дають уявлення про об'єкт дослідження та є корисними для розроблення заходів щодо утилізації пилу підприємства.

**Золошлак.** Для визначення хімічного складу золошлакових відходів, що є необхідним для передбачення його властивостей, проби були відібрані з золошлакового відвалу та електричних фільтрів ТЕС. Хімічний склад золошлаку, визначений методом рентгенофлуоресцентної спектроскопії, наведений у таблиці 1.

Таблиця 1

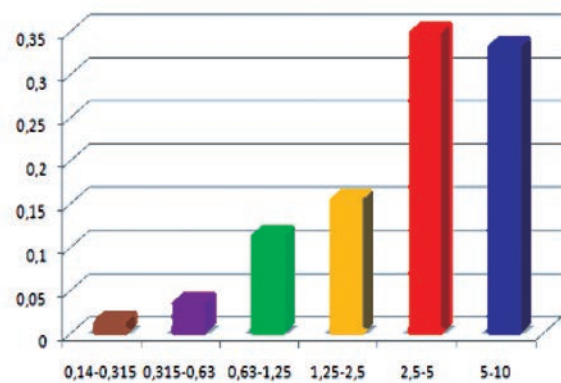
**Хімічний склад золошлаку, %**

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Проба з місця складування								
50,8%	21,4%	20,5%	0,7%	3,0%	1,2%	0,3%	0,6%	1,5%
Проба з електрофільтру								
50,4%	20,9%	20,8%	0,5%	4,5%	1,1%	0,2%	0,3%	1,3%

Загалом, золошлак за своїм складом є ідентичний до глини – природної сировини, що дає змогу його введення в склад шихти для виробництва пористих наповнювачів. Під час оцінювання золошлакових відходів, як сировинного компонента шихти для виготовлення легких наповнювачів, важливою характеристикою їх хімічного складу є співвідношення основних та кислотних оксидів, що виражається модулем основності:  $M_0 = (\text{CaO} + \text{MgO}) : (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$ . У відібраних зразках золошлаку  $M_0 < 1$ , що вказує на їх кислий тип, який зумовлює послаблені формувальні властивості.

Гранулометричний склад золошлаку, що є однією з основних його характеристик як сировинного матеріалу, визначений за допомогою ситового аналізу і представлений на рис. 2. Результати розподілу частинок за розмірами вказують на тонкодисперсність золошлаку, що зумовлює його пластичність (властивість склеювання) і позитивно впливатиме на міцність виробів.

Масова частка

 $d_i \cdot 10^3, \text{ м}$ **Рис. 2.** Гранулометричний склад золошлаку

Беручи до уваги хімічний склад, модуль основності та гранулометричний склад золошлаку, зроблено висновок про можливість його застосування в складі шихти для виробництва легких наповнювачів. Для підвищення формульної здатності зразків наповнювача, частину сировинного глинистого матеріалу можна замінити золошлаком, уводячи при цьому в склад шихти незначну кількість затверджувачів.

Середній вологовміст золошлаку, відібраного з місць складування, становить 0,28 кг H<sub>2</sub>O/кг сух. мат. і зумовлений наявністю вологи в середині пористої структури частинок, поверхневої вологи та вологи міжзернового простору між окремими частинками, що втримується силами поверхневого натягу. Для застосування як сировинного компонента шихти золошлак необхідно висушити до рекомендованої вологості.

Дослідження кінетики процесу сушіння золошлаку фільтраційним методом проводили на експериментальній установці [17]. На перфорованому дні циліндричного контейнера формували стаціонарний шар золошлаку, для сушіння якого тепловий агент, попередньо нагрітий у калорифері, подавали в напрямку «вологий матеріал – перфороване дно контейнера». Проведено серію експериментів за різних витрат теплового агента, які реєструвались електронним витратоміром. Експерименти проводились до досягнення сталої маси зразка.

Результати досліджень впливу швидкості руху теплового агента, зумовлених різною витратою, на зміну вологовмісту шарів золошлаку в часі під час реалізації процесу фільтраційного сушіння представлені на рис. 3 у вигляді графічних залежностей. Висота шару та температура теплового

агенту для матеріалу вибиралися як оптимальні, виходячи з попередньо проведених розрахунків енергозатрат та характеристик матеріалу.

$w^c$ , кг  $H_2O$ /кг сух. м.

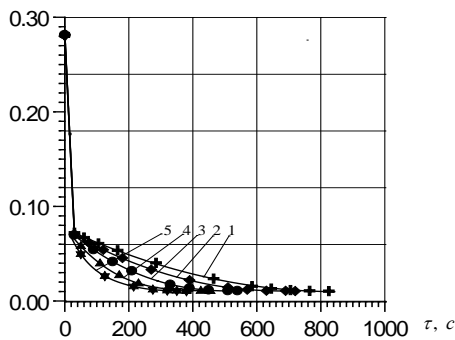


Рис. 3. Зміна вологовмісту стаціонарного шару шлаку в часі ( $H=120 \cdot 10^{-3}$  м;  $T=353$  К):  
 1 –  $v_0 = 0,63$  м/с; 2 –  $v_0 = 0,98$  м/с; 3 –  $v_0 = 1,33$  м/с;  
 4 –  $v_0 = 1,67$  м/с; 5 –  $v_0 = 2,02$  м/с

Аналіз рис. 3 показує, що збільшення швидкості теплового агента від 0,63 до 2,02 м/с, дає змогу скоротити час сушіння у 2,2 раза. Прямолінійна ділянка на рис. 3 вказує на наявність періоду механічного витіснення та винесення поверхневої вологи, яка втримується частинками золашлаку за рахунок сил поверхневого натягу, а також вільної вологи, що міститься в проміжках між частинками, зі стаціонарного шару матеріалу рухомим тепловим агентом. Це явище забезпечуватиме зменшення енергозатрат на реалізацію процесу фільтраційного сушіння. Отримані результати є корисними для організації та інтенсифікації процесу фільтраційного сушіння золашлаку як попередньої стадії на лінії з виробництва пористих наповнювачів.

*Зразки наповнювача.* Ураховуючи вищесказане та згідно з рекомендаціями, представленими в літературі, для формування зразків легких напо-

внювачів обрано такий склад шихти: золашлакові відходи (35–45%) (попередньо висушені фільтраційним методом), глина (55–45%), деревний пил (10%). На основі обраних складів шихти отримано пробну партію легких наповнювачів із застосуванням затверджувача. Первинна пористість у сформованих зразках виникала після гранулювання шихти. Зразки поміщали в муфельну піч і за температури 1000 К відбувалося випалювання дрібнодисперсної деревини, а також усередині гранул утворювалась газоподібна фаза, яка створювала надлишковий тиск у внутрішньому просторі, що сприяло пароутворенню. Беручи до уваги фізико-механічні властивості наповнювачів (Табл. 2), вони можуть бути рекомендованими для виробництва легких бетонів.

Таблиця 2

**Фізико-механічні властивості наповнювачів**

Уміст глини, %	Уміст деревного пилу, %	Уміст золашлаку, %	Теплопровідність, Вт/м К	Міцність на стиск, МПа
55	10	35	0,23	2,25
50	10	40	0,18	1,58
45	10	45	0,14	1,08

**Висновки.** Запропонований метод утилізації золашлаку та деревного пилу створить умови для безвідходного виробництва деревообробних підприємств та об'єктів паливно-енергетичного комплексу, дасть змогу рекультивувати земельні площі відведені під звалища, розширить сировинну базу виробництва пористих наповнювачів для бетонів. Запропонований метод фільтраційного сушіння золашлаку сприятиме зменшенню енерговитрат на лінії сушіння, що позитивно вплине на собівартість готової продукції.

**Список літератури:**

1. Масікевич А.Ю., Масікевич Ю.Г. Перспективи утилізації відходів деревини у Чернівецькій області. *Екологічна безпека*. 2011. № 2(12). С. 63–66.
2. Повзун О.І., Подкопаєв С.В., Вірич С.О. Горячева Т.В., Дорох С.Г. Утилізація відходів полімерного та лісохімічного виробництва у дорожньому будівництві. *Екологічна безпека*. 2016. № 2(22). С. 102–111.
3. Шмандий В.М. Пляцук Д.Л. Передумови побудови моделі імовірнісного розподілу забруднюючих речовин в атмосфері. *Екологічна безпека*. 2014. № 2(18). С. 56–60.
4. Ялечко В.І. Можливість використання деревних відходів як альтернативного палива для котельних установок. Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні. зб. наук. праць X-ї Міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, 4–5 квітня. 2019 р. Львів, 2019. С. 146–148.
5. Ahmaruzzaman M. A review on the utilization of fly ash. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2010. Vol. 36. P. 327–363.
6. Yao Z. T., Ji X. S., Sarker P. K., Tang J. H., Ge L. Q., Xia M. S., Xi. Y. Q. A comprehensive review on the applications of coal fly ash. *Earth-Science Reviews*. 2015. Vol. 141. P. 105–121.
7. Blissett R.S., Rowson N.A. A review of the multicomponent utilisation of coal fly ash. *Fuel*. 2012. Vol. 97. P. 1–23.



8. Sett R. Flyash: characteristics, problems and possible utilization. *Advances in Applied Science Research*. 2017. Vol. 8 (3). P. 32–50.
9. Адеева Л.Н., Борбат В.Ф. Зола ТЭЦ – перспективное сырье для промышленности. *Вестник Омского университета*. 2009. № 2. С. 141–151.
10. Энтин З.Б., Нефедова Л.С., Стржалковская Н.В. Зола ТЭС – сырье для цемента и бетона. *Цемент и его применение*. 2012. № 2. С. 40–46.
11. Капустин А.Ф., Семериков И.С. Состав и свойства композиционного цемента с добавкой золошлаковой смеси ТЭС. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2011. № 16 (12). С. 38–40.
12. Шарифов А., Субхонов Д.К., Шодиев Г.Г., Бобоев Т.С. Использование золы угля Фан-Ягнобского месторождения в качестве наполнителя композиций из гипсовых вяжущих. *Доклады Академии наук Республики Таджикистан*. 2016. Т. 59. № 9–10. С. 413–417.
13. Albertini A.V.P., Silva J.L., Freire V.N. Immobilized invertase studies on glass-ceramic support from coal fly ashes. *Chemical Engineering Journal*. 2013. Vol. 214, P. 91–96.
14. Федорова Н.В., Щеглов Ю.В., Антоненко Е.М. Исследование сорбирующих свойств золошлаковых материалов ТЭС по отношению к парам азотной кислоты. Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12. № 3. С. 399–408.
15. Шишелова Т.И., Самусева М.Н., Шенькман Б.М. Использование ЗШО в качестве сорбента для очистки сточных вод. *Современные наукоемкие технологии*. 2008. № 5. С. 20–22.
16. Хлопицкий О.О. Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України. *ScienceRise*. 2014. № 4/2(4). С. 23–28.
17. Hosovskyi R., Kindzera D., Atamanyuk V. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks. *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. Vol. 10(4), P. 459–464.

#### **Kindzera D.P., Somar H.V. APPLICATION OF WOOD DUST AND ASH-SLAG OF THERMAL POWER PLANTS FOR PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT AGGREGATES**

*Review of literature data showed that one of the rational method of wood dust and ash-slag waste utilization is to involve them in to production processes, which corresponds to current trends in technology in industrialized countries. This approach makes it possible to reduce the number of dumps and prevent further accumulation of wastes. Therefore, the main benefits of using such wastes in the production process are environmental protection and conservation of raw resources for the production of finished products. The technology for production of lightweight aggregates for concrete by using ash-slag waste of thermal power plants and wood dust of woodworking enterprises as raw materials have been proposed. Part of the clay material, which is the main component of the charge according to the classic technology of aggregate production, can be replaced by ash slag, due to the close content of the main chemical components. The introduction of wood dust into the charge will promote the formation of porosity of aggregates during its burning at high temperatures. Ash-slag wastes, which are hydraulic mixtures, should be dried due to the high moisture content. Since the energy consumption of drying processes is significant, finding alternative drying methods is an urgent task. To implement the drying process of ash-slag, the filtration drying method has been proposed which gives an opportunity to intensify mass and heat transfer processes and to reduce drying time. The thermal agent velocity effect on the drying process duration of ash-slag was investigated. Kinetic curves for ash-slag show periods of mechanical displacement and removal of moisture. Therefore, drying of the ash-slag wastes, by the filtration method will reduce energy consumption due to the displacement and removal of significant amount of moisture by the moving thermal agent due to the pressure drop. The drying kinetics results are useful for the organization and intensification of the process as a preliminary stage step at the lightweight aggregates production line. Samples of porous aggregates were prepared by using a charge of different composition. The samples of lightweight aggregates were tested for physical and mechanical properties, namely for thermal conductivity and compression strength. Obtained aggregates are recommended for the production of lightweight concretes.*

**Key words:** ash-slag waste, wood dust, utilization, lightweight aggregates, filtration drying, lightweight concrete.

## ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

---

УДК 658.8:663.41

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/29>

**Одарченко Д.М.**

Державний біотехнологічний університет

**Пенкіна Н.М.**

Державний біотехнологічний університет

**Татар Л.В.**

Державний біотехнологічний університет

**Соколова Є.Б.**

Державний біотехнологічний університет

**Скирда О.Є.**

Державний біотехнологічний університет

## МАРКЕТИНГОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПИВА ТА СЛАБОАЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ

*Визначено напрями збору маркетингової інформації для формування інформаційного забезпечення інноваційних рішень: аналіз ринку; конкурентний аналіз; аналіз споживчих уподобань; аналіз інноваційних процесів у галузі. На основі даного методичного підходу зібрано та використано інформацію для обґрунтування маркетингової концепції інноваційної пивної та слабоалкогольної продукції. Проаналізовано і визначено потенціал ринку та перспективи виведення на ринок нової продукції. Проведено конкурентний аналіз та виявлено основних національних лідерів ринку, оцінено конкурентоспроможність існуючої продукції та визначено її особливості.*

*Здійснено позиціонування існуючих напоїв на ринку на основі співвідношення ціна–харчова цінність. Харчова цінність продуктів визначена на основі порівняльного аналізу складу компонентів із використанням розробленої п'ятибальної шкали. За результатами позиціонування пива з натуральними рослинними компонентами виявлено вільну нішу в середньому ціновому сегменті. Визначено, що доцільним є пошук шляхів підвищення харчової цінності пива, в тому числі – оригінальних ідей щодо натуральних рослинних компонентів.*

*Проаналізовано склад та оцінено харчову цінність слабоалкогольних напоїв лідерів національного ринку. З'ясовано, що пропонуються слабоалкогольні напої з низькою харчовою цінністю, за використаною шкалою вона оцінена від 2,6 до 3-х балів. Проведено позиціонування слабоалкогольних напоїв на ринку та виявлено, що не вистачає якісного слабоалкогольного напою з високою харчовою цінністю. Визначено доцільність використання оригінальних рослинних компонентів, які здатні зменшити негативний вплив алкоголю та покращити харчові властивості пива та слабоалкогольних напоїв.*

*У результаті використання запропонованого науково-методичного підходу до формування інформаційного забезпечення інноваційних рішень у пивоварній галузі обґрунтовано маркетингову концепцію нових видів пива та слабоалкогольних напоїв, одержаних шляхом додавання натуральних рослинних компонентів із підвищеними антиоксидантними властивостями, які сприяють зменшенню негативного впливу алкоголю на організм людини. Це дозволило покращити харчові властивості пива та слабоалкогольних напоїв, що має суттєве соціальне значення з точки зору мінімізації негативного впливу алкоголю на здоров'я людини. Запропоновані ідеї в межах концепції соціально-етичного маркетингу, відповідно до якої вирішується важливе соціальне завдання, сприятимуть насиченню ринку пива та слабоалкогольних напоїв продукцією з підвищеною харчовою цінністю, зі зменшеним негативним впливом алкоголю на організм людини.*

**Ключові слова:** ринок пива та слабоалкогольних напоїв, маркетинг, позиціонування, харчова цінність.

**Постановка проблеми.** Загострення соціально-економічної кризи в Україні зумовлює необхідність пошуку шляхів забезпечення стабільного функціонування та подальшого розвитку підприємств, у тому числі пивоварної галузі. Одним із них є активізація інноваційної діяльності, внаслідок успішності якої забезпечуються конкурентні переваги продукції та підприємства загалом, підвищується їх конкурентоспроможність. Найбільш складним етапом інноваційної діяльності є пошук інноваційних ідей. Важливу роль при цьому відіграє інформація, для збирання якої необхідно проводити комплексні маркетингові дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Натепер у науковій літературі є значна кількість досліджень, що відображають напрями інноваційної діяльності підприємств, серед яких важливу роль відіграє товарна інноваційна політика, яка є складовою частиною комплексу маркетингу підприємства й передбачає розроблення і впровадження нових товарів, а також удосконалення, модифікацію товарів, що вже виробляються, підвищення їх якості та конкурентоспроможності. Особливості інформаційного забезпечення інноваційного процесу на основі маркетингових досліджень, бенчмаркінгу, моніторингу наукових досягнень висвітлені в працях Н.Л. Савицької [1], О.Г. Чирва [2]. Розгляду пріоритетних інноваційних напрямів на підприємствах харчової промисловості, а саме питанню взаємодії інноваційної діяльності та ефективності наукових досліджень, присвячено дослідження О.Б. Каламан [3]. Проблеми розвитку пивоварної галузі досліджува-

лися в працях О.М. Петухової [4], І.П. Магдич [5], І.О. Седікової [6] та ін.

Дослідження показують, що методологічні та прикладні аспекти формування маркетингової інноваційної стратегії та політики підприємства на ринку пива та слабоалкогольних напоїв вимагає подальшого розвитку теоретичних та практичних аспектів використання маркетингових інструментів у процесі інноваційної діяльності.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення науково-методичного підходу до формування інформаційного забезпечення прийняття інноваційних рішень та з його використанням обґрунтування маркетингової концепції інноваційної пивної та слабоалкогольної продукції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У сегменті алкогольних напоїв лідером ринку за обсягами продажу є пиво, на частку якого приходиться більш ніж 46%, його споживає більша частина дорослого населення. Значним попитом також характеризуються слабоалкогольні напої, які, як і пиво, вибираються як напої для спілкування в колі друзів та як напої, що піднімають настрій. Унаслідок постійного вдосконалення технологій та виведення на ринок нової продукції асортимент пива став досить глибоким та широким, виробниками пивоварної галузі виробляється близько 880-ти найменувань пива [7]. Постійно розширюється й асортимент слабоалкогольних напоїв. У цих умовах ключову роль у конкурентній боротьбі відіграватиме інноваційна діяльність.

Для формування інформаційного забезпечення інноваційних рішень визначено напрями збору



**Рис. 1. Маркетингові дослідження як основа прийняття інноваційних рішень (розроблено авторами)**

маркетингової інформації (рис. 1), серед яких виділено: аналіз ринку; конкурентний аналіз; аналіз споживчих уподобань; аналіз інноваційних процесів у галузі.

На основі даного методичного підходу було зібрано та використано інформацію для обґрунтування маркетингової концепції інноваційної пивної та слабоалкогольної продукції. У процесі аналізу ринку визначають його потенціал та перспективи виведення на ринок нової продукції. Потенціал ринку характеризують показники виробництва та споживання продукції. За даними Державної служби статистики [8] (рис. 2–3), спостерігається динаміка падіння обсягів виробництва пива і слабоалкогольних напоїв.

За 2017–2021 рр. обсяги виробництва пива в Україні скорочувалися щорічно, найбільше – у 2021 р. на 37,1%. Загальне падіння в дослідженому періоді становило майже 35% [8].

На відміну від тенденцій виробництва пива виробництво слабоалкогольних напоїв було майже стабільним – більше 10 млн дал. на рік. У цілому за досліджуваний період виробництво слабоалкогольних напоїв скоротилося на 27,2%.

За результатами статистичного аналізу динаміки виробництва і роздрібного продажу пива та слабоалкогольних напоїв виявлено суттєве скорочення, що пов'язано з такими факторами:

- зниженням платоспроможності населення, внаслідок чого відбулося падіння попиту на дані види напоїв, які не входять до групи товарів першої необхідності;
- зростанням цін на пиво та слабоалкогольні напої, що пов'язано як з ростом темпів інфляції, так і зі збільшенням акцизу, що в сукупності також призвело до зменшення обсягів споживання даних напоїв;
- втратою ринків збуту внаслідок військового конфлікту на сході України;

– загостренням проблем у зовнішньоекономічній діяльності через утрату російського ринку збуту.

Установлено, що темпи падіння обсягів виробництва пива та слабоалкогольних напоїв перевищують темпи падіння внутрішнього споживання, що свідчить про втрачання зовнішніх можливостей. Для стабілізації ситуації в пивній галузі підприємствам необхідно активізуватися в напрямі вдосконалення технологій виробництва пива та слабоалкогольних напоїв, забезпечувати виведення на ринок продукції з покращеними споживними властивостями з метою освоєння нових ніш ринку, вихід на перспективні європейські ринки.

Під час прийняття інноваційних рішень важливим є проведення конкурентного аналізу з метою виявлення основних учасників ринку, конкурентоспроможності їхньої продукції та визначення особливостей існуючої на ринку продукції.

На ринку пива основними національними лідерами є ПАТ «Карлсберг Україна», ПАТ «Оболонь», компанія «САН ІнБев Україна», продукцію також випускають регіональні виробники та численні невеликі пивоварні. Усе це свідчить про гостру конкурентну боротьбу на ринку пива. Гостра конкуренція розгорнулася також серед торгових марок, лідерами є ТМ «Carlsberg» (19,4%), «Балтика» (13,2%) та «Львівське» (8,3%); середні позиції належать «Tuborg» (6,7%) та «Velkorovický Kozel» (4,9%); за ними йдуть «Жигулівське» (3,1%), «Чернігівське» (2,6%) та «Оболонь» (2,6%) [7].

Для визначення позицій напоїв на ринку здійснюємо позиціонування на основі співвідношення таких важливих для споживачів характеристик, як ціна та харчова цінність. Харчова цінність продуктів визначена на основі порівняльного аналізу складу компонентів із використанням 5-ти бальної шкали (табл. 1).

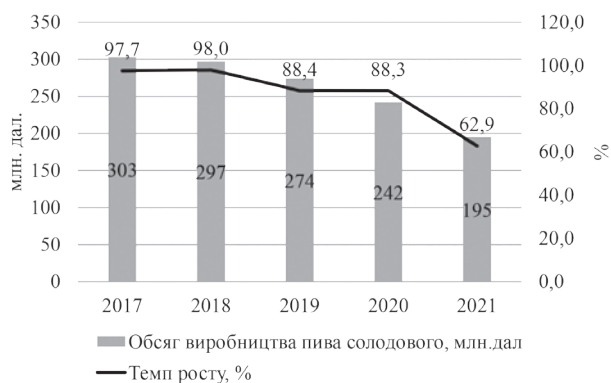


Рис. 2. Динаміка виробництва пива в Україні у 2017–2021 рр.



Рис. 3. Динаміка виробництва слабоалкогольних напоїв в Україні у 2017–2021 рр.

Таблиця 1

**Шкала оцінювання харчової цінності напоїв**

До 1,0 балу	Від 1,1 до 2,0 балів	Від 2,1 до 3,0 балів	Від 3,1 до 4,0 балів	Від 4,1 до 5,0 балів
Дуже низька харчова цінність	Низька харчова цінність	Середня харчова цінність	Висока харчова цінність	Дуже висока харчова цінність

\*Розроблено авторами

Серед сучасних тенденцій пивоваріння виявлено додавання до традиційного пива рослинних інгредієнтів. Було проаналізовано склад та оцінено харчову цінність пива з рослинними компонентами лідерів національного ринку згідно з табл. 1:

1. Пиво світле спеціальне пастеризоване «Seth & Riley's Garage» зі смаком лимона, виробник ПАТ «Карлсберг Україна», вміст спирту 4,6 об% – 3,5 бали;

2. Пиво світле спеціальне пастеризоване «Славутич айс мікс зі смаком лимону» (ICE BEERMIX LIME), виробник ПАТ «Карлсберг Україна», вміст спирту 3,5 об% – 4,0 бали;

3. Пиво спеціальне пастеризоване «Бірмакс Лимон», виробник ПАТ «Оболонь», вміст спирту 2,5 об% – 3,8 бали.

Установлено використання натуральних фруктових ароматизаторів, фруктового натурального концентрату соку, регулятора кислотності, аскорбінової кислоти. Завдяки цим компонентам одержано оригінальні види пива з рослинними добавками, які сприяють покращенню споживних властивостей напою.

На основі проведених досліджень та за результатами позиціонування пива з натуральними рослинними компонентами виявлено вільну нішу в середньому ціновому сегменті, тому, враховуючи обмеженість платоспроможного попиту, перспективним є освоєння саме цієї ніші. Доцільним є пошук шляхів підвищення харчової цінності пива, в тому числі оригінальних ідей щодо натуральних рослинних компонентів.

На ринку слабоалкогольних напоїв також спостерігається досить гостра конкурентна боротьба, на ньому представлена велика різноманітність торгових марок, проте всі вони належать чотирьом національним компаніям, які захопили понад 90% усього ринку в натуральному вираженні. Серед лідерів ринку такі компанії:

– ГК «Нові продукти» – лідер, який контролює близько 60% всього ринку. Торгові марки компанії: САН Shake, King's Bridge, Roger's, Creamel, Revo Alco; енергетичні напої Revo Energy, Pit Bull, Non Stop. Частки ринку за торговими марками:

27,7% – ТМ Revo, 17,5% – Shake, 10,8% – King's Bridge, 0,48% – Roger's, 0,15% – Creame;

– Корпорація «Оболонь» – класичні САН «Бренді-кола», «Ром-кола», «Джин-тонік», «Віскі-вишня», нові САН «Ice Life» і «Ріо де Мохіто». Частка компанії на ринку САН – близько 25%;

– IBB Regent house London – енергетичний напій ТМ «Ягуар» забезпечує компанії частку на ринку 4,5%;

– компанія «Росинка» – САН «Шоколад», «Фейхоа», «Фруктовий фізз», «Горілка лимон», «Горілка журавлина», «Бренді кави», «Біанко», «Мохіто». Частка компанії на українському ринку – 4%.

Аналізуючи пропозицію на ринку слабоалкогольних напоїв, ми встановили використання штучних ароматизаторів, консервантів, синтетичних барвників, які значно знижують їхню харчову цінність. Було проаналізовано склад та оцінено харчову цінність слабоалкогольних напоїв лідерів національного ринку згідно з табл. 1:

1. Напій слабоалкогольний сильногазований «Смак Джин Тонік Стронг», виробник ПАТ «Оболонь», вміст спирту 8,0 об% – 3,0 бали;

2. Напій слабоалкогольний сильногазований «Росинка Мохіто», Київський завод безалкогольних напоїв «Росинка», вміст спирту 7,0 об% – 2,8 бали;

3. Напій слабоалкогольний сильногазований «Shake Coctails», ТОВ «Напої України», вміст спирту 7,0 об% – 2,6 бали.

З'ясовано, що на ринку пропонуються слабоалкогольні напої з низькою харчовою цінністю, за використаною шкалою вона оцінена від 2,6 до 3-х балів. Досліджені напої містять багато некорисних компонентів, надмірне споживання яких є шкідливим для здоров'я. Проведено позиціонування слабоалкогольних напоїв на ринку та виявлено, що не вистачає якісного слабоалкогольного напою з високою харчовою цінністю.

У зв'язку з означеними тенденціями інноваційних процесів у сфері харчових технологій визначено доцільність використання оригінальних рослинних компонентів, які здатні зменшити негативний вплив алкоголю та покращити харчові властивості пива та слабоалкогольних напоїв.

З метою обґрунтування нових підходів до формування споживних властивостей пива та напівфабрикату для слабоалкогольних напоїв проведено маркетингове дослідження мешканців м. Харкова методом опитування. Оскільки за результатами дослідження оброблено більше ніж 900 анкет, одержані результати можна вважати надійними [9]. Вибірку становили люди різної

статті, з урахуванням специфіки продукту старше 18-ти років, із різним рівнем доходів – всього 963 респонденти.

Важливою характеристикою споживчого попиту є переваги споживачів щодо видів слабоалкогольних напоїв. Відповідно до результатів опитування (рис. 5) більшість респондентів віддають перевагу пиву та слабоалкогольним коктейлям, а саме 53,1 (745 осіб) та 18,3% (257 осіб), відповідно. Майже 12% віддають перевагу напою «Джин-Тонік», інші види слабоалкогольних напоїв воліє купувати зовсім незначна частка опитаних – від 2 до 5%.

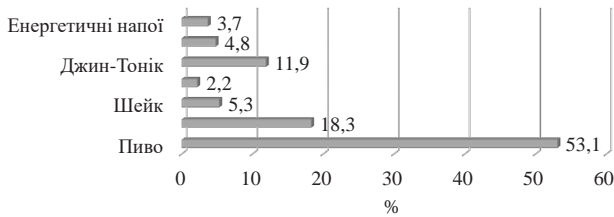


Рис. 4. Переваги споживачів щодо виду слабоалкогольних напоїв

У процесі дослідження частоти споживання пива встановлено, що більшість опитаних (367 осіб, або 38%) споживають його 2–3 рази на місяць, 23% – раз на тиждень та 11% – 2–3 рази на тиждень. Водночас дуже рідко споживають пиво 19% опитаних. Слід також відзначити, що серед респондентів 86 осіб, або майже 9% не споживають пиво взагалі.

За частотою споживання слабоалкогольних напоїв розподіл респондентів суттєво відрізняється, воно є менш інтенсивним. Як і в попередньому випадку, жоден респондент не споживає слабоалкогольні напої кожного дня. 29% опитаних споживають 2–3 рази на тиждень, ще 6% – раз на тиждень. Дуже рідко слабоалкогольні напої вживають більш 40% респондентів, а 14% – лише 2–3 рази на місяць.

З огляду на наведені дані щодо переваг відносно вибору виду слабоалкогольних напоїв та частоти їх споживання доцільним є пошук шляхів покращення споживних властивостей пива, а також слабоалкогольних напоїв. У цілому для збільшення можливостей нарощення потенціалу ринку пива та слабоалкогольних напоїв необхідним є розширення їх асортименту за рахунок створення нових та вдосконалення вже існуючих технологій виробництва даного виду продукції та формування культури її споживання.

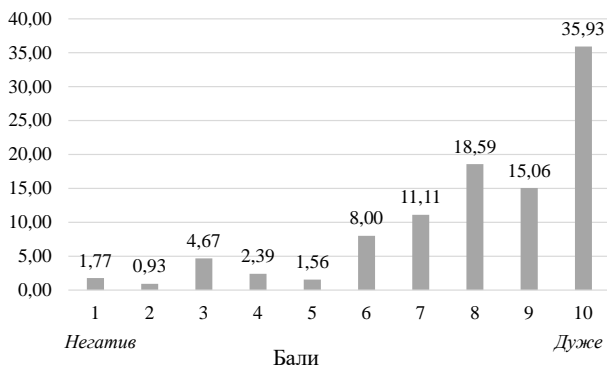
Зроблений висновок підтверджують і дані щодо задоволеності споживачів асортиментом

пива та слабоалкогольних напоїв. У сукупності асортиментом пива задоволені та абсолютно задоволені менше половини опитаних, а саме 44,5%, ще 22,2% не змогли визначитися, що свідчить про певну міру незадоволеності їхніх потреб асортиментом представленої на ринку продукції. Поряд із цим 33,3% опитаних взагалі незадоволені асортиментом пива, в тому числі 9% – абсолютно не задоволені. Водночас виявлено більшу міру незадоволеності споживачів асортиментом слабоалкогольних напоїв, таку думку виявили майже 60% опитаних, і лише 120 осіб, що становить 12,4% від вибіркової сукупності, відзначили свою задоволеність.

У результаті опитування виявлено незадоволений попит споживачів, що зумовлює доцільність розширення асортименту пива та слабоалкогольних напоїв. У контексті пошуку інноваційних ідей важливо встановити чинники, що впливають на вибір напою під час прийняття рішення щодо купівлі. Під час дослідження респондентам було запропоновано серед чинників, до яких були включені оригінальний смак, аромат напою, склад інгредієнтів, ціна напою, термін зберігання, дизайн упаковки, вибрати два найбільш важливих для них. За результатами опитування встановлено, що більшість респондентів, а саме 67,18%, під час вибору пива чи слабоалкогольних напоїв орієнтуються на оригінальність смаку, для 40,2% також важливим є склад інгредієнтів, а 15,7% звертають увагу на аромат напою. Саме наведені характеристики формують смакові властивості та харчову цінність продукції, тому в контексті пошуку можливостей задоволення потреб споживачів пива та слабоалкогольних напоїв необхідно додавати до напоїв інгредієнти, які сприятимуть формуванню оригінального смаку й аромату напоїв.

Слід також звернути увагу на те, що для 35% споживачів важливу роль під час вибору пива чи слабоалкогольних напоїв відіграє ціна продукції, тому в умовах обмеженого платоспроможного попиту вибір інгредієнтів для нового продукту повинен здійснюватися також з урахуванням собівартості сировини, яка додаватиметься. Для забезпечення відповідності нового продукту потребам та перевагам споживачів важливими також є врахування їхніх вимог щодо термінів зберігання, оскільки даний чинник є вагомим для 22,2% опитаних. Особливої уваги для стимулювання споживачів до купівлі нового продукту потребує дизайн упаковки, який для 11,1% потенційних споживачів є важливим чинником прийняття рішення щодо вибору пива чи слабоалкогольних напоїв.

Для визначення ставлення потенційних споживачів до додавання натуральної рослинної сировини в пиво чи слабоалкогольні напої для зменшення негативного впливу алкоголю на організм людини їм було запропоновано висловити свою думку за 10-ти бальною шкалою, де 1 бал означав негативне ставлення, 10 балів – дуже позитивне. За результатами опитування виявлено оптимістичне сприйняття даної інноваційної ідеї (рис. 6), позитивно (поставили від 7 до 10 балів) її оцінили 777 респондентів, що становило 80,7% дослідженої сукупності, причому дуже позитивно – майже 36% опитаних.



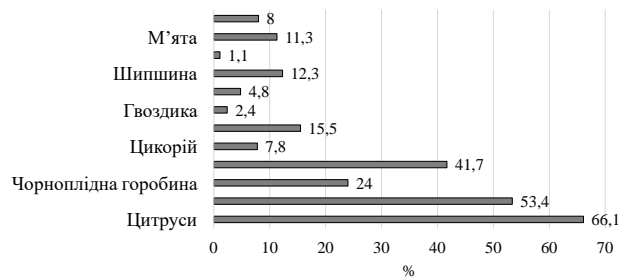
**Рис. 5. Ставлення споживачів до додавання натуральної рослинної сировини до пива та слабоалкогольних напоїв для зменшення негативного впливу алкоголю на організм людини**

Оскільки лише 6% респондентів скептично віднеслися до даної ідеї, а більшість виявили позитивне сприйняття додавання натуральної рослинної сировини до пива та слабоалкогольних напоїв для зменшення негативного впливу алкоголю на організм людини, дана інноваційна ідея є перспективною з точки зору наявності потенційного попиту на новий вид даної продукції.

З метою виявлення смакових уподобань потенційних споживачів відносно виду натуральної рослинної добавки респондентам було запропоновано серед запропонованих рослинних компонентів вибрати три. Відповідно до одержаних результатів (рис. 7) більшість опитаних віддали перевагу таким рослинним компонентам, як цитрус – 66,1%; імбир – 53,4; листя хвойних порід дерев (сосни або ялівцю) – 41,7%; чорноплідна горобина – 24%; ехінацея – 15,5%.

Спираючись на одержані результати та враховуючи найбільший зменшувачий ефект негативного впливу алкоголю на організм людини, як натуральну рослинну сировину до пива та слабоалкогольних напоїв ми вибрали листя хвойних порід дерев (хвою сосни звичайної або ялівцю звичайного), які до того ж сприятимуть форму-

ванню неповторному, оригінальному смаку нової продукції, що забезпечить їй ексклюзивну конкурентну перевагу.



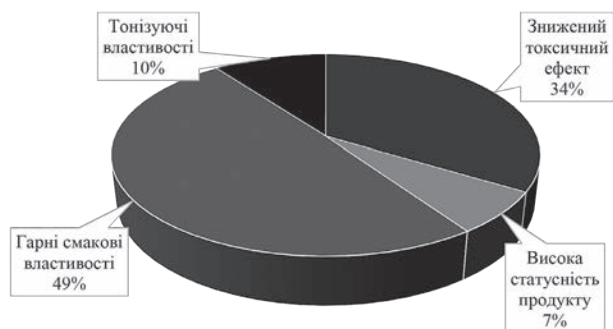
**Рис. 6. Переваги споживачів відносно виду натуральної рослинної добавки**

За результатами опитування виявлено досить високий потенційний попит на новий вид пива та слабоалкогольних напоїв зі зменшеним негативним впливом алкоголю з додаванням натуральної рослинної сировини. Готовність до купівлі пива зі зменшеним негативним впливом алкоголю з додаванням натуральної рослинної сировини проявили близько 63% опитаних, слабоалкогольних напоїв із такими властивостями – трохи менше – 40,6%. Необхідно також урахувати, що значна частка опитаних коливалися та не змогли переконливо відповісти про свою готовність до купівлі нового виду пива та слабоалкогольних напоїв, близько 40% та 36%, відповідно, відзначили ймовірність купівлі від 5-ти до 7-ми балів. Існує також незначна частка опитаних, що не готові до купівлі пива чи слабоалкогольних напоїв зі зменшеним негативним впливом алкоголю з додаванням натуральної рослинної сировини, що потребує використання стимулюючого маркетингу.

Загалом, виявлений потенційний попит є достатнім для забезпечення успіху виведення нових видів продукції на ринок, але потребує належного маркетингового забезпечення. При цьому маркетингові зусилля необхідно спрямувати на формування культури споживання пива та слабоалкогольних напоїв, акцентуючи увагу на покращених споживних властивостях нових напоїв, зокрема на зменшенні негативного впливу алкоголю.

Вибираючи інструменти просування, ідеї для рекламних та промокампаній, важливо враховувати мотиви споживачів, які спонукають їх до вибору тієї чи іншої продукції. За результатами проведеного опитування встановлено, що у випадку з новими видами пива та слабоалкогольних напоїв зі зменшеним негативним впливом алкоголю з додаванням натуральної рослинної сировини мотивуючими до купівлі для 49,4% рес-

пондентів є гарні смакові властивості напоїв, а для 33,6% – знижені токсичні властивості (рис. 8).



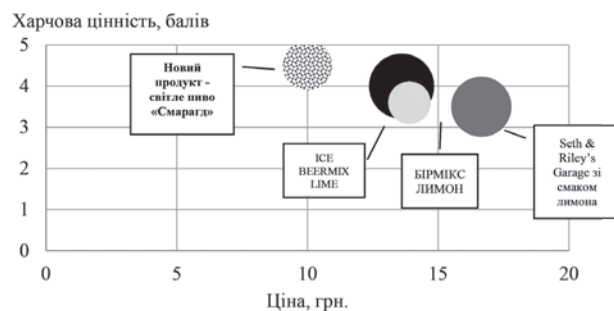
**Рис. 7. Розподіл респондентів за чинниками мотивації до купівлі нового виду пива чи слабоалкогольного напою з натуральними рослинними добавками**

Ураховуючи, що пиво та слабоалкогольні напої відносяться до продуктів ірраціонального попиту, оскільки надмірне та часте їх споживання шкодить здоров'ю, перспективним напрямом інноваційної діяльності є покращення споживних властивостей даних напоїв за рахунок використання рослинної сировини, яка має високі антиоксидантні властивості та підвищує стійкість організму до несприятливих факторів навколишнього середовища.

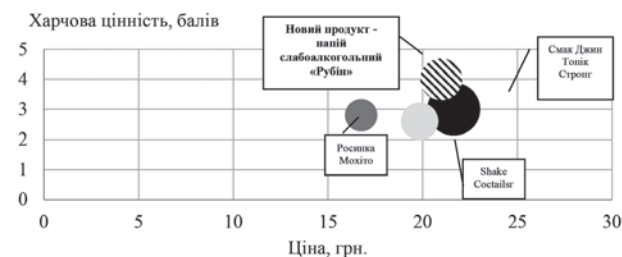
Виходячи зі складу інгредієнтів проаналізованих напоїв, які є на споживчому ринку, можна констатувати, що це напої з підвищеним мінеральним та вітамінним складом за рахунок додавання рослинних компонентів, проте вони не знижують дію етилового спирту на організм людини. Наша ідея нового виду пива полягає в додаванні до складу напою натуральних рослинних компонентів із біологічно-активними речовинами антиоксидантної дії, такими як фенольні сполуки, вітаміни, протеїни, цукри, карбонові та амінокислоти, які мають лікувально-профілактичний характер.

Таким рослинним компонентом з урахуванням виявлених споживчих переваг є хвоя сосни та/або ялівцю. Конкурентні переваги розроблених напоїв характеризують карти позиціонування, які наведено на рис. 9 та 10 відповідно.

Одержані нові продукти – 100% натуральні, які будуть мати унікальну конкурентну перевагу у вигляді неповторного інгредієнту – екстракту хвої сосни звичайної. Крім того, новий продукт – світле пиво «Смарагд» буде більш конкурентоспроможним за ціною, його оптова ціна за попередніми підрахунками складатиме 8,25 грн. за скляну пляшку об'ємом 0,5 дм<sup>3</sup>. Розроблений напій слабоалкогольний «Рубін» порівняно з конкурентами матиме краще співвідношення ціна/якість.



**Рис. 8. Позиціонування нового напою – світлого пива «Смарагд»**



**Рис. 9. Позиціонування нового слабоалкогольного напою «Рубін»**

Спираючись на проведені дослідження під час рекламування нового виду пива чи слабоалкогольного напою з натуральними рослинними інгредієнтами, увагу споживачів необхідно спрямувати на унікальні, незвичні смакові властивості, які зумовлені додаванням листя хвойних порід дерев (сосни або ялівцю), а також – на знижений токсичний ефект, що зумовлений властивостями саме даного рослинного компоненту.

**Висновки.** У результаті використання запропонованого науково-методичного підходу до формування інформаційного забезпечення інноваційних рішень у пивоварній галузі обґрунтовано маркетингову концепцію нових видів пива та слабоалкогольних напоїв, одержаних шляхом додавання натуральних рослинних компонентів із підвищеними антиоксидантними властивостями, які сприяють зменшенню негативного впливу алкоголю на організм людини. Це дозволило покращити харчові властивості пива та слабоалкогольних напоїв, що має суттєве соціальне значення з точки зору мінімізації негативного впливу алкоголю на здоров'я людини. В умовах паритету інтересів бізнесу, держави та суспільства зростає актуальність соціально відповідальної діяльності суб'єктів господарювання. У контексті цього впровадження в діяльність підприємств пивоварної галузі запропонованих технологій виробництва пива та напівфабрикату для САН із науково обґрунтованим та експериментально підтвердженим оптимальним складом рецептурних компонентів



з підвищеними антиоксидантними властивостями та збагаченими БАР відповідає принципам соціально-відповідального маркетингу.

Запропоновані ідеї в межах концепції соціально-етичного маркетингу, відповідно до

якої вирішується важливе соціальне завдання, сприятимуть насиченню ринку пива та слабоалкогольних напоїв продукцією з підвищеною харчовою цінністю, зі зменшеним негативним впливом алкоголю на організм людини.

#### Список літератури:

1. Морщенок Т.С. Бенчмаркінг як інструмент підвищення конкурентоспроможності підприємницьких структур. *Економіка і суспільство*. 2017. № 9. С. 533–540.
2. Чирва О.Г. Моделювання інноваційного регіонального маркетингу підприємств харчової промисловості. *Агросвіт*. 2014. № 5. С. 16–23.
3. Хмизова О.В., Сисан О.М. Напрями розвитку інноваційного потенціалу підприємства. *Наукові праці. Економіка*. 2016. № 273. С. 83–88.
4. Петухова О.М. Аналіз та перспективи розвитку пивоварної галузі України. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=4373>
5. Магдич І.П. Сучасний стан та основні тенденції інвестиційної діяльності підприємств пивоварної галузі України. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2015. № 5. Т. 1. С. 83–91.
6. Швіндіна Г.О., Стрига В.Д., Лапін Є.В. Проблеми розроблення стратегії розвитку для операторів крафтової продукції (на прикладі пивоварної галузі України). *Вісник СумДУ. Серія «Економіка»*. 2019. № 3. С. 124–129.
7. Исследование украинского рынка пива: тенденции и прогноз. URL: <https://koloro.ua/blog/issledovaniya/issledovanie-ukrainskogo-rynka-piva.html>
8. Вітренко Н.С. Проблеми та перспективи розвитку ринку пива України. *International Scientific Journal "Internauka"*. URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15157517113750.pdf>
9. Яцишина Л., Ющук Ю. Маркетингові стратегії для малого підприємства на ринку пивоваріння. *Маркетинг в Україні*. 2018. № 2. С. 55–62.

#### **Odarhenko D.M., Penkina N.M., Tatar L.V., Sokolova Ye.B., Skyrda O.E. MARKETING SOFTWARE TECHNOLOGIES IMPROVING THE PRODUCTION OF BEER AND SOFT DRINKS**

*The ways of collecting marketing information to form an information providing innovative solutions, market analysis; competitive analysis; analysis of consumer preferences; analysis of innovative processes in the field. Based on this methodological approach and uses the information collected to justify the innovative marketing concept of beer and low-alcohol products. Analyzed and defined market potential and prospects to market for new products. A competitive analysis and identified key national market leaders evaluated the competitiveness of existing products and identifies its features.*

*Put through positioning of the existing beverage market based on value and nutritional value. Nutritional value of products determined based on a comparative analysis of the components developed using a five-point scale. The results positioning beer with natural botanicals found vacant niche in the medium price segment. Determined that it is appropriate to seek to enhance the nutritional value of beer, including – original ideas about natural herbal ingredients.*

*The analysis evaluated the composition and nutritional value of alcoholic beverages leaders of the national market. It is found that offers alcoholic beverages with low nutritional value, used for scale is measured from 2.6 to 3 points. A positioning alcoholic beverages on the market and found that the lack of high-quality alcoholic beverages with high nutritional value. Determined the feasibility of using the original herbal ingredients that are able to reduce the negative effects of alcohol and to improve the nutritional properties of beer and soft drinks.*

*As a result of the proposed scientific and methodical approach to formation of information providing innovative solutions in the brewing industry reasonably marketing concept of new types of beer and alcoholic beverages obtained by adding natural herbal ingredients with elevated antioxidant properties, which help to reduce the negative effects of alcohol on the human body. It is possible to improve the nutritional properties of beer and soft drinks, great social importance in terms of minimizing the negative swim alcohol on health. Proposed ideas within the concept of social-ethical marketing, according to which solved an important social problem contribute to the saturation of the market of beer and soft drinks products with high nutritional value, with reduced negative impact of alcohol on the human body.*

**Key words:** market beer and soft drinks, marketing, positioning, nutritional value.

**Петраченко Д.О.**

Інститут луб'яних культур Національної академії аграрних наук України

**Сова Н.А.**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

**Шилко С.О.**

Відокремлений структурний підрозділ «Професійно-педагогічний фаховий коледж Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка»

**Худайбердієва К.А.**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

## ВПЛИВ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ НАСІННЯ ПРОМИСЛОВИХ КОНОПЕЛЬ НА КИСЛОТНЕ ЧИСЛО ОДЕРЖАНОЇ ОЛІЇ

У статті представлені результати дослідження зміни кислотного числа пресової конопляної олії залежно від терміну зберігання насіння й умов її одержання. Зберігання насіння промислових конопель є одним із визначальних етапів для їх подальшої переробки. Насіння промислових конопель, а також одержана з нього олія, нестабільні та здатні до швидкого псування при найменшій зміні умов. Якість насіння напряму впливає на якість конопляної олії. Збереженість насіння залежить від трьох факторів: вмісту вологи у насінні, температури, терміну зберігання. Кислотне число є одним з основних якісних показників, що характеризують ступінь свіжості олії та відображає придатність її у харчуванні. Чим нижче кислотне число, тим вище якість олії. У дослідженні використовували насіння промислових конопель сорту «Гляна». Дослідження передбачало зберігання конопляного насіння протягом року та одержання з нього через рівний проміжок часу 12 зразків пресової олії. Насіння зберігали в критому цегляному складському приміщенні без опалення. Температура та вологість в складі залежали від погодних умов з зовні приміщення та змінювались відповідно до пори року. Перед одержанням олії визначали вологість кожного зразка насіння. У процесі вичавлювання олії фіксували її температуру. Після пресування кожного зразка визначали кислотне число одержаної олії. Для одержання конопляної олії використовували спосіб холодного пресування з використанням шнекового пресу. Встановлено, що в процесі зберігання насіння відбувається погіршення його якості, що відображається на збільшенні кислотного числа одержаної олії. Протягом року кислотне число конопляної олії збільшується із кожним місяцем зберігання. На початку дослідження кислотне число одержаної олії дорівнювало 0,65 мг КОН/г, після року зберігання – 1,46 мг КОН/г при нормованих 2,30 мг КОН/г. Отриманий результат свідчить, що насіння промислових конопель може зберігатися протягом річного терміну і придатне для переробки на олію.

**Ключові слова:** насіння конопель, зберігання, переробка, олія, кислотне число.

**Постановка проблеми.** Зберігання насіння олійних культур, ув тому числі і насіння промислових конопель, є одним із визначальних етапів для його подальшої переробки. Біологічні особливості насіння олійних культур обумовлюють певні труднощі у процесі його зберігання. Загальновідомо, що насіння олійних культур підтримує свою життєдіяльність та дихає в процесі зберігання. Інтенсивне дихання насіння призводить до його псування [1, с. 7–8]. Від інтенсивності дихання залежать темпи втрачання олії, яка міститься в насінні. Внаслідок дихання насіння знижується його олійність. В олії, яка міститься у насінні, збільшується вміст вільних жирних кислот та

окислювальних продуктів. Небажаним змінам піддаються не тільки ліпіди, а й інші хімічні речовини насіння. У подальшому це призводить до зниження якості отриманої олії, і навіть до переходу харчової олії в технічну [2, с. 72].

Насіння промислових конопель, а також одержана з нього олія у своєму складі містять поліненасичені жирні кислоти  $\omega$ -6 та  $\omega$ -3. Особливістю цих кислот є їх нестабільність та здатність до швидкого псування при найменшій зміні умов. Якість насіння промислових конопель безпосередньо впливає на якість конопляної олії та її корисні властивості. Правильна організація процесу зберігання, з урахуванням фізіологічних

і біохімічних особливостей насіння, дозволить зберегти його з мінімальними втратами для більш ефективної подальшої переробки. Тому дослідження впливу процесу зберігання насіння промислових конопель на якість конопляної олії є актуальним напрямом наукових досліджень.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Для насіння олійних культур характерний високий вміст олії, який впливає на процес і режими зберігання. Насіння олійних культур із низькою вологістю у процесі зберігання за низьких температур знаходиться у стані спокою. При підвищенні вологості та навколишньої температури насіння переходить у стан активної життєдіяльності та починає інтенсивно дихати [3, с. 185]. Інтенсивність дихання насіння залежить від трьох факторів: вмісту вологи в насінні та приміщенні, де воно зберігається; температури насіння та навколишніх об'єктів; терміну зберігання насіння. Ці фактори впливають на стабільність зберігання насіння, його хімічний склад, схожість, енергію проростання тощо [2, с. 72].

Через високий вміст олії зберігати насіння олійних культур складніше, ніж насіння зернових, адже олія, на відміну від крохмалю зернових, не здатна зв'язувати й утримувати надлишкову вологу [3, с. 185]. Збільшення вологи активує всі небажані біохімічні процеси та реакції у насінні, що спричиняє його псування. Чим більша олійність насіння, тим менше повинна бути його вологість для довготривалого зберігання [2, с. 33]. Підвищення температурних режимів зберігання насіння олійних культур пришвидшує процес його псування. Внаслідок утворення сприятливих умов відбувається окиснення жирних кислот, денатурація білків, а також незворотні зміни всіх хімічних компонентів. Подальша переробка такого насіння призводить до одержання продуктів з невлавним смаком, кольором і запахом [2, с. 49]. На зберігання насіння олійних культур також впливає наявність у насіннєвій масі обрушеного та пошкодженого насіння. Таке насіння швидко псується внаслідок пліснявіння, а наявна в ньому олія прогіркає [3, с. 185].

Згідно до результатів досліджень [4; 5] встановлено умови, які дозволяють зберегти початкову схожість та енергію проростання конопляного насіння під час довготривалого зберігання, а саме терміном від 3 до 5 років. Для збереження посівних якостей вологість насіння конопель повинна знаходитися в діапазоні 5–7%, а температура в приміщенні для зберігання на рівні 5°C. Складність реалізації даних умов зберігання криється у постійній підтримці та збереженні мікроклімату

у приміщенні, що важко реалізувати при великих об'ємах насіння у промислових масштабах.

Досліджено вплив типу пакування на зміну посівних якостей насіння конопель у процесі тривалого зберігання протягом одного року [6]. Досліджували два типи пакувальних мішків – поліпропіленові та з алюмінієвої фольги. Особливого впливу матеріалу пакування в даних умовах не виявлено. Результати показали, що за кімнатної температури енергія проростання та схожість насіння протягом перших 6 місяців зберігання залишалась незмінною. Подальше зберігання 7–12 місяців показало зниження на третину даних показників у обох випадках. Оптимальною температурою за даних умов дослідження встановлена температура 15°C.

Представлені дослідження спрямовані на збереження якісних показників конопляного насіння в якості посівного матеріалу. При цьому досліджень щодо зміни якості самого насіння та продуктів його переробки не проводилося. Крім того, не виявлено даних стосовно тривалого зберігання насіння промислових конопель як сировини для переробки.

**Постановка завдання.** Метою роботи є встановлення придатності насіння промислових конопель під час тривалого зберігання для виробництва харчової олії. Зокрема дослідження зміни кислотного числа конопляної олії залежно від терміну зберігання насіння й умов одержання олії.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Харчова цінність рослинних олій обумовлюється високим вмістом легкозасвоюваного жиру та біологічно цінних для організму людини речовин – жирних кислот, фосфатидів, вітамінів та ін. Біологічна цінність рослинних олій визначається їх жирнокислотним складом, а також якісним і кількісним складом компонентів [3, с. 183–184]. Перевагою конопляної олії над іншими рослинними оліями є унікальне співвідношення жирних кислот  $\omega$ -6: $\omega$ -3 як 3:1, які повністю засвоюються організмом. Конопляна олія є джерелом живлення організму незамінними кислотами, які не синтезуються в організмі, а поступають лише з їжею. Завдяки цьому конопляну олію дедалі більше використовують у виробництві якісних готових продуктів [7].

Для визначення якості олії використовують простий органолептичний метод (колір, запах, прозорість) і більш складний інструментальний (кислотне число, йодне число, число омилення тощо) [3 с. 89]. Кислотне число є одним з основних якісних показників, що характеризують ступінь свіжості олії, та регламентується стандартом на всі види харчових жирів [3, с. 189–190]. Кислотне число – це кількість міліграмів гідроксиду

калію, необхідна для нейтралізації вільних жирних кислот, що містяться в 1 г жиру [8]. Найбільш точно початок псування насіння та ступінь його непридатності характеризує величина кислотного числа олії, яку виділяють з насіння. Під час тривалого зберігання насіння, а також внаслідок неправильного зберігання відбувається псування, що виражається в окисненні та появі дефектів смаку та запаху, а в разі протікання більш глибоких процесів призводить до непридатності одержаної олії для харчових цілей [3, с. 189–190].

У свіже вилучених оліях, які отримали з якісного насіння, кількість вільних жирів незначна. Під час зберігання насіння олійних культур із порушенням температурного режиму та режиму вологості процес гідролізу відбувається дуже інтенсивно. Отримана з такого насіння олія, навіть свіже вилучена, має високий показник кислотного числа. Показник кислотного числа відображає придатність олії у харчуванні [9]. Чим кислотне число нижче, тим вище якість олії. Для конопляної олії показник кислотного числа не повинен перевищувати 2,3 мг КОН/г [10].

Для проведення дослідження використовували насіння промислових конопель сорту «Гляна» із виробничих посівів Інституту луб'яних культур (ІЛК). Даний сорт селекції ІЛК відноситься до скоростиглих, відповідає міжнародним вимогам за сортовою типовістю. Вегетаційний період складає 115–120 діб, висота стебел –220–225 см, урожайність стебел –7,5–8,0 т/га, урожайність насіння –1,1–1,3 т/га [11].

Дослідження передбачало зберігання конопляного насіння протягом 12 місяців та одержання з нього через рівний проміжок часу пресової олії. Для цього насіння після сортування й очищення розфасували в 12 поліпропіленових мішків вагою 35 кг кожен. У процесі зберігання з інтервалом 1 місяць із насіння одержували пресову олію. У результаті протягом року (листопад – жовтень) для дослідження одержано 12 зразків конопляної пресової олії.

Насіння зберігали у критому цегляному складі без опалення. Такого типу складські приміщення використовують в більшості господарств для зберігання отриманої насінневої продукції. Температура та вологість у складі залежали від погодних умов ззовні приміщення та змінювались відповідно до пори року. Взимку температура сягала до -5°C, влітку – до +20°C. Перед одержанням олії визначали вологість кожного зразка насіння згідно ДСТУ 4811:2007 «Насіння олійних культур. Методи визначення вологості». У процесі вилучення олії фіксували її температуру на виході із пресу. Після

пресування кожного зразка визначали кислотне число одержаної олії згідно ДСТУ 4350:2004 «Олії. Методи визначання кислотного числа». Для порівняння за контроль було взято зразок олії, яку одержали в жовтні місяці з насіння промислових конопель перед закладанням на зберігання. Контрольні дані дослідження представлені в таблиці 1.

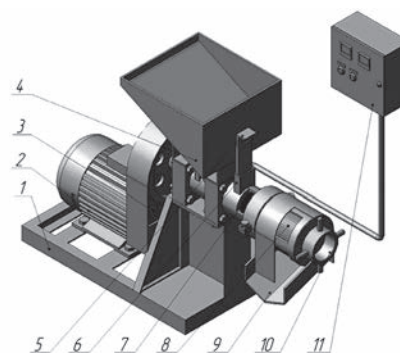
Таблиця 1

**Показники якості контрольного зразка**

№ з/п	Показник	Значення
1	Засміченість насіння, %	0,2
2	Вологість насіння, %	9,1
3	Вміст олії, %	32,9
4	Кислотне число олії, мг КОН/г	0,65

Для одержання харчової конопляної олії використовували спосіб холодного пресування, оскільки олія з насіння конопель швидко окиснюється при високих температурах. Спосіб холодного пресування характеризується відносно незначним тиском та малими температурами в робочій камері, що є оптимальним для збереження якісних показників конопляної олії. Для одержання олії використовували шнековий прес ПШМ-250 (рис. 1).

Прес призначений для довготривалого безперервного виробництва рослинної олії холодного віджиму. Насіння у натуральному вигляді засипають в бункер 4, звідки через завантажувальний отвір 6 воно подається безпосередньо на шнек 7. Під дією шнека насіння переміщується, стискається і нагрівається за рахунок дії факторів стиснення, тертя та надходить в зеєрну головку 8, яка має вузькі щілини по периметру. У результаті дії сукупних факторів олія проходить крізь щілини в зеєрній головці та по прийомному лотку 9 надходить у ємність для збору нефільтрованої олії. Під час переробки насіння окрім олії паралельно одержують макуху.



**Рис. 1. Прес шнековий ПШМ-250: 1 – рама; 2 – електродвигун; 3 – пасова передача; 4 – бункер; 5 – заслінка подачі; 6 – завантажувальний отвір; 7 – шнек зі змінним кроком; 8 – зеєрна головка; 9 – прийомний лоток; 10 – гайка; 11 – пульт керування**

Оскільки конопляна олія через наявність у її складі поліненасичених жирних кислот швидко псується при підвищених температурах, то в процесі дослідження фіксували температуру одержаної олії. Для цього було модернізовано прийомний лоток (рис. 2) олійного преса шляхом виготовлення додаткової стінки 1 з отвором для встановлення щупу цифрового термометра 2. У результаті утворився резервуар 3, де відбувалося тимчасове накопичення олії. Температури визначали в реальному часі за рахунок занурення щупа термометра у резервуар зі олією.

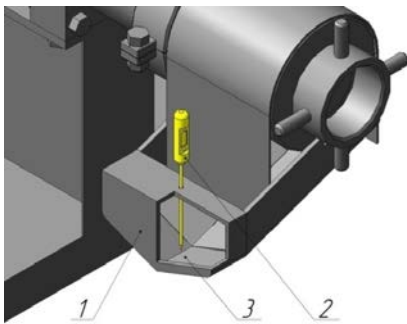


Рис. 2. Модернізований прийомний лоток пресу ПШМ-250: 1 – додаткова стінка, 2 – цифровий термометр, 3 – резервуар накопичення олії

Для фільтрування одержаної олії використовували мішки із фільтрувального матеріалу (бельтингу, габардину тощо). Олію заливали безпосередньо в мішок, а процес фільтрування відбувався за рахунок проходження олії крізь фільтруючий елемент під впливом сили ваги.

З метою встановлення залежності зміни кислотного числа ( $K$ ) пресованої олії від терміну зберігання насіння ( $X$ ), його вологості ( $W$ ) та температури ( $T$ ) одержаної олії, отримані експериментальні дані були оброблені за допомогою математичного програмного забезпечення Statistica 10.0. У результаті

обробки даних отримали регресійні рівняння (1, 2, 3) та трьохвимірні графіки залежності (рис. 3).

$$K = -4,7705 + 0,1633W + 1,1868X + 0,0013W^2 - 0,0144WX - 0,062X^2 \quad (1)$$

$$K = -87,3815 + 9,2344W + 1,096T - 0,3125W^2 - 0,043WT - 0,0041T^2 \quad (2)$$

$$K = -4,1111 + 0,1275T + 0,023X - 0,0008T^2 - 9,2271TX + 0,0034X^2 \quad (3)$$

де:  $K$  – кислотне число пресованої олії, мг КОН/г;  $W$  – вологість насіння %;  $X$  – термін зберігання насіння, місяців;  $T$  – температура одержаної олії, °С.

Представлені на рис. 3 графічні залежності дозволяють наочно встановити зв'язок між досліджуваними параметрами та їх вплив на зміну кислотного числа олії.

Взаємозв'язок терміну зберігання насіння та його вологості показує, що збільшення даних параметрів підвищує кислотне число олії. На початкових термінах зберігання (до 6 місяців) підвищення вологості насіння неістотно впливає на збільшення кислотного числа. При подальшому зберіганні (7–12 місяців) кислотне число олії істотно збільшується не залежно від вологості насіння. Взаємозв'язок температури пресування та вологості насіння показує, що підвищення температури для насіння з меншою вологістю, менш критичне, ніж для більш вологого насіння. Більш вологе насіння потребує менших температур пресування. Взаємозв'язок температури вилученої олії та терміну зберігання насіння показує, що підвищення температури на початкових стадіях зберігання (до 6 місяців) насіння менш критичне, ніж на пізніх стадіях (7–12 місяців) зберігання. Збільшення терміну зберігання насіння незалежно від

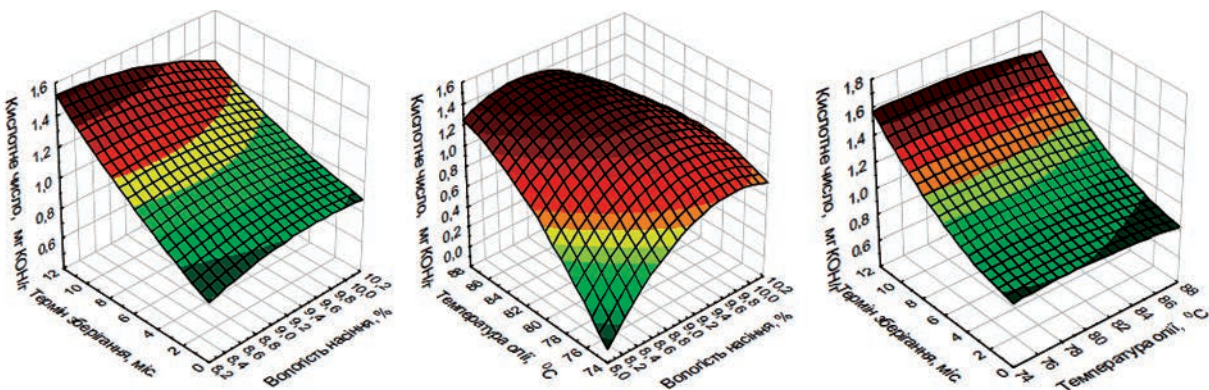


Рис. 3. Графіки залежності зміни кислотного числа від терміну зберігання насіння, вологості насіння, температури вилученої олії

температури вилучення олії істотно підвищує її кислотне число.

Аналіз отриманих даних засвідчує, що у процесі зберігання відбувається погіршення якісних показників конопляного насіння, яке відображається на збільшенні кислотного числа олії. Результати показують, що протягом року зберігання кислотне число пресової конопляної олії збільшується з кожним місяцем зберігання. На початку досліджуваного періоду кислотне число одержаної олії дорівнювало 0,65 мг КОН/г, після року зберігання – 1,46 мг КОН/г

при нормованих 2,30 мг КОН/г. Отриманий результат свідчить, що насіння промислових конопель може зберігатися протягом річного терміну і бути придатним для переробки на олію.

**Висновки.** У процесі зберігання насіння промислових конопель протягом одного року відбувається погіршення його якості, що відображається на збільшенні кислотного числа одержаної олії. Зберігання насіння протягом року надалі при переробці дозволяє одержати якісну конопляну олію, кислотне число якої не перевищує регламентованих стандартом норм.

#### Список літератури:

1. Акаева Т.К., Петрова С.Н. Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч. 1. Технология получения растительных масел. Иваново: ГОУВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2007. 124 с.
2. Осейко М.І. Технологія рослинних олій : підручник. Київ : Варта, 2006. 280 с.
3. Подпратов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва : підручник. Київ, 2014. 393 с.
4. Suriyonga S., Krittigamasa N., Pinmaneeb S., Punyalueb A., Vearasilp S. Influence of storage conditions on change of hemp seed quality. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 2015. № 5. P. 170–176.
5. Parihar S.S., Dadlani M., Lal S.K., Tonapi V.A., Nautiyal P.C., Sudipta Basu. Effect of seed moisture content and storage temperature on seed longevity of hemp (*Cannabis sativa*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2014. № 84 (11). P. 1303–1309.
6. Міщенко С.В. Залежність схожості насіння самозапилених ліній конопель від покоління і тривалості зберігання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 2. С. 36–39.
7. Devi V., Khanam S. Comparative study of different extraction processes for hemp (*Cannabis sativa*) seed oil considering physical, chemical and industrial-scale economic aspects. *Journal of Cleaner Production*. 2019. № 207. P. 645–657.
8. Сіроштан О. Якість і безпека рослинних олій: як визначити швидко? URL: <https://apk.hlr.ua/articles/kachestvo-i-bezopasnost-rastitelnykh-masel-kak-opredelit-byistro>. (дата звернення: 18.11.2021)
9. Измерение кислотности в растительных маслах URL: <https://soctrade.ua/otrasli-primeneniya/selhozprodukcija/rastitelnye-masla/kislotnost/>. (дата звернення: 18.11.2021)
10. ТУ У 10.4-00497845-001:2021. Олія конопляна «Омега баланс» Технічні умови [Чинний від 2021-01-18]. Глухів, 2021. 20 с.
11. Довідник конопляра / Ткаченко С.М., Мохер Ю.В., Лайко І.М. та ін. Суми : Еллада, 2021, 27 с.

#### **Petrachenko D.O., Sova N.A., Shylko S.O., Khudaiberdiieva K.A. THE INFLUENCE OF INDUSTRIAL HEMP STORAGE TERMS ON ACID NUMBER OF OIL OBTAINED**

*The article presents the results of the study of changes in the acid number of pressed hemp oil depending on hemp storage terms and production conditions. The storage of industrial hemp seeds is one of the defining stages for their further processing. Industrial hemp seeds as well as the oil obtained are unstable and capable of rapid deterioration at the slightest change in conditions. The quality of the seeds directly affects the quality of hemp oil. Seed preservation depends on three factors: moisture content in the seeds, temperature and storage terms. The acid number is one of the main qualitative indicators that characterize the degree of freshness of the oil and reflects its suitability in food. The lower the acid number, the higher the quality of the oil. The study used "Hliana" variety industrial hemp seeds. The study involved hemp seeds storage for a year and obtaining 12 samples of pressed oil at regular intervals. The seeds were stored in a covered brick storehouse without heating. Temperature and humidity in the storehouse depended on weather conditions from outside the room and varied according to the season. The moisture content of each seed sample was determined before obtaining the oil. The temperature was recorded in the process of pressing the oil. After pressing each sample the acid number of the obtained oil was determined. A cold pressing method using an auger press was used to obtain hemp oil. It is established that in the process of seed storage there is a deterioration of its quality which is reflected in the increased acid number of the obtained oil. During the year the acid number of hemp oil increases with each month of storage. At the beginning of the experiment the acid number of the obtained oil was equal to 0.65 mg KOH/g, after a year of storage – 1.46 mg KOH/g at normalized 2.30 mg KOH/g. The result shows that the seeds of industrial hemp can be stored for a year and suitable for processing into oil.*

**Key words:** hemp seeds, storage, processing, oil, acid number.

## ТРАНСПОРТ

УДК 656.614

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/31>**Берневек Т.І.**

Одеський національний морський університет

**Павлова Н.Л.**

Одеський національний морський університет

**Тихоніна І.І.**

Одеський національний морський університет

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗРІДЖЕНОГО ПРИРОДНОГО ГАЗУ В ПОРТИ УКРАЇНИ: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

У статті визначено роль зрідженого природного газу в структурі світової газової галузі. Встановлено, що він забезпечує більш ніж 40% фізичного обсягу світового експорту газу (з перспективою сягнути позначки 60% до 2040 року). Доведено, що зріджений природний газ є одним з інструментів диверсифікації поставок палива та досягнення енергетичної незалежності держави. Проаналізовано ситуацію на глобальному ринку. Визначено, що основними постачальниками зрідженого природного газу є Катар, Австралія та США. Відзначено існування територіальної прив'язки постачальників зрідженого природного газу до ринків споживання. З точки зору технологічної специфіки країни експорту та імпорту утворюють світові газотранспортні системи, кожна з яких включає весь виробничий ланцюжок – від видобутку до доставки споживачам. Встановлено основні фактори, які доцільно враховувати у визначенні техніко-економічних переваг експортерів. Виокремлено дві умовні групи потенційних постачальників зрідженого природного газу до України: пріоритетна (Алжир, Єгипет, Катар, Оман, Нігерія) та потенційна (Тринідад і Тобаго, Лівія, Екваторіальна Гвінея, Ємен, Ангола, Камерун та Азербайджан). Акцентовано увагу на тому, що майже всі морські маршрути транспортування зрідженого природного газу до України (окрім Азербайджану) пролягають через Турецькі протоки, які є одним із найбільш складних місць у технічному аспекті. Через їх надмірну завантаженість виникають простой суден, що ускладнює планування маршруту та спричиняє додаткові транспортні витрати. Розраховано техніко-економічні показники транспортування зрідженого природного газу морськими шляхами від потенційних постачальників. Враховуючи, що транспортування зрідженого природного газу морським транспортом являє собою процес його перевезення від заводів скраплення до LNG-терміналів газозамами, повернуто увагу до питання розвитку інфраструктурного потенціалу.

**Ключові слова:** зріджений природний газ, морський транспорт, транспортування, технологія, LNG-термінал.

**Постановка проблеми.** Зріджений природний газ (далі – ЗПГ), виступаючи одним з інструментів досягнення енергетичної незалежності держав, впливає на структуру світової газової галузі, забезпечуючи більш ніж 40% фізичного обсягу світового експорту газу (з перспективою сягнути позначки 60% до 2040 року за рахунок зниження частки транспортування трубопроводами [1, с. 7].

Констатуємо, що інтерес до цього виду палива зумовлений впливом низки факторів. Серед основних з них слід відзначити: безпечність у використанні; наявність значних ресурсів природного

газу в багатьох країнах Азії, Африки і Латинської Америки, які після видобутку неможливо доставляти по газопроводах в економічно розвинені країни; гнучкість транспортування і відсутність необхідності будівництва газових магістралей; можливість більш широкого вибору виробника; екологічність; підтримка на законодавчому рівні в США, Європейському Союзі та ряді розвинутих країн Азії низьковуглецевої промисловості та процесів декарбонізації; відмова більшості фінансових корпорацій від фінансування екологічно шкідливих проєктів. Так, наприклад, Франція,

Бельгія, Іспанія, Південна Корея і США вбачають ЗПГ як одну із пріоритетних технологій імпорту природного газу, а Японія з її використанням фактично повністю покриває свої потреби.

Слід констатувати, що, маючи певні можливості та передумови, Україна поки не виступає повноцінним гравцем ринку зрідженого газу, однак він відіграє значну роль в енергозабезпеченні країни, становлячи 27,3% у кінцевому прямому споживанні енергоресурсів (за даними 2019 року) [2].

Загальновідомо, що розвиток національної економіки залежить від її повноцінного забезпечення енергоносіями, тому ефективне транспортування газу виступає важливим чинником енергетичної безпеки країни.

Не зменшуючи переваги трубопроводів, зазначимо, що їх використання ускладнює, а в ряді випадків унеможлиблює доставку газу на великі відстані, особливо через океан, що привертає увагу до технологій транспортування морськими шляхами.

Враховуючи сучасні виклики та значні потреби України в імпорті природного газу в довгостроковій перспективі (за рахунок власного видобутку вони задовольняються лише на 20–25%), підкреслимо, що перед країною постає завдання визначення альтернативних шляхів його постачання. А вихід до моря надає державі значні можливості щодо поставок ЗПГ.

Зазначимо, що транспортування газу в стані скрапленої (зрідженої) фракції морським шляхом з використанням LNG-технологій (Liquefied Natural Gas) та LNG-танкерів (газовозів) визначено одним із пріоритетів на державному рівні [2]. Це підкреслює актуальність даного дослідження, яке спрямовано на визначення шляхів диверсифікації газопостачання за рахунок перспективних для країни альтернативних джерел імпорту, задля досягнення належного рівня енергетичної безпеки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню технологій перевезень різноманіт-

них вантажів морським транспортом присвячено праці зарубіжних та вітчизняних науковців.

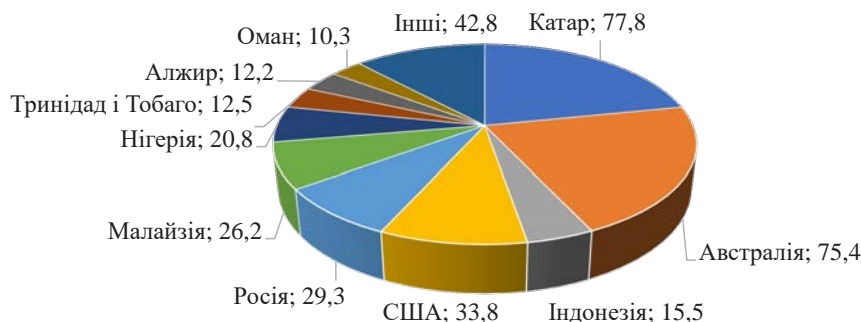
Авторами [3–5] сформовано теоретичне підґрунтя, запропоновано технологічні схеми транспортування вантажів та рекомендації, спрямовані на оптимізацію морських перевезень.

Дослідниками визначено особливості формування системи доставки вантажів [6]; розкрито технологічні аспекти перевезення наливних вантажів [7; 8]. Науковцями привертано увагу до стратегічної значущості енергетичної безпеки та ролі морських перевезень у пошуку шляхів диверсифікації енергоресурсів [9–11]; розглянуто різноманітні технології транспортування природного газу морськими шляхами, акцентовано увагу на їхніх особливостях, які зумовлені фізико-хімічними властивостями вантажу та специфікою розміщення промислових об'єктів (у важкодоступних або віддалених областях, де будівництво газопроводу технічно або економічно недоцільно) [12–16].

Однак специфіка транспортування зрідженого природного газу у вітчизняні порти, розвиток сучасних технологій перевезення в морському суднопластві доводять необхідність подальших досліджень даної проблеми.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження технологічних аспектів транспортування зрідженого природного газу в порти України та визначення основних перспектив розвитку в цій сфері.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як свідчать результати досліджень, основним постачальником ЗПГ на глобальному ринку є Катар, розташований у Південно-Західній Азії (77,8 млн, що становить 22%). Друге місце з незначним відривом посідає Австралія – 75,4 млн. т (21%), яка останнім часом значно наростила свої потужності. На третьому – США (33,8 млн. т, що становить 10% ринку) (рис. 1).



**Рис. 1. ТОП-10 світових експортерів ЗПГ (за даними 2019 р.), млн т**  
Джерело: побудовано за даними [1; 2]



Також до першої десятки входять Росія, країни Південно-Східної Азії (Малайзія, Індонезія), Африки (Нігерія, Алжир) та Південно-Західної Азії (Оман), забезпечуючи 88% світового ринку. Крім зазначених лідерів, серед постачальників слід також відзначити такі країни, як: Екваторіальна Гвінея, Ємен, Лівія, ОАЕ, Перу, Норвегія, Ангола, Папуа-Нова Гвінея та Камерун.

Серед основних імпортерів: Японія, Республіка Корея, Тайвань, Франція, Іспанія, Італія, Бельгія та інші.

У контексті особливостей транспортування ЗПГ та технологічної специфіки представляє інтерес той факт, що країни експорту та імпорту утворюють світові газотранспортні системи (Азіатсько-Тихоокеанського регіону і Африкансько-Західноєвропейську), кожна з яких включає весь виробничий ланцюжок – від видобутку до доставки споживачам.

Результати досліджень дозволили констатувати територіальну прив'язку постачальників ЗПГ до ринків споживання. Так, основними експортерами до країн Європи та Атлантичного узбережжя США є: Алжир, Єгипет, Лівія, Нігерія, Норвегія, Екваторіальна Гвінея, Тринідад і Тобаго. А до країн Південно-Східної Азії – Австралія, Бруней, Індонезія, Малайзія.

Слід вказати, що Катар та інші країни Близького Сходу, а також учасники першої десятки світових лідерів акцентуються на рентабельному експорті ЗПГ у напрямку басейнів як Атлантичного, так і Тихого океанів. Така позиція, враховуючи географічне положення України, вносить їх до кола потенційних постачальників. Основні

фактори, які впливають на технологічні аспекти транспортування ЗПГ та які доцільно враховувати у визначенні техніко-економічних переваг експортерів, представлені на рис. 2.

Аналізуючи вплив вищевказаних факторів, вважаємо доцільним звернути увагу на результати дослідження [17, с. 68], в якому справедливо виокремлюється дві умовні групи потенційних постачальників ЗПГ до України:

1. Пріоритетна – країни, які мають розвинуте виробництво ЗПГ та відносну географічну наближеність (Алжир, Єгипет); значні запаси газу, планування збільшення обсягів виробництва та експорту, інтерес до нових ринків збуту (Катар, Оман, Нігерія).

2. Перспективна – Тринідад і Тобаго (через експорт значних обсягів газу), Лівія, Екваторіальна Гвінея, Ємен, Ангола та Камерун, використання потенціалу яких потребує розвитку міждержавних відносин як у політичній, так і економічній сферах. Певний інтерес у цьому контексті представляє Азербайджан, з яким Україна історично має встановлені міждержавні відносини. На увагу заслуговує той факт, що цей маршрут на відміну від інших уможливорює безпосереднє постачання ЗПГ, уникаючи проходження Турецьких проток. Однак слід вказати, що через ряд складнощів та недоліків цей проєкт поки що залишається дискусійним.

Деякі техніко-економічні показники транспортування ЗПГ морськими шляхами від потенційних постачальників наведено в табл. 1.

Зазначимо, що фактично всі морські маршрути транспортування ЗПГ із вищевказаних країн (окрім Азербайджану) до України пролягають



Рис. 2. Фактори, які доцільно враховувати у визначенні техніко-економічних переваг експортерів ЗПГ

Джерело: сформовано авторами

через Турецькі протоки (Босфор та Дарданелли), які утворюють єдиний водний шлях між Середземним і Чорним морями та є одним із найбільш складних місць у технічному аспекті.

Правила проходження газозовів через Турецькі протоки регулюються Конвенцією Монтре про режим проток (1936 р.) (до якої приєдналася і Україна), а також нормативно-правовими актами Туреччини у сфері безпеки, які не суперечать умовам вищевказаного документу. Отже, для таких суден довжиною до 300 м рух дозволяється тільки у світлу пору доби за умови супроводу спеціальними суднами. При цьому дедвейт LNG-танкеру обмежується висотою мостових прольотів (58 м) і не повинен перевищувати 150 тис. т. [10, с. 35].

Слід акцентувати увагу на тому, що через надмірну завантаженість Турецьких проток (понад 50 тис. суден загальним дедвейтом близько 230 тис. т щорічно) їх перетин характеризується непередбачуваністю витрат часу. Так, за даними різних морських транспортних компаній, демаредж (простої суден перед її проходженням) може сягати 7–10 діб, що ускладнює планування марш-

руту та спричиняє додаткові транспортні витрати внаслідок затримки. Одним із перспективних варіантів вирішення цієї проблеми вважається запуск в експлуатацію Стамбульського каналу, який знаходиться на стадії будівництва.

Враховуючи, що транспортування ЗПГ морським транспортом являє собою процес його перевезення від заводів скраплення до LNG-терміналів газозовами за певних термобаричних умов, технологічне забезпечення з боку країн-виробників представлено потужностями з видобутку і скраплення газу; від споживачів – комплексами з приймання, зберігання, регазифікації та постачання газу до трубопровідної мережі (LNG-термінали).

Відзначаючи наявний технічний потенціал для імпорту в Україну ЗПГ LNG-танкерами, слід звернути увагу на питання розвитку інфраструктурного потенціалу, а точніше LNG-терміналів.

Сьогодні Україна має можливість імпортувати ЗПГ зі США, Норвегії та Катару з використанням технічних можливостей терміналу «Свіноуйсьце» (Польща) та подальшої доставки (після

Таблиця 1

**Деякі техніко-економічні показники транспортування ЗПГ морськими шляхами**

Показники	Країни					
	Алжир	Катар	Нігерія	Єгипет	Оман	Азербайджан
Запаси газу трлн м <sup>3</sup>	4,5	25,3	5,20	2,20	0,98	1,30
Потужності зрідженого природного газу млрд м <sup>3</sup> (2020 р.)	37,5	102,0	39,5	22,5	14,0	8,0
Законтрактовані обсяги, млрд м <sup>3</sup> /кінцевий термін контракту	6,8 до 2017-2022 рр.	22 до 2021-2025 рр.	25 до 2021-2028 рр.	17,2 до 2023-2029 рр.	11,3 до 2020-2025 рр.	–
Відстань в обидва боки <sup>1</sup> , км	7000	15800	20000	4400	14000	2000
Швидкість газозову, км/год	33	33	33	33	33	33
Час транспортування в один бік, діб (без урахування демареджу в Турецьких протоках)	4,5	10	13	5,5	9	1,5
Демаредж у Турецьких протоках, діб за рейс	10	10	10	10	10	–
Час завантаження та розвантаження (з урахуванням циклу портового обслуговування), год	18	18	18	18	18	18
Час на один рейс, діб	20	31	36	22	29	3
Максимальна кількість рейсів одного газозову	18	12	10	16	12	114

<sup>1</sup> місце призначення вантажу – узбережжя Одеської області

Джерело: складено за даними [17, с. 67–69] та доповнено

регазифікації) через газотранспортну систему. Однак серед основних перспектив у цьому напрямі слід звернути увагу на будівництво в Україні LNG-терміналу, проєкт якого в Одеській області так і не знайшов реалізації.

**Висновки.** Транспортування газу в стані зрідженої фракції морськими шляхами з використанням LNG-технологій газозаправками виступає інструментом диверсифікації газопостачання за рахунок альтернативних джерел імпорту для досягнення належного рівня енергетичної безпеки держави.

З точки зору технологічної специфіки країни експорту та імпорту утворюють світові газотранспортні системи, кожна з яких включає весь виробничий ланцюжок – від видобутку до доставки споживачам.

На вибір потенційних постачальників ЗПГ впливає сукупність техніко-економічних факторів, які формують дві умовні групи експортерів: пріоритетну та потенційну. Однак фактично всі морські маршрути транспортування ЗПГ до України (окрім Азербайджану) пролягають через Турецькі протоки, які є одним із найбільш складних місць у технічному аспекті.

Враховуючи, що транспортування ЗПГ морським транспортом являє собою процес його перевезення від заводів скраплення до LNG-терміналів газозаправками, слід звернути увагу на питання розвитку інфраструктурного потенціалу, а точніше LNG-терміналів, що становить перспективи подальших досліджень.

### Список літератури:

1. BP Statistical Review of World Energy. Acknowledgements Data compilation Centre for Energy Economics Research and Policy. HeriotWatt University. 2016. 45 p.
2. Група Нафтогаз. Річний звіт 2020. URL: [https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Annual\\_report\\_Naftogaz\\_2020-UA\\_28\\_04\\_2021\\_1.pdf](https://www.naftogaz.com/files/Zvity/Annual_report_Naftogaz_2020-UA_28_04_2021_1.pdf)
3. Brouer B.D., Karsten C.V., Pisinger D. Optimization in liner shipping. *A Quarterly Journal of Operations Research*. 2017. № 15 (1). P. 1–35. doi: 10.1007/s10288-017-0342-6
4. Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на міжнародному ринку транспортних послуг в умовах глобалізації міжнародного судноплавства : монографія / авт.кол. : О.Г. Шибаєв та ін. Одеса : КУПРІЄНКО СВ, 2015. 171 с.
5. Шибаєв О.Г., Коскіна Ю.О. Динамічна модель оптимізації проєкту роботи морського торговельного флоту. *East European Science Journal*. 2020. № 53. С. 44–48.
6. Коскіна Ю.О. Формалізація процесу організації системи доставки вантажів. *Наукоємні технології*. 2020. № 1. С. 111–117. doi: 10.18372/2310-5461.45.14582
7. Adland R., Cariou P., Wolff, F.-C. The influence of charterers and owners on bulk shipping freight rates. *Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review*. 2016. № 86. P. 69–82. doi: 10.1016/j.tre.2015.11.014
8. Lernichenko K., Yevtushenko V.. Innovative project of regasification floating barges for the storage of liquefied natural gas (FSRB). *Development of management and entrepreneurship methods on transport*. 2019. № 2. 39–51. doi: 10.31375/2226-1915-2019-2-39-51
9. Гошовский И., Муравский А. Газ придёт морем: Украина возвращается к идее LNG-терминала. *Порты Украины*. 18.03.2018. URL: <https://ports.com.ua/articles/gaz-pridet-morem-ukraina-vozvrashchaetsyak-idee-lng-terminala>. (дата звернення: 09.10. 2021).
10. Сердюк В., Франишина С., Дишкант Н. Напрямки диверсифікації енергозабезпечення економіки України в контексті світових тенденцій. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2017. № 2. С. 32–38.
11. Степанова А. Диверсифікація енергетичної залежності України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Економіка*. 2015. Вип. 7. С. 69–73.
12. Gudmundsson J.S., Graff O.F. Hydrate non-pipeline technology for transport of natural gas. URL: [http://www.igu.org/html/wgc2003/WGSpdf/files/10056\\_1046347297\\_14776\\_1.pdf](http://www.igu.org/html/wgc2003/WGSpdf/files/10056_1046347297_14776_1.pdf) (дата звернення: 09.10. 2021).
13. Дьяченко Т.В. Транспортування та збереження зрідженого природного газу : навчальний посібник. Одеса : Освіта України, 2017. 106 с.
14. Крижанівський Є.І., Зайцев В.В. Концепція альтернативного постачання природного газу до України. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 4 (37). С. 5–13.
15. Спосіб транспортування стиснутого природного газу: пат. 33882 Україна: МПК (2006) F17C 5/00. / Є.І. Крижанівський та ін. № u200804626 ; заявл. 10.04.08 ; опубл. 10.07.08. *Промислова власність*. 2008. Бюл. № 13.
16. Спосіб морського транспортування стиснутого природного газу в CNG-модулях: пат. 42694 Україна: МПК (2009) B67D 5/00 F17C 1/00 / Є.І. Крижанівський та ін. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. № u200903996 ; заявл. 23.04.09 ; опубл. 10.07.09. *Промислова власність*. 2009. Бюл. № 13.
17. Опімах Р. Визначення пріоритетних постачальників СПГ до України та умов торгівлі ним. *Національна безпека і оборона*. 2011. № 9 (127). С. 67–72.

**Bernevek T.I., Pavlova N.L., Tykhonina I.I. PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF TRANSPORTATION OF LIQUEFIED NATURAL GAS TO THE PORTS OF UKRAINE: TECHNOLOGICAL ASPECT**

*The article defines the role of liquefied natural gas in the structure of the world gas industry. It has been established that it provides more than 40% of the physical volume of world gas exports (with the prospect of reaching 60% by 2040). It has been proven that liquefied gas is one of the tools for diversifying fuel supplies and achieving energy independence of the state. The situation in the global market is analyzed. It was determined that the main suppliers of liquefied natural gas are Qatar, Australia and the USA. The territorial connection of liquefied natural gas suppliers to consumption markets was noted. In terms of technological specifics, the countries of export and import form the world gas transportation systems, each of which includes the entire production chain - from production to delivery to consumers. The main factors that are advisable to take into account when determining the technical and economic advantages of exporters have been established. Two conditional groups of potential suppliers of liquefied natural gas to Ukraine have been identified: priority (Algeria, Egypt, Qatar, Oman, Nigeria) and potential (Trinidad and Tobago, Libya, Equatorial Guinea, Yemen, Angola, Cameroon and Azerbaijan). Attention is focused on the fact that almost all sea routes for transporting liquefied natural gas to Ukraine (except Azerbaijan) run through the Turkish Straits, which are one of the most difficult places in the technical aspect. Due to their excessive congestion, ships are idle, which complicates route planning and entails additional transportation costs. The technical and economic indicators of the transportation of liquefied gas by sea from potential suppliers have been calculated. Considering that the transportation of liquefied natural gas by sea is a process of transportation from factories to LNG terminals by gas carriers, attention is paid to the development of infrastructure potential.*

**Key words:** liquefied natural gas, sea transport, transportation, technology, LNG-terminal.

УДК 629.12.06:628.84  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/32>

**Білий В.А.**

Національний університет «Одеська морська академія»

**Голіков В.А.**

Національний університет «Одеська морська академія»

## БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МІКРОКЛІМАТУ СУДНОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

*Мікроклімат житлових та робочих приміщень судна є одним із найважливіших факторів, що впливають на самопочуття людини-оператора та зумовлюють стабільність людського елемента ергатичної системи людина-судно. Стійкість до стресу та здатність організму людини відновлювати працездатність та когнітивні здібності залежить від комфортності та безпечності газового складу внутрішнього повітря приміщень. Комплексне управління мікрокліматом суднових приміщень потребує розширеної інтерпретації для підтримання безпечності газового складу повітря, забезпечення комфортності помешкання та енергозбереження й є актуальним завданням. У статті розглянуто різні підходи до управління параметрами мікроклімату та побудови автоматичної систем підготовки повітря як невід'ємної частини системи життєзабезпечення судна. Проаналізовані сучасні методи забезпечення комфортного та безпечного мікроклімату суднових приміщень. Виділені найбільш перспективні підходи за критерієм ефективності та обчислювальної складності. Результатами роботи є формулювання задачі оптимального багатопараметричного керування безпечністю та комфортністю мікроклімату надбудови судна як сукупності палуб і приміщень та синтез структури системи автоматичного керування. Отримана цільова функція дозволяє втілювати різноманітні оптимізаційні стратегії й адаптувати їх згідно з міжнародними та галузевими вимогами до комфортності та якості повітря й забезпечувати пріоритетність критеріїв оптимізації. Встановлено, що для вирішення поставленої задачі оптимізації доцільно застосування децентралізованої схеми керування.*

**Ключові слова:** мікроклімат, газовий склад, комфортність, результативна температура, прогнозувальні моделі, децентралізоване керування.

**Постановка проблеми.** Потреби економічної ефективності сучасного судноплавства зумовлюють тенденції до зменшення чисельності екіпажів, що призводить до збільшення навантаження на кожного моряка на борту [1; 2]. Підтримання достатнього рівня безпеки судна потребує, зокрема, забезпечення безпечного та комфортного помешкання, адже більше 50% аварій та нещасних випадків стаються через людський фактор [2]. Забезпечення комфортного помешкання робітничих та житлових приміщень дозволяє зменшити навантаження на організм моряків та сприяє підвищенню їхньої здібності виконувати обов'язки. До систем мікроклімату й вентиляції приміщень існує низка конструктивних та експлуатаційних вимог, зокрема, визначені в міжнародних стандартах ISO7547, ISO8862, ISO8864. Мікроклімат суднових приміщень повинен відповідати вимогам комфортності та безпечності. Під безпечністю мікроклімату розуміється відповідність температури, вологості, рухомості та газового складу повітря міжнародним стандар-

там та нормам. Визначення газового складу повітря регламентується міжнародними стандартами ISO16000-1 – ISO16000-38. Стандарт ISO/FDIS 16000-40 створено як основу для розроблення систем управління якістю повітря. Провідні держави світу розробили стандарти якості повітря житлових та виробничих приміщень [3]. Підтримання належного рівня якості повітря приміщень набуває великого значення з огляду на сучасні дослідження [4; 5] впливу забруднення повітря на когнітивні здібності людини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачу комплексного управління мікрокліматом суднових приміщень можна поділити на такі підзадачі згідно з їх пріоритетом: підтримання безпечного газового складу повітря, забезпечення комфортності помешкання та енергозбереження.

Огляд підходів до оптимального керування мікрокліматом [6] показав, що сучасною тенденцією в цій сфері є розвиток систем управління енерговитратами та комфортністю (ECMS). У таких системах комфортність найчастіше розглядають як

інтегральний показник, що враховує температуру (48% досліджень), вологість (6% досліджень) та якість повітря (18% досліджень). Більшість робіт досліджують вплив уподобань мешканців на ефективність роботи систем ЕСМС. Найбільш використаними підходами до керування мікрокліматом є прогностичні моделі MPC, багатоагентні системи, системи з нечіткою логікою та системи з релейним керуванням. Найбільш використаними алгоритмами є генетичні, багатопараметричний метод рою часток та опуклої оптимізації. З 121-ї проаналізованої роботи у 8-ми температура, вологість та якість повітря приміщень було одночасно використано як критерії оптимізації.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розгляд існуючих підходів до оптимального керування мікрокліматом суднових приміщень та постановка задачі оптимального багатопараметричного керування комфортністю та безпечністю мікроклімату суднових приміщень.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі [7] висунуто концепцію мікроклімату, сутність якої полягає у визначенні людини як об'єкта керування. Було досліджено характеристики мікроклімату суднових приміщень та побудовано лінійні та нелінійні розподілені моделі мікроклімату та моделі із зосередженими параметрами й узагальнену модель видалення забруднювачів з повітря. Під час чисельного експерименту з використанням П, ПІ та ПІД законів керування керованою величиною було вибрано результативну температуру  $PT$ , а як керувальний вплив – масову витрату припливного повітря. Моделювання показало, що для керування мікрокліматом за результативною температурою достатньо ПІ регулятора, однак жоден із досліджених традиційних законів керування не здатен забезпечити перебування в заданих межах параметрів мікроклімату: температури, вологості та швидкості повітря в приміщенні. Для вирішення цієї проблеми на базі математичної моделі мікроклімату із зосередженими параметрами задачу забезпечення комфортного мікроклімату було зведено до класичної задачі оптимізації руху у фазовому просторі за наявності обмежень із цільовим функціоналом

$$J = \int_0^T (PT(x_1, x_2, x_3) - PT_3)^2 dt,$$

де  $x_1(t, \rho)$ ,  $x_2(\phi, \rho)$ ,  $x_3(v, \rho)$  – фазові координати об'єкта керування.

Оптимальне керування повинне забезпечувати мінімум функціонала та мінімальний час перебігу процесу  $T$ . Вирішення зазначеної задачі

дозволило синтезувати оптимальний релейний регулятор, в якому керувальний вплив виражається як кусочно-постійна функція:

$$u_j(\tau) = \text{sign} \left( \sum_{i=0}^3 k_{ji} x_i(\tau) \right), j = 1..4,$$

де  $u_j$  –  $j$ -й керувальний вплив;  $x_i$  –  $i$ -та фазова координата;  $k_{ij}$  – коефіцієнти.

У введенні додаткових фазових координат, що відповідають концентраціям забруднювачів, цей метод може бути адаптований до багатопараметричного керування комфортністю та якістю повітря. Проте для застосування для оптимального керування мікрокліматом групи приміщень даний метод потребує подальшого розвитку та дослідження.

Слід зазначити, що хоча використання класичних пропорційно-інтегральних (PI) та пропорційно-інтегрально-похідних (PID) контролерів покращує перехідну характеристику процесу, ефективність контролерів чутлива до вибору коефіцієнтів. Параметри контролера, що забезпечують оптимальне підтримання заданого значення за певних умов, не підходять для досягання інших цілей, таких як відстеження змінної заданої точки, мінімізації споживання енергії, а також пошуку балансу між декількома цілями відповідно до їх пріоритету [6; 7; 8]. Контролери PI та PID не можуть забезпечити оптимальний контроль і стабільність під час багатопараметричного керування навіть у разі їх каскадування. Це зумовило розвиток досліджень із застосування методів адаптивного та оптимального управління мікрокліматом.

Перспективним підходом до розв'язання задач багатопараметричного керування комфортністю та безпечністю мікроклімату є використання прогностичних моделей MPC. Цей підхід передбачає використання динамічної моделі об'єкта керування, деякої цільової функції та алгоритму оптимізації для визначення оптимального керування на заданому горизонті. У загальному випадку цільова функція має вигляд

$$J(\mathbf{u}_k) = J_y(\mathbf{u}_k) + J_u(\mathbf{u}_k) + J_{yu}(\mathbf{u}_k) + J_\varepsilon(\mathbf{u}_k),$$

де  $\mathbf{u}_k$  – вектор керувальних впливів, який є розв'язком оптимізаційної задачі на кроці  $k$ ;  $J_y(\mathbf{u}_k)$  – складник, що визначає якість вихідних сигналів;  $J_u(\mathbf{u}_k)$  – складник, що визначає вид керувальних впливів;  $J_\varepsilon(\mathbf{u}_k)$

Основними перевагами застосованого методу MPC є його здатність урахувувати передбачувані зовнішні фактори (прогнозів погоди та зайнятості приміщення) й обмеження, що застосовані до керованих величин та керувальних впливів. У роботі [9] запропоновано застосування

прогнозувальних моделей MPC для управління комфортністю мікроклімату за критерієм мінімізації вживаної енергії з обмеженнями потужності системи кондиціонування, мінімального потоку повітря, мінімальної та максимальної температури зони комфорту. Математичну модель приміщення було отримано з рівнянь теплового та масового балансу, а цільова функція енергетичних витрат має вигляд

$$J_{ec} = \sum_{t=1}^{t_{max}} \left[ |W_{hc}(t)| + C_p Q_{in}(t) (T_{in} - T_{out}(t)) + (Q_{in}(t))^2 / 2S_p \right],$$

де  $t_{max}$  – горизонт керування, с;  $W_{hc}(t)$  – витрати енергії на охолодження або нагрів повітря, Вт;  $Q_{in}(t)$  – масова витрата припливного повітря, кг/с;  $T_{in}$  – температура припливного повітря, С°;  $T_{out}(t)$  – температура зовнішнього повітря, С°;  $S_p$  – площа перетину вхідного отвору припливного повітря, м<sup>2</sup>.

Для зменшення обчислювальної складності моделі була проведена її лінеаризація, що дозволяє здійснювати керування мікрокліматом у реальному часі. Зауважимо, що в такій постановці задачі керування цільова функція не є адитивно-відокремлюваною та не може бути узагальнена для синтезу децентралізованого алгоритму.

Вагомим недоліком методу прогностичних моделей є високі вимоги до обчислювальної потужності контролерів, особливо в разі використання нелінійної моделі об'єкта керування й великої кількості керованих величин та керувальних впливів, оскільки метод потребує вирішення задачі оптимізації на кожному кроці управління.

У роботі [10] запропоновано методику синтезу децентралізованої системи управління мікрокліматом групи приміщень, яка має значно нижчу обчислювальну складність та може бути реалізована на сучасній базі контролерів реального часу. Така система складається з декількох незалежних інтелектуальних агентів, пов'язаних із центральним контролером. Теоретичною основою методики є моделювання мікроклімату комплексу приміщень з використання термодинамічної моделі опору-ємності, яка дозволяє поставити задачу статичного розподілення ресурсів (припливного повітря) для підтримання температури в кожному приміщенні якомога ближче до встановленої за одночасної мінімізації енергетичних витрат системи кондиціонування повітря. Відповідна цільова функція поставленої задачі стаціонарної оптимізації має вигляд:

$$J = \frac{1}{2} \sum_{i \in N} r_i (T_i - T_i^{set})^2 + \frac{w}{\eta} \sum_{i \in N} c_a m_i |T_i - T^s| + ws \left( \sum_{i \in N} m_i \right)^3$$

де  $r_i$  та  $w$  – позитивні вагові коефіцієнти;  $\eta$  – коефіцієнт продуктивності нагрівального/охолоджувального елемента;  $s$  – коефіцієнт енергетичних

витрат вентилятору;  $T_i$ ,  $T_i^{set}$ ,  $m_i$  – відповідно температура, уставка температури, масова витрата припливного повітря в приміщення  $i$ ;  $T^s$  – температура припливного повітря;  $c_a$  – питома теплоємність повітря.

Задача стаціонарної оптимізації вирішувалась із використанням субградієнтного методу опуклої оптимізації, який дозволяє побудувати децентралізований ітераційний алгоритм визначення керувального впливу  $m_i$  в залежності від уставки температури  $T_i^{set}$  та поточної температури повітря в приміщенні. Особливістю запропонованої методики є можливість упровадження контролерів з динамічним зворотнім зв'язком, які керують потоком повітря в кожне з контрольованих приміщень.

Управління на основі правил широко використовується для контролю температури в системах управління мікрокліматом. Встановлені значення температури беруться з інженерних сценаріїв-правил типу «якщо умова, то дія», за допомогою яких контролер реалізує управління температурою для кожної теплової зони. Ефективність таких систем залежить від належних правил та відповідних параметрів. Одним із перспективних підходів до керування мікрокліматом на основі правил є застосування систем керування з нечіткою логікою [11]. Контролер отримує на вході завдану користувачем температуру, поточну температуру в приміщенні, температуру точки роси, зайнятість приміщення (кількість людей) та час дня (ранок, після обіду, ніч). На виході контролер розраховує навантаження компресору та вентилятору, режим роботи (контроль температури або вологості) та інтенсивність потоків повітря. Контролер складається з бази даних для нормалізації значень вхідних параметрів, бази нечітких правил, ядра нечіткого виводу та декодера, що відображує висновки ядра нечіткого виводу в команди виконавчим елементам. Розрахунок вихідних значень контролеру здійснюється за допомогою 18-ти матриць евристичних правил «якщо, то». Основним недоліком таких систем є потреба в перенастроюванні під час зміни умов експлуатації для забезпечення оптимальності. Цей тип управління може призвести до перепадів температури або ефектів синхронізації та не забезпечувати оптимальних рішень з точки зору споживання енергії.

Надбудова судна складається з декількох суміжних житлових та робітничих приміщень, тому задачу керування судовим мікрокліматом доцільно розглядати як комплексне завдання оптимізації параметрів повітря в декількох контрольованих зонах. Проведений аналіз наукових

праць показав, що задачу синтезу оптимальних систем багатопараметричного автоматичного керування безпечністю, якістю та комфортністю повітря приміщень суднової надбудови доцільно вирішувати зведенням її до задачі статичного розподілу ресурсів за методом, запропонованим у роботі [10]. Така система повинна забезпечувати оптимальний керувальний вплив

$$\mathbf{u} = (t_{mn}, c_{mn}^1, \dots, c_{mn}^M, m_{mn}^1, \dots, m_{mn}^M) = \operatorname{argmin} J(\mathbf{u}),$$

$$J = \sum_{i \in N} \left( \sum_{j \in M} \alpha_j c_j^i + \beta AQI_n^i + \gamma |PMV_n^i| + \mu^i |t^i - t_{st}^i| + \zeta^i |\varphi^i - \varphi_{st}^i| + \nu^i + \vartheta c_{m_i} |t^i - t_n^i| \right),$$

$$c_j^i \text{ " } c_j^{\max}$$

$$AQI^i \text{ " } AQI^{\max}$$

$$t^{\min} \text{ " } t^i \text{ " } t^{\max}$$

$$\varphi^{\min} \leq \varphi^i \leq \varphi^{\max}$$

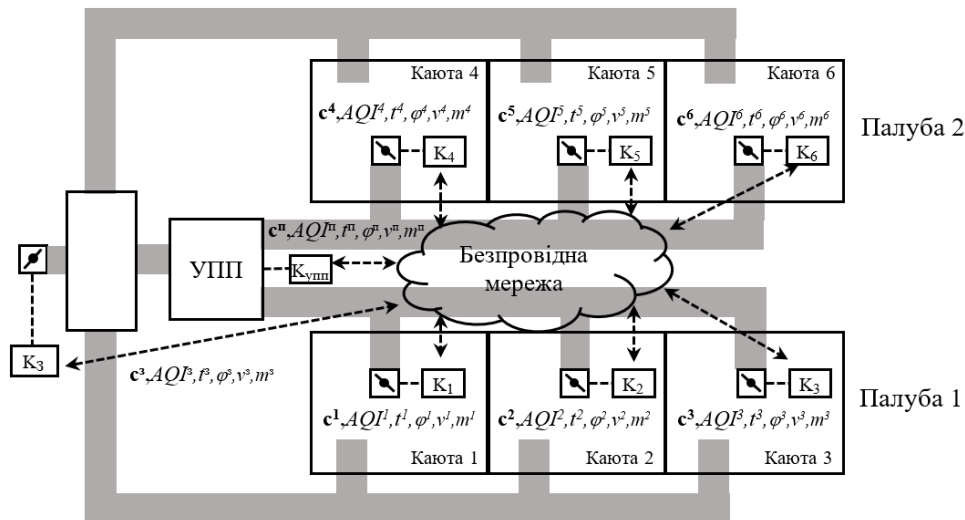
$$v^i \text{ " } v^{\max}$$

де  $t^i$ ,  $\varphi^i$ ,  $v^i$ ,  $c_j^i$  – відповідно температура, відносна вологість та концентрація  $j$ -го забруднювача повітря  $i$ -го приміщення;  $t_{mn}$ ,  $\varphi_{mn}$ ,  $c_{mn}^j$  – відповідно температура, відносна вологість та концентрація  $j$ -го забруднювача припливного повітря;  $M$  – кількість контрольованих забруднювачів;  $m_{mn}^i$  – об’ємна витрата припливного повітря в  $i$ -му приміщенні;  $\alpha_j$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го забруднювача;  $\beta$  – ваговий коефіцієнт індексу якості повітря;

$\gamma^i$  – ваговий коефіцієнт показника комфортності PMV  $i$ -го приміщення;  $\mu^i$  – ваговий коефіцієнт температури повітря приміщення;  $\zeta^i$  – ваговий коефіцієнт відносної вологості повітря приміщення;  $\eta$  – ваговий коефіцієнт швидкості повітря;  $\vartheta$  – ваговий коефіцієнт енергетичних витрат.

Запропонована цільова функція є адитивно-відокремлюваною, що дозволяє синтезувати оптимальний розподілений алгоритм з використанням методів опуклої оптимізації. У загальному випадку сформульована задача неопукла через неопуклість доданків  $AQI_n^i$  та  $PMV_n^i$  цільової функції. Використання швидких алгоритмів опуклої оптимізації з поліноміальним часом потребують проведення опуклої апроксимації показника комфортності PMV [12] та індексу якості повітря AQI. У роботі [13] запропоновано апроксимувати показник PMV кусково-лінійною функцією, що уможливило використання методів лінійного програмування для його оптимізації. Оскільки більшість прийнятих індексів якості повітря AQI є кусково-лінійними функціями, їх можна апроксимувати опуклою кривою методами регресійного аналізу.

Поставлена задача оптимізації характеризується універсальністю, яка забезпечується структурою цільової функції та можливістю налаштувати оптимізаційну стратегію за допомогою



**Рис. 1. Схема розподіленої системи багатопараметричного автоматичного керування якістю та комфортністю повітря суднових приміщень:**  
 УПП – установка підготовки повітря;  $K_i$  – контролер якості повітря  $i$ -го приміщення;  $c^i, AQI^i, t^i, \varphi^i, v^i, m^i$  – відповідно вектор концентрацій забруднювачів, індекс якості, температура, відносна вологість, швидкість та масова витрата повітря  $i$ -го приміщення;  $c^3, AQI^3, t^3, \varphi^3, v^3, m^3$  – відповідно вектор концентрацій забруднювачів, індекс якості, температура, відносна вологість, швидкість та масова витрата зовнішнього повітря;  $c^1, AQI^1, t^1, \varphi^1, v^1, m^1$  – відповідно вектор концентрацій забруднювачів, індекс якості, температура, відносна вологість, швидкість та масова витрата припливного повітря



вагових коефіцієнтів. Так, відповідність стандартам якості повітря та підтримання комфорту з найменшим пріоритетом енергозбереження забезпечуються ваговими коефіцієнтами, що задовольняють  $\alpha > \beta > \gamma > \mu > \xi > \eta > \nu$ .

На рис. 1. представлена схема можливої реалізації розподіленої системи багатопараметричного автоматичного керування якістю та комфортністю повітря суднових приміщень. Система складається зі з'єднаних в однорангову мережу контролерів масової витрати припливного повітря в приміщеннях, контролеру заслінки зовнішнього повітря та контролеру установки підготовки повітря. Децентралізований принцип організації системи дозволяє забезпечити стійкість до несправностей окремих компонентів та зниження вимог до їх обчислювальної потужності. Для дослідження ефективності алгоритмів децентра-

лізованого керування доцільно використовувати методику моделювання мікроклімату суднових приміщень, запропоновану в роботі [14].

**Висновки.** Проаналізовані методи керування мікрокліматом не ставили завдання забезпечувати комфортність помешкання за всіма регламентованими параметрами (температура, вологість та рухомість повітря) з одночасним забезпеченням його безпечності за газовим складом та енергоефективності. Підтримання якості газового складу повітря суднових приміщень за заданими критеріями вмісту домішок можна виділити як невирішену раніше частку загальної проблеми забезпечення комфортного та безпечного помешкання. Виявлено необхідність удосконалення існуючих методів управління мікрокліматом шляхом включення якості газового складу атмосфери житлових приміщень до показників комфортності помешкання.

#### Список літератури:

1. Russo A., Popović T., Tomić V. The impact of technology on seafarer's work and leisure. In 6th International Maritime Science Conference. Book of Proceedings, 2014. P. 173–178.
2. Elspeth H., Hassel E.V. Risks and Benefits of Crew Reduction and/or Removal with Increased Automation on the Ship Operator: A Licensed Deck Officer's Perspective. Applied Sciences, 2021. Vol. 11, no. 8: 3569.
3. Abdul-Wahab S.A., Chin Fah En S., Elkamel A., Ahmadi L., Yetilmezsoy K. A review of standards and guidelines set by international bodies for the parameters of indoor air quality. Atmospheric Pollution Research. vol. 6, issue 5, 2015. pp. 751–767.
4. Satish U., Mendell M.J., Shekhar K., Hotchi T., Sullivan D., Streufert S., Fisk W. J. Is CO2 an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO2 concentrations on human decision-making performance. Environ Health Perspect. 2012. no. 120:1671.
5. Allen J.G., Mac Naughton P., Satish U., Santanam S., Vallarino J., Spengler J.D. Associations of cognitive function scores with carbon dioxide, ventilation, and volatile organic compound exposures in office workers: a controlled exposure study of green and conventional office environments. Environ Health Perspect, 2016 no. 124:805.
6. Pervez S., Nursyarizal N., Perumal N., Irraivan E., Taib I. A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. Renewable and Sustainable Energy Reviews. vol. 34, 2014 pp. 409–429.
7. Голиков В.А. Повышение эффективности и оптимизация режимов работы систем судового микроклимата : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.08.05. Одеса, 2000. 407 с.
8. Hazyuk I. Optimal temperature control of intermittently heated buildings using Model Predictive Control: Part I – Building modeling. Building and Environment, 2012. 255 p.
9. Ryzhov A., Ouerdane H., Gryazina E., Bisch A., Turitsyn K. Model predictive control of indoor microclimate: Existing building stock comfort improvement. Energy Conversion and Management, 2018. 179 p.
10. Zhang X., Shi W., Yan B., Malkawi A., Li N. Decentralized and distributed temperature control via HVAC systems in Energy Efficient Building : An approximate solution procedure. 2016 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2016.
11. Md. Fakhrudin H.N., Syed A.A., Mohd.Muzafar Dr. Syed Azam pasha Quadri. Fuzzy Logic in HVAC for Human Comfort, 2016.
12. Jiri C., Privara S., Vana Z., Komarkova D., Sebek Mi. Optimization of predicted mean vote thermal comfort index within Model Predictive Control framework. In 2012 IEEE 51st Annual Conference on Decision and Control (CDC). IEEE, 2012.
13. Zhanbo X., Guoqiang H., Costas S. PMV-Based Event-Triggered Mechanism for Building Energy Management under Uncertainties. Energy and Buildings, 2017.
14. Білий В.А., Голиков В.А., Моделювання мікроклімату суднової надбудови в Matlab-Simulink. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. Миколаїв, 2021. № 2 (485). С. 36–45.

**Bily V.A., Golikov V.A. A MULTIPARAMETRIC APPROACH TO ENSURING OF ONBOARD MICROCLIMATE QUALITY**

*The microclimate of the living and working premises on board ships is one of the most important factors influencing the well-being of the human operator, it's stress tolerance, endurance and cognitive abilities. Comfort and cleanliness of indoor air determines stability of the human element in the human-vessel ergatic system. Integrated management of the onboard indoor microclimate requires an expanded interpretation to maintain its safety and thermal comfort with sufficient energy consumption efficiency of the HVAC system. The article considers different approaches to the management of microclimate parameters and the design of automatic air handling systems as an integral part of the ship's life support system. Modern methods of ensuring a comfortable and safe microclimate of ship premises are analyzed. The most promising approaches in terms of efficiency and computational complexity are shortlisted. The results of the work include formulation of the optimal multiparameter control problem and synthesis of the corresponding automatic control system design for managing of microclimate inside ship superstructure. For purpose of this work ship superstructure is considered as a hierarchically interconnected set of decks, cabins and working premises. The obtained cost function allows to implement various optimization strategies and adapt them in accordance with international and industry requirements for comfort and air quality and to ensure the ability to prioritize optimization criteria as required. It was shown that using of decentralized control scheme is promising approach to solve the formulated optimization control problem.*

**Key words:** microclimate, gas composition, air quality, comfort, effective temperature, model predictive control, decentralized control.

УДК 629.5.064.5  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/33>

**Дакі О.А.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Якусевич Ю.Г.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Колесник В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Тришин В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИЯВЛЕННЯ НЕСПРАВНОСТЕЙ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ НА СУДНІ НА ОСНОВІ ДЕРЕВА ВІДМОВ

*У роботі висвітлюється проблема постійного розвитку суднової енергетики, автоматизації, що впливає на роботу електричного обладнання. Типи електричних несправностей електрообладнання численні і часто непередбачувані. Зазначається, що в разі виходу обладнання з ладу використовуються різні методи контролю і діагностики несправностей електрообладнання. Контроль у такому випадку трактується як виявлення несправності, а діагностика – як пошук відмови вузла елемента. В якості таких методів контролю і діагностики можуть, наприклад, використовуватися методи на основі аналізу дерева відмов або на основі використання баз знань експертної системи.*

*У статті наведено підходи щодо побудови моделі дослідження особливостей несправностей електрообладнання на судні на основі дерева відмов. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація видів несправностей електрообладнання судна, що сприяє правильному визначенню причин відмов і їх усуненню та дає змогу застосовувати метод дерева відмов. Обґрунтовано доцільність та розроблені пропозиції щодо формального представлення процесу виявлення несправностей електрообладнання судна на основі дерева відмов. Надалі дерево відмов може бути використано для аналізу чутливості окремих подій до відхилень параметрів системи. Також можливе проведення аналізу дерева відмов з метою видачі рекомендацій, а саме, в яких напрямках повинні бути вжиті заходи для зниження ризику головної події.*

*Головна перевага дерева відмов (порівняно з іншими методами) полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів системи й подій, які призводять до конкретної відмови системи або аварії. Однак цей метод також може використовуватися в якості формального апарату для формалізації знань експертів під час розробки експертної системи обслуговування, контролю, діагностики та ремонту суднового електроустаткування. Метою статті є вдосконалення процесу визначення несправностей електрообладнання на судні з урахуванням їхніх особливостей на основі використання дерева відмов. Тому доцільним є вивчення вказаного питання в дослідженні особливостей виявлення несправностей електрообладнання.*

**Ключові слова:** електрообладнання, несправність, судно, дерево відмов, класифікація, логічний символ.

**Постановка проблеми.** Із постійним розвитком суднової електротехніки, обладнання й автоматизації електричне обладнання стає все більш складним, тож типи електричних несправностей електрообладнання численні і часто непередбачувані. У разі виходу обладнання з ладу використовуються різні методи контролю і діагностики несправностей електрообладнання. Контроль у такому випадку трактується як виявлення несправності, а діагностика – як пошук відмовив вузла елемента. В якості таких методів контролю й діагностики

можуть, наприклад, використовуватися методи на основі аналізу дерева відмов або на основі використання баз знань експертної системи.

Як зазначається в роботі [1], для допомоги електротехнічному персоналу суден з обслуговування електроустаткування найбільш повно підходить експертна система з напрямком на обслуговування, контроль, діагностику і ремонт суднового електрообладнання. Це пов'язано перш за все з тим, що за її розробки в базі знань можна врахувати багаторічний досвід обслуговування

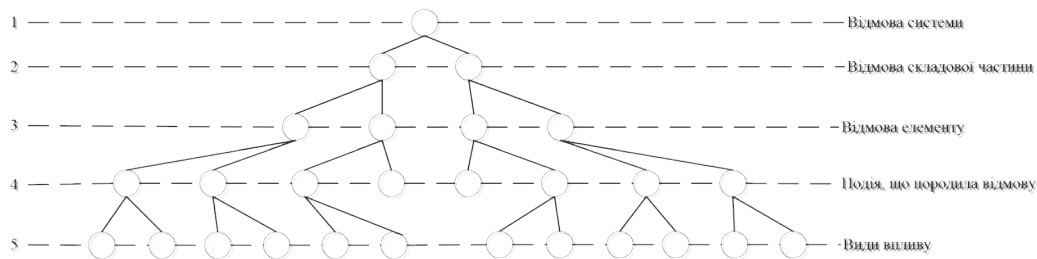


Рис. 1. Умовна схема побудови дерева відмов

електроустаткування професіоналами та досвід спеціальних кафедр підготовки електротехнічного персоналу суден. При цьому з математичної точки зору базовим методом формалізації знань експертів виступає апарат продукційних правил.

Дерево відмов (несправностей, аварій, подій, наслідків, небажаних подій та ін.) лежить в основі логіко-ймовірнісної моделі причинно-наслідкових зв'язків відмов системи з відмовами її елементів та іншими подіями (впливами). Під час аналізу виникнення відмови дерево відмов складається з послідовностей і комбінацій порушень і несправностей, таким чином, воно являє собою багаторівневу графологічну структуру причинних взаємозв'язків, отриманих у результаті простеження небезпечних ситуацій у зворотному порядку для того, щоб відшукати можливі причини їх виникнення (рис. 1).

Головна перевага дерева відмов (порівняно з іншими методами) полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням тільки тих елементів системи і подій, які призводять до конкретної відмови системи або аварії. Водночас цей метод також може використовуватися в якості формального апарату для формалізації знань експертів під час розробки експертної системи обслуговування, контролю, діагностики та ремонту суднового електроустаткування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження особливостей несправностей електрообладнання на судні базується на роботах вчених, які зробили вагомий внесок як у розвиток теорії, так і розробку методів вирішення прикладних завдань, таких як: В.Я. Молочков, І.Д. Молочкова [1], О.В. Терещенкова, К.В. Кондрашов [2], Л.І. Ковтун [3], Ю.Л. Іванілов [4], А.Е. Стукалов [5], І.А. Бурмака [6].

Роботи П. Лейси [7], А.В. Антонова, Е.Ю. Галивеца, В.А. Чепурка, А.Н. Черняєва [8], Д.Н. Шевченка [9], А.Б. Корчагіна [10] присвячені дослідженням щодо застосування методів на основі дерева відмов.

Окремо необхідно виділити спеціалізовані міжнародні нормативні джерела щодо питань безпеки на морських судах [11] та стандарту з використання математичного апарату дерева відмов [12].

**Постановка завдання.** Мета статті – вдосконалення процесу визначення несправностей електрообладнання на судні з урахуванням їхніх особливостей на основі використання дерева відмов.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Суднове електрообладнання – сукупність апаратів і приладів накопичення, перетворення і передачі електроенергії. Загалом комплекс складається з ряду механізмів: розподільних щитків, трансформаторів, проводів, регуляторів, освітлювальних пристроїв, а також механічних та електричних керуючих систем.

У практиці експлуатації електрообладнання важливе значення має класифікація несправностей через те, що вона сприяє правильному визначенню причин відмов та їх усуненню. Аналіз несправностей електрообладнання судна показує, що приблизно 40–50% всіх відмов відбувається через помилки, що допущені під час конструювання, 20% – через помилки в процесі виробництва, 30% – у результаті неправильної експлуатації, 5–10% – через природне зношування та старіння (рис. 2).

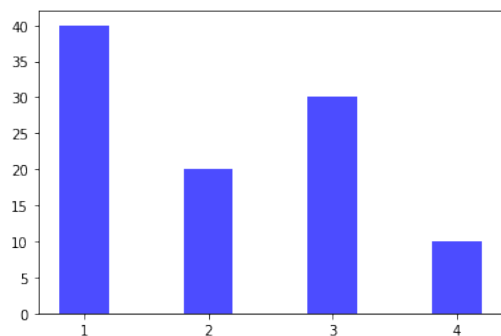


Рис. 2. Порівняльний аналіз причини виникнення несправностей електрообладнання судна:

1 – через помилки, що допущені під час конструювання; 2 – через помилки в процесі виробництва; 3 – в результаті неправильної експлуатації; 4 – через природне зношування і старіння.

Для побудови дерева відмов електрообладнання судна представимо класифікацію видів несправностей, що умовно наведена на рис. 3.

Надалі побудова дерева відмов ґрунтується на видах відмов, що визначаються внаслідок їх появи.

Класифікація станів електрообладнання судна у разі наявності або відсутності несправностей визначається такими підмножинами видів технічного стану:

- $\omega_c$  а  $\omega_{nc}$  справний та несправний;
- $\omega_p$  а  $\omega_{np}$  працездатний та непрацездатний;
- $\omega_f$  а  $\omega_{nf}$  правильно та неправильно функціонуючий.

Відмова(несправність) електрообладнання  $\omega_e$  визначається як група станів відповідно до такого виразу:

$$\omega_e = \omega_{nc} \cap \omega_{np} \cap \omega_{nf} \quad (1)$$

Щоб відшукати й наочно уявити причинний взаємозв'язок із допомогою дерева відмов, необхідні елементарні блоки, що підрозділяють і зв'язують велику кількість подій. Є два типи блоків: логічні символи (знаки) і символи подій.

Логічні символи (знаки) пов'язують події відповідно до їх причинних взаємозв'язків. Позначення логічних знаків наведені в табл. 1. Значення логічних символів дерева відмов може мати один або кілька входів, але тільки один вихід або вихідну подію.

Логічний знак «І» (схема збігу). Вихідна подія логічного знаку І настає в тому випадку, якщо всі вхідні події з'являються одночасно. Події, вхідні по відношенню до операції І, повинні сформулюватися так, щоб друге було умовним по відношенню до першого, третє умовним по відношенню до першого і другого, а останнє – умовним до всіх попередніх. Крім того, одна з подій має бути пов'язана з появою вихідної події. Повна характеристика події не потрібна. Потрібно лише впорядкувати події так, щоб подія праворуч залежала від появи події ліворуч. Таким чином, поява вихідної події буде визначатися появою останньої події в ряду N-подій. Якщо є кілька причин, які повинні з'явитися одночасно, то зазвичай використовують операцію І.

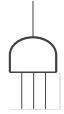




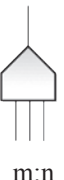
Логічний знак «АБО» (схема об'єднання). Вихідна подія логічного знаку АБО настає в тому випадку, якщо наявна будь-яка з вхідних подій. Події, вхідні по відношенню до операції АБО, повинні сформулюватися так, щоб вони разом вичерпували всі можливі шляхи появи вихідної події. Крім того, будь-яка з вхідних подій повинно призводити до появи вихідної події. Якщо будь-яка з причин призводить до появи вихідної події, слід використовувати операцію АБО.

Таким чином, для будь-якої події, що підлягає подальшому аналізу, спочатку розглядаються всі



Рис. 3. Класифікація видів відмов (несправностей) електрообладнання судна

Логічні символи дерева відмов

№	Символ	Назва	Сутність (причинний взаємозв'язок)
1		I	Вихідна подія відбувається, якщо всі вхідні події трапляються одночасно
2		АБО	Вихідна подія відбувається, якщо трапляється будь-яка з вхідних подій
3		Заборона	Наявність входу викликає наявність виходу тоді, коли відбувається умовна подія
4		Пріоритетне I	Вихідна подія трапляється, якщо всі вхідні події відбуваються в потрібному порядку зліва направо
5		Виключне АБО	Вихідна подія трапляється, якщо трапляється одна (але тільки одна) з вихідних подій
6	 m:n	Голосування або вибірка	Вихідна подія трапляється, якщо трапляється m з n вхідних подій

можливі події, які є входами операцій АБО, потім входи операцій I. Це справедливо як для головної події, так і для будь-якої події, аналіз якої доцільно продовжити.

Шестикутник, що є логічним знаком заборони, використовується для представлення імовірнісних причинних зв'язків. Подія під логічним знаком заборони називається вхідною подією, тоді як подія, розташована збоку від логічного знаку, називається умовною подією. Умовна подія набуває форми події за умови появи вхідної події. Вихідна подія відбувається, якщо і вхідна, і умовна подія наявні. Тобто, вхідна подія викликає вихідну з імовірністю (зазвичай постійної) появи умовної події. Логічний знак заборони часто з'являється в тих випадках, коли подія викликається на вимогу. Він використовується головним чином для зручності й може бути замінений логічним знаком I.

«Пріоритетне I». Подія на виході з'являється, якщо події на вході відбуваються в певній послідовності (зліва направо). Поява подій на вході

в іншому порядку не викликає події на виході. Розглянемо, наприклад, систему електроживлення судна, що має основне й резервне джерело живлення, наприклад, основний та резервний дизель-генератор. Резервне джерело живлення включається в роботу автоматично перемикачем, коли відмовляє основне джерело. Живлення відсутнє, якщо:

- відмовляють як основний, так і резервний джерела;
- спочатку виходить з ладу перемикач, а потім відмовляє основне джерело живлення.

Передбачається, що, якщо за відмовою перемикача настає відмова основного джерела, це не призведе до втрати живлення за умови нормальної роботи резервного джерела. Логічний символ «пріоритетне I» може бути представлений поєднанням «логічного I» та знаку заборони, а отже, ці логічні знаки є еквівалентом «логічного I». Умовною подією для «логічної заборони» є те, що вхідні події логічного знаку I відбуваються в певній послідовності (рис. 4).



Рис. 4. Приклад відмови системи електроживлення судна з використанням дерева відмов

Логічний символ «виключне АБО» описує ситуацію, в якій подія на виході з'являється, якщо одна з двох (але не обидві) події відбуваються на вході. Як приклад розглянемо ту ж систему електроживлення судна на основі двох дизель-генераторів. Часткова втрата потужності може бути представлена елементом «виключне АБО». Цей елемент може бути замінений комбінацією логічних елементів І та АБО (рис. 5). Зазвичай у дереві відмов уникають використання працездатних станів, таких як «генератор працює», оскільки вони значною мірою ускладнюють кількісний аналіз.

Логічний знак голосування  $m$  з  $n$  має  $n$  подій на вході, а подія на виході з'являється, якщо відбуваються щонайменше  $m$  з  $n$  подій на вході. Розглянемо відмову системи електроживлення судна, яка зберігає працездатність до відключення двох з трьох джерел живлення. Припустимо, що виключення системи відбувається тоді й тільки тоді, коли два з трьох джерел живлення вийшли з ладу. Таким чином, вимикання системи відбувається, якщо два або більша кількість контрольних приладів подадуть помилковий сигнал на вимикання, тоді як система перебуває в нормальному стані.

Якісний аналіз побудованого дерева відмов проводиться з використанням методу аналізу набору мінімальних перетинів. Сутність його полягає в тому, щоб знайти спосіб визначення можливих комбінацій відмов у роботі електроустаткування (мінімального короткого шляху), які призводять до виникнення небажаної події.

Серед переваг застосування методу дерева відмов виділимо такі:

- аналіз орієнтується на знаходження відмов;
- дає змогу показати в явному вигляді ненадійні місця;

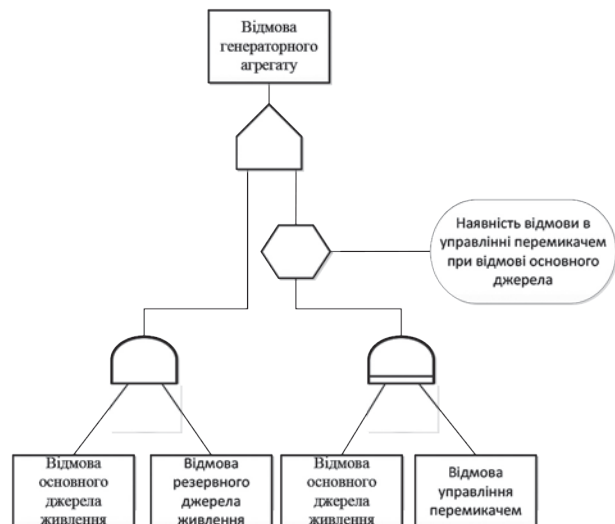


Рис. 5. Приклад відмови системи електроживлення судна з використанням розширеного дерева відмов

– забезпечується графікою та являє наочний матеріал для тієї частини фахівців, які беруть участь в обслуговуванні системи;

– надає можливість виконувати якісний або кількісний аналіз надійності системи.

Основні недоліки дерева відмов:

– важко врахувати стан часткової відмови елементів, оскільки за використання методу, як правило, вважають, що система знаходиться або в справному стані, або в стані відмови;

– труднощі в загальному випадку аналітичного рішення для дерев, які містять резервні вузли та відновлювані вузли з пріоритетами;

– дерево відмов описує систему в певний момент (зазвичай у сталому режимі), і послідовності подій можуть бути показані з великими труднощами, іноді це виявляється неможливим.

#### Висновки.

1. Систематизовано проблеми, здійснена класифікація видів несправностей електрообладнання судна, що сприяє правильному визначенню причин відмов та їх усуненню, що своєю чергою дало змогу застосовувати метод дерева відмов.

2. Обґрунтовано доцільність та розроблено пропозиції щодо формального представлення процесу виявлення несправностей електрообладнання судна на основі дерева відмов.

3. Надалі дерево відмов може бути використано для аналізу чутливості окремих подій до відхилень параметрів системи. Також можливе проведення аналізу дерева відмов із метою видачі рекомендацій, а саме, в яких напрямках повинні бути вжиті заходи для зниження ризику головної події.

**Список літератури:**

1. Молочкова И.Д. Экспертные системы в практике обслуживания и ремонта электрооборудования судов. *КиберЛенинка*. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekspertnye-sistemy-v-praktike-obsluzhivaniya-i-remonta-elektrooborudovaniya-sudov/viewer> (дата звернення: 15.10.2021).
2. Терещенкова О.В. Анализ неисправностей судового электрооборудования. «*PERSPECTIVES OF SCIENCE AND EDUCATION*»: IV міжнар. науково-практ. конф., м. Карлові Вари, 2018. С. 443–449.
3. Ковтун Л.И. Мониторинг, упреждающее моделирование и ситуационный анализ аварийных процессов и мер противодействия для систем автоматизированного управления сложными комплексами машиностроения морской техники: программная разработка для ЭВМ. № 2010613335, от 20 мая 2010 г.
4. Иванилов Ю.Л. Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации : учебное пособие для вузов. Омск : Иртышский филиал НГАВТ, 2007. 208 с.
5. Стукалов А.Е. Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматизации : Методические указания к расчетно-графическим работам для студентов спец. 180404 / Сост. А.Е. Стукалов. Омск : Иртышский филиал НГАВТ, 2007. 16 с.
6. Бурмака И.А. Судовые энергетические установки и электрооборудование судов : учебник. Одесса : ОНМА, 2014. 136 с.
7. Лэйси П. Применение анализа дерева отказов для выявления и управления рисками в сфере оказания гуманитарных услуг, финансируемых государством. *Материалы 2-й Международной конференции по государственной политике и социальным наукам*. 2011.
8. Fault tree analysis in the R programming environment / A.V. Antonov et. al. 2018. Т. 18. № 1. С. 4–13. URL: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2018-18-1-4-13> (дата звернення: 18.10.2021).
9. Шевченко Д.Н. Анализ динамического дерева отказов. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2011. № 2. С. 142–148.
10. Корчагин А.Б. Надежность технических систем и техногенный риск : учеб. пособие в 2 ч. Омск : Изд-во ОмГТУ, 2011. 140 с.
11. Международная Конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года (ПДМНВ-78), с изменениями, дополнениями, принятыми Комитетом по безопасности на море в 1995, 1997, 1998, 2000, 2004 гг. Одесса : Студия «Негоциант», 2005. 194 с.
12. Faulttree-analysis (FTA) IEC 1025:1990. Стандарт МЭК Анализ дерева неполадок, 1990 / пер. с франц., СИФ НТЦ ПБ-707. (ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990). Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей).

**Daki O.A., Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V. RESEARCH OF FEATURES OF FAULTS DETECTION OF ELECTRICAL EQUIPMENT ON SHIPS BASED ON A FAULT TREE**

*The paper highlights the problem of continuous development of marine energy, automation, which affects the operation of electrical equipment. Yes, as the types of electrical failures of electrical equipment are numerous and often unpredictable. It is noted that in case of equipment failure, various methods are used to control and diagnose faults in electrical equipment. Under control in this case means detection of malfunction, and under diagnostics search of the failed knot of an element. As such methods of control and diagnostics, for example, methods on the basis of the analysis of a tree of failures or on the basis of use of knowledge bases of expert system can be used.*

*The article presents approaches to building a model for studying the characteristics of electrical equipment failures on a ship based on a failure tree. The problems are systematized, the classification of types of malfunctions of the ship's electrical equipment is carried out, which contributes to the correct determination of the causes of failures and their elimination and allowed to apply the method of failure tree. The expediency and proposals for the formal presentation of the process of detecting faults in the electrical equipment of the vessel on the basis of the failure tree are substantiated. In the future, the failure tree can be used to analyze the sensitivity of individual events to deviations of system parameters. It is also possible to analyze the failure tree in order to issue recommendations, namely, in which areas measures should be taken to reduce the risk of the main event.*

*The main advantage of the failure tree (compared to other methods) is that the analysis is limited to identifying only those elements of the system and events that lead to a particular system failure or accident. This method can also be used as a formal apparatus for formalizing the knowledge of experts in the development of an expert system of maintenance, control, diagnostics and repair of marine electrical equipment. The purpose of the article is to improve the process of determining the faults of electrical equipment on the ship, taking into account their features based on the use of the failure tree. Therefore, it is expedient to study this question at research of features of detection of malfunctions of the electric equipment.*

**Key words:** *electrical equipment, malfunction, vessel, failure tree, classification, logical symbol.*



UDC 347.82:629.7.014(045)

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/34>**Ivannikova V.Yu.**

National Aviation University

**Ayrapetyan A.G.**

National Aviation University

## UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS) OPERATION IN UKRAINE: A REGULATIONS REVIEW

Recent events in the world have given new impetus to the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) industry in Ukraine. Currently, their usage is growing rapidly not only in the military sphere, but in the different civilian applications such as, delivery of goods, search and rescue, urgent aerial photography, monitoring of large areas, precision agriculture, etc. Since the beginning of the COVID-19 pandemic we observe further increasing of UAVs usage in many public needs, such as tracking quarantine violators, delivery of vaccines, etc.

However, like any innovative industry, the UAVs market is facing challenges to overcome. One of them is insufficiently clear legislation, regarding the use of consumer and commercial UAVs as well as the prohibition of their free use (licensing) in the Ukrainian airspace. In addition, there is the danger of creating problems for other air traffic participants, as well as vehicles, infrastructure, and people on the ground. In turns, legal uncertainties have delayed the development of the UAVs market, which is technically ready to launch many new services.

The main issues that should be resolved in the UAVs operation regulations in Ukraine are the competence of owners and external pilots (operators) of UAVs, certification and licensing of UAVs operators; restrictions and safety of UAVs usage; UAVs registration; requirements for the use of UAVs for non-commercial and commercial purposes; the possibility of constitutional human rights violations during UAVs operation.

The paper investigates the UAVs operation regulations on the global scale and the degree of its implementation into the correspondent Ukrainian legislation.

Comparative analysis of Ukrainian legal framework and international regulations on the UAVs usage has been conducted in the article. Adapting Ukrainian regulations to the relevant requirements, standards and recommended practices of the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the European Union (EU) is an obligation for Ukraine during its course to European integration. It has been found out in the papers that unified Ukrainian rules, regulating the UAVs operation, are in the process of development now; they are not contradicting the correspondent EU and ICAO principles as well as ensure development and necessary level of aviation safety.

It was also established in the paper that the problem of UAVs usage legislative regulation is of concern not only to Ukraine. In the majority of EU countries, the procedure for the UAVs operation has not yet been finalized.

**Key words:** Unmanned Aerial Vehicles, Ukraine, International Civil Aviation Organization, European Union, operation, analysis, unified regulations.

**Introduction.** The use of Unmanned Aerial Vehicles (hereinafter UAVs) is growing rapidly in different branches of economy, including real-time monitoring, providing wireless coverage, remote sensing, search and rescue, delivery of goods, security and surveillance, precision agriculture, civil infrastructure inspection, etc. [1–4]. So, from rush hour delivery services to scanning inaccessible areas, UAVs are proving to be critical in situations, where humans are unable to reach or cannot perform timely and efficiently hazardous tasks. Shares of the global market for the UAVs services by industry are presented in the fig. 1.

The prospect of the UAVs market is estimated as very high – in the next 3–5 years the annual sales growth will be more than 100% (see fig. 2).

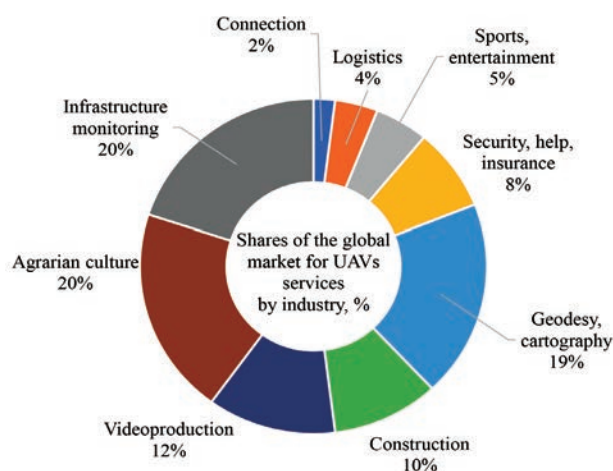


Fig. 1. Shares of the global market for the UAVs services by industry [5]

Talking about Ukraine, key prospects for the drone market are as follows: application by the police of large cities; application by firefighters; application in healthcare; application in mapping; accurate geodata; urgent delivery of purchases, food, spare parts, batteries, cables; courier services; aerial photography for agribusiness and precision agriculture; monitoring of pipelines and power lines; use as the last mile to improve network coverage; entry into the airline UAV market; media use; increased commercial activity in software development; increased sales of drones with high-quality cameras and stabilization systems.

Since the beginning of the COVID-19 pandemic the variety of the UAVs usage is constantly increasing [7], especially, we could see the growth of their practical implementation in many public needs, such as the delivery of essential food, tracking quarantine violators, etc. [8]. Furthermore, drones have already proven to be useful tools in curbing the spread of the virus and aiding efforts to contain and battle the COVID-19 disease. There are in fact at least five tangible ways, in which the UAVs can and are being used right now in the period of Coronavirus Crisis (see fig. 3).

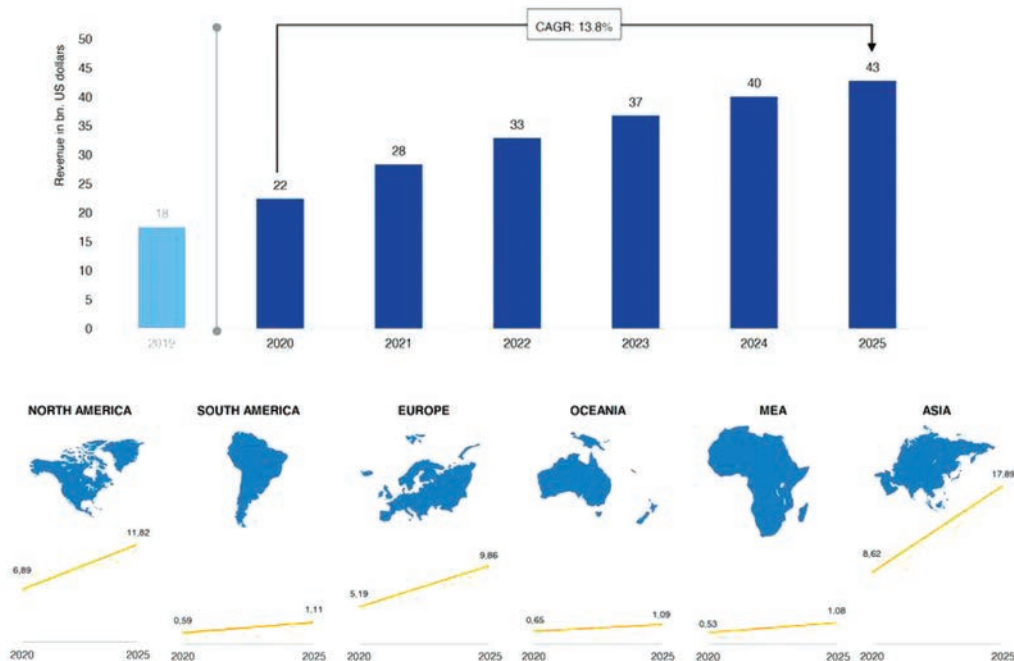


Fig. 2. Scheme on the drone market size and forecast 2020–2025 [6]

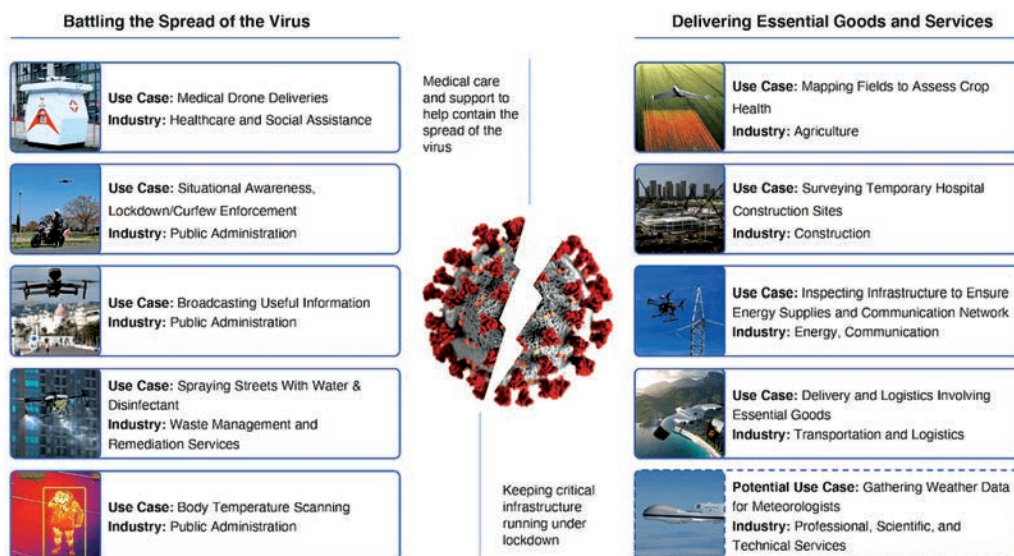


Fig. 3. Main areas of UAVs application in the coronavirus crisis [8]

However, like any innovative industry, the UAVs market is facing challenges to overcome. One of them is insufficiently clear legislation, regarding the use of consumer and commercial UAVs as well as the prohibition of their free use (licensing) in the airspace of Ukraine. In addition, there is the danger of creating problems for other air traffic participants, as well as vehicles, infrastructure, and people on the ground. There are serious concerns about the misuse of drones for interference with privacy and commercial confidentiality, and about the possibility of others intercepting and gaining control of the UAVs.

So, Ukraine has begun to use the technology of the UAVs rather quickly in recent years, while the legal framework that regulates their application still requires improvement.

**Literature Review.** Regulations of the UAVs usage are actively investigated by foreign and domestic scientists. The first holistic global overview of the current status of UAVs regulations in the world was done by Claudia Stöcker et. al., 2017 [9]. Comparative analysis of existing national and international drone laws with emphasis on the registration of aircraft and important guidelines in regard to the qualification and license for pilots was done by the Indian scientists Srivastava S. et. al., 2020 [10]. System-theoretic Accident Model and Process approach to assess the current regulations of the UAVs operation was done by Japanese scientists Hiroko Nakamura and Yuya Kajikawa, who focused their researches on the regulation of small unmanned aerial vehicles operation in Japan. The authors highlight four safety concerns and show alternative ways for more effective and efficient regulation in terms of the expectations of stakeholders for alternative regulation [11]. Safety and security issues with drones, existing regulations and guidelines to fly

the drone, limitations and possible solutions have also been discussed by Singhal, G. et. al., 2018 [3].

Talking about Ukrainian scientists, working in the sphere of the UAVs operation regulations, it should be mentioned such researchers as Khalymon, S., Hrynko, S., Zolka, V., Hrynko, R., Volynets, N., Kuzmenko, Ye., Bakutin Ye.I., Kovtuh N.P. etc. Serhii Khalymon, et el. has tried to develop propositions for the improvement of regulations, used during UAVs usage in surveillance of the state border of Ukraine [12]. Problems of legal regulation of UAVs usage in the activities of the National Police of Ukraine have been considered in the papers of Kuzmenko Ye.V. and Bakutin Ye.I. [13; 14]. Kovtuh N.P. analysed in his paper European Union (EU) regulations for the UAVs operation, used up to 2019 [15].

However, all these researchers analyzed only some aspects of the UAVs usage and didn't investigate the correspondence of the current Ukrainian rules, regulating UAVs operation, to the relevant requirements, standards and recommended practices of the International Civil Aviation Organization (ICAO) and the EU.

**Problem statement.** Due to the fact that now there is an irreversible process of technological development, the issues that arise with the regulation of the UAVs usage are becoming increasingly relevant. The main problems that should be resolved in the uniform UAVs operation rules at our country are the competence of owners and external pilots (operators) of UAVs, the scope of their use, certification and licensing, restrictions in use, safety of their use, which concerns the surrounding space, the definition of zones, in which you can use UAVs, UAVs registration, requirements for the use of UAVs for non-commercial and commercial purposes, the possibility of violations of constitutional human rights (for example, such as the right to privacy, which is guaranteed by the Article 32 of the Constitution of Ukraine).

Such legislation should cover all types of operations, from those for which no prior authorization is required, to those involving certified aircraft and operators, as well as minimum training requirements for outside pilots.

That's why, *aim of the article* – to analyze the latest international and domestic rules, regulating the UAVs operation, and investigate the degree of the ICAO and EU requirements, standards and recommended practices in this field implementation into the correspondent Ukrainian legislation.



**Fig. 4. International institutions, developing air legislation in the field of UAVs operation**

Implementation of the EU and ICAO rules and standards on the use of UAVs will certainly contribute to the successful entry of our state into the European airspace and economy.

**Materials and Methods.** International institutions, developing air legislation in the field of UAVs operation are presented in the fig. 4.

Analyzing the European Union system for regulating the flight of drones, it has been established that up to 2019 it was based on fragmentary rules of member states. In 2014, the European Commission developed a strategy to open the aviation market to civilian use of Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) in a safe way. That’s why, in 2014, most experts leaned in favor of creating a unified European approach, based on national experience. At that time, many countries have adopted rules for some aspects of UAVs use with a working mass of up to 150 kg. However, these rules vary in scope, level of detail, and content. At the same time the participating countries have not reached an agreement on the recognition of uniform rules [4, p. 8, 9].

On July 4, 2018 the European Union Regulation on common rules in the field of civil aviation and the creation of the European Union Aviation Safety Agency was adopted, which contributed to the development of the current EU regulations on the UAVs operation, presented on the fig. 5.

The latest EU regulations, shown on the fig. 5, are based on the national legislation and were created to unify the rules for the use of UAVs within EU. Such categories of flights, as open, special and certified, have been appeared in the regulations. Also, every drone that weighs more than 250g and performs operations with video fixing equipment must be registered, despite the category, because of the risks, associated with the violation of privacy principles [17].

When adapting Ukrainian legislation to the EU documents, considered above, the attention should be paid to the precedents of the European Court of Justice. Currently, the court has determined that “activities carried out in the course of the personal or family life of individuals, clearly not related to the processing of personal data, which consists in publishing on the Internet in such a way that this information is available to an unlimited number of people” is surveillance and a violation of the right to privacy [19].

On the other hand, relevant for Ukraine, the European Court of Human Rights confirmed that “the area

of interaction of an individual with others, even in a public context, which may fall under the definition of privacy” would not be defined as surveillance [20].

A regulatory framework for the UAVs control is expected to be presented by EU in the nearest future. The approach adopted by the Commission and supported by the EASA, is to apply the safety standards, achieved in manned aviation to drones. The rules are based on an operational risk assessment and balance the commitments of drone manufacturers and operators to safety, privacy, environmental and noise protection, etc.

Adapting Ukrainian regulations to the relevant requirements, standards and recommended practices of the ICAO and the EU is an obligation for Ukraine during its course of European integration.

That’s why, in August 2016 the State Aviation Administration of Ukraine prepared draft unified guidelines and recommendations on the use of UAVs [21]. These regulations have been developed on the bases of the EASA guidelines [22] and national aviation rules as follows: The Air Code of Ukraine [23]; Provisions on the Use of the Airspace of Ukraine [24]; Rules of Ukrainian airspace usage [25].

The Air Code of Ukraine clearly defines what UAV is. According to the Part 23, Article 1 of the Air Code of Ukraine “Unmanned Aerial Vehicle” is an aircraft designed to fly without a pilot on board, the flight control and monitoring of which is carried out by a special control station, located outside the aircraft [23].

The draft unified regulations determine the rights and limitations for the UAVs operators. For example, drone operators are encouraged to respect privacy by keeping a distance of 50 meters away from people and property, avoid flights of over 100 meters, be aware of security provisions, complete pre-flight inspection

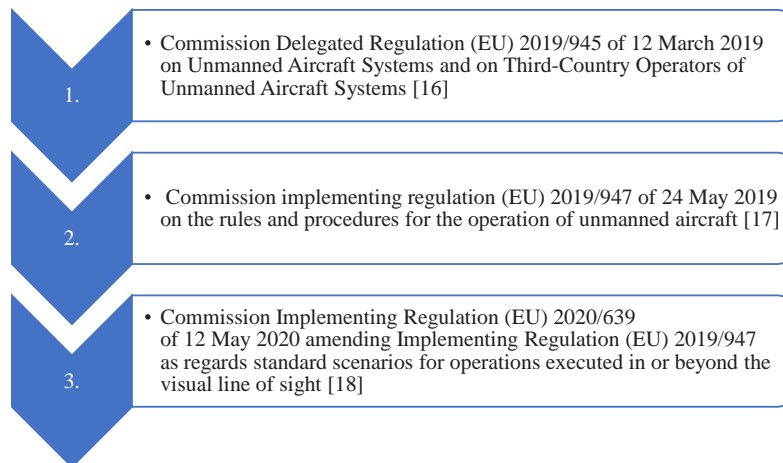


Fig. 5. Current EU regulations on the UAVs operation

of UAVs, keep UAVs within visual range at all times, and refrain from flying in bad weather conditions.

Additionally, the UAVs are not allowed within 5 kilometers of airports, restricted areas, or dangerous areas; to fly above vehicles, city streets, or crowds; or to be affixed with any additional items that are not part of the original design.

However, these rules are only recommendations and, therefore, not enforceable. Taking into account current international practices, these conditions will likely be used as the basis for the new legislation being drafted at this moment.

Ukrainian State Aviation Service proposed four UAVs classifications in the correspondent draft recommendations, shown in the fig. 6.

These kinds of drones are quite common around the world today.

Currently, Ukrainian State Aviation Service presented a uniform UAVs regulations draft for public discussion. After the detailed analysis, it has been found out that this document is in full correspondence with the EU principles, regulating UAVs operation, and provides necessary level of aviation safety.

The process for the correspondent regulations implementation was affected by two significant

factors. First, Ukraine did not have to contend with an overwhelming majority of uncontrolled drones, like in the United States (U.S.), therefore, progress in establishing modern regulations for drones was not considered urgent. At the same time, military conflict in the east and the needs of the agriculture industry, placed pressure on legislators to come up with good regulations for the use of drones.

**Conclusions.** To summarize, the legislation of Ukraine should be in constant dynamics and comply with international legal acts in the field of aviation and the latest technologies, especially, today during its course to European integration. Currently, the unitized Ukrainian rules, regulating the UAVs operation are in the process of development. It has been established that these draft rules don't contradict the correspondent EU principles as well as ensure development and necessary level of aviation safety.

It should be also noted that the problem of legislative regulation of the use of drones is of concern not only to Ukraine. In the majority of EU countries, the procedure for the UAVs operation has not yet been finalized. The most advanced in this respect is the USA, where small drones can fly relatively freely at altitudes of up to 400 meters.

Nevertheless, even in the USA, the issues of safe use of drones remain open, especially, the use of drones in densely populated areas and over urban areas. Legal uncertainties have delayed the development of the UAVs market, which is technically ready to launch many new services, such as delivery of goods, urgent aerial photography, monitoring of large areas, etc.

Finally, the unified regulations, adopted by the EU in 2020 will now greatly simplify access to unmanned operations, regardless of which European country you plan to operate in.

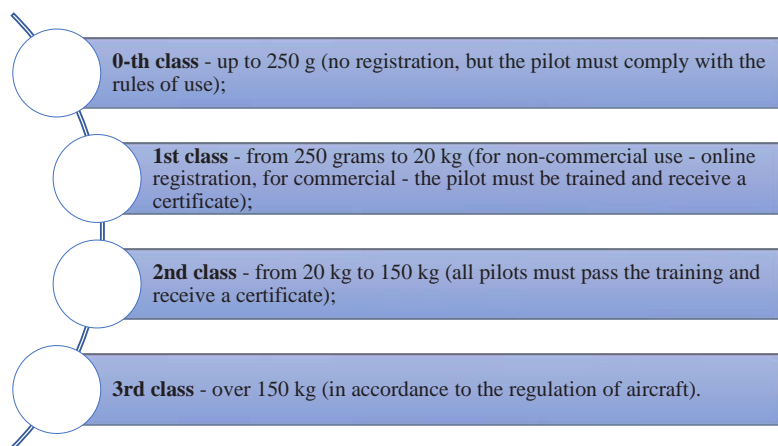


Fig. 6. Classification of UAVs, proposed by the Ukrainian State Aviation Service [24]

#### References:

1. Hayat, E. Yanmaz, R. Muzaffar. Survey on unmanned aerial vehicle networks for civil applications: A communications viewpoint. *IEEE Commun. Surveys Tuts.* 2016. vol. 18. № 4. P. 262–266.
2. Starodub, Yu. P., & Havrys, A. P. Increasing areas security project for the risk flooding territories of Ukraine. *Central European Journal for Science and Research "Stredoevropsky Vestnik pro vedu a vyzkum"*. Praha, 2015. P. 42–46.
3. Singhal, G., Bansod, B., Mathew, L. Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review. *Preprints.* 2018, 2018110601 (doi: 10.20944/preprints201811.0601.v1).
4. Yudin O., Ziubina R., Buchyk S., Matviichuk-Yudina O., Suprun O. Ivannikova V. Development of methods for identification of information-controlling signals of unmanned aircraft complex operator. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies ISSN 1729-3774.* 2020. №2/9 (104). C. 56–72.

5. World experience in legal regulation of drones' usage. European Information and Research Center, 2021. URL: <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/28939.pdf> (Accessed 01.11.2021).
6. Drone market size and forecast 2020–2025. Drone Industry Insights, 2020. URL: <https://droneii.com> (Accessed 01.11.2021).
7. Ivannikova V.Yu., Korynevska T.B. Investigation of COVID-19 influence on the airline industry. *Інноваційні технології: наук.-техн. конф. студентів, аспірантів, докторантів та молодих учених*, 25–26 листоп. 2020 р.: тези доп. Київ, 2020. С. 334–338.
8. Drones and the Coronavirus: From Crisis to Opportunity. Drone Industry Insights, 2020. URL: [https://droneii.com/drones-and-the-coronavirus-from-crisis-to-opportunity?fbclid=IwAR2TXiISOK\\_BADFigGea\\_YVdnNdRFES14eBea3fHGxU862qRA40tjR1Wyc](https://droneii.com/drones-and-the-coronavirus-from-crisis-to-opportunity?fbclid=IwAR2TXiISOK_BADFigGea_YVdnNdRFES14eBea3fHGxU862qRA40tjR1Wyc) (Accessed 05.11.2021).
9. Claudia Stöcker, Rohan Bennett, Francesco Nex, Markus Gerke, Jaap Zevenbergen. Review of the Current State of UAV Regulations. *Remote Sens.* 2017. 9(5):495. <https://doi.org/10.3390/rs9050459>
10. Srivastava S., Gupta S., Dikshit O., Nair S. A Review of UAV Regulations and Policies in India. In: Jain K., Khoshelham K., Zhu X., Tiwari A. *Proceedings of UASG 2019. UASG 2019. Lecture Notes in Civil Engineering*. Springer, 2020. vol 51. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37393-1\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37393-1_27)
11. Hiroko Nakamura, Yuya Kajikawa. Regulation and innovation: How should small unmanned aerial vehicles be regulated? *Technological Forecasting and Social Change*. 2018. Volume 128. P. 262–274.
12. Khalymon, S., Hrynko, S., Zolka, V., Hrynko, R., Volynets, N. Legal regulation of unmanned aerial vehicles application in the surveillance of the state border of Ukraine. *Amazonia Investiga*. 2021. Volume 10 (40). P. 190–200. <https://doi.org/10.34069/AI/2021.40.04.19>
13. Kuzmenko, Ye. V. Problems of legal regulation of unmanned aerial vehicles application in law enforcement activities of the National Police of Ukraine. *Scientific Bulletin of the National Academy of Internal Affairs*. 2016. № 4. P. 82–89.
14. Бакутін Є.І. Напрями вдосконалення законодавчого регулювання використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в діяльності Національної поліції України. *Держава і право: зб. наук. праць. Юрид. і політ. науки*. 2017. Вип. 77. С. 307–320.
15. Ковтюх Н.П., Адміністративно-правове регулювання використання безпілотних літальних апаратів у Європейському Союзі. *Актуальні проблеми вітчизняної юриспруденції*. 2019. № 3. С. 87–90.
16. Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems, 2019. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019R0945> (Accessed 01.11.2021).
17. Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947, 2019. URL: <https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/commission-implementing-regulation-eu-2019947> (Accessed 01.11.2021).
18. Commission Implementing Regulation (EU) 2020/639, 2020. URL: <https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/commission-implementing-regulation-eu-2020639> (Accessed 01.11.2021).
19. Document 62013CJ021. Judgment of the Court (Fourth Chamber)., 2014. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A62013CJ0212> (Accessed 05.11.2021).
20. European Convention on Human Rights. Right to respect for private and family life, home and correspondence, 2020. URL: [https://www.echr.coe.int/documents/guide\\_art\\_8\\_eng.pdf](https://www.echr.coe.int/documents/guide_art_8_eng.pdf) (Accessed 05.11.2021).
21. Unmanned Aerial Vehicles Norms of Regulation. Air Service of Ukraine, 2021. URL: <https://avia.gov.ua/bezpilotni-povitryani-sudna-2/> (Accessed 15.11.2021).
22. Recommendations on the use of drones. EASA, 2021. URL: Access mode to the resource: <https://www.easa.europa.eu/domains/civil-drones-rpas> (Accessed 15.11.2021).
23. The Air Code of Ukraine, 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3393-17#Text> (Accessed 01.11.2021).
24. Provisions on the Use of the Airspace of Ukraine, 2017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/954-2017-%D0%BF#Text> (Accessed 01.11.2021).
25. Rules of Ukrainian airspace usage, 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1056-18#Text> (Accessed 01.11.2021).

### **Іваннікова В.Ю., Айрапетян А.Г. ЕКСПЛУАТАЦІЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ В УКРАЇНІ: ОГЛЯД НОРМАТИВНО-ЗАКОНОДАВЧОЇ БАЗИ**

*Останні події у світі дали новий поштовх розвитку безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в Україні. Сьогодні вони широко використовуються не лише у військовій сфері, а й у різних цивільних галузях, як-от доставка вантажів, пошуково-рятувальні роботи, термінова аерофотозйомка, моніторинг великих територій, сільське господарство тощо. Із початку пандемії COVID-19 ми спостерігаємо подальше збільшення використання БПЛА у багатьох цивільних потребах, як-от відстеження порушників карантину, доставка вакцин тощо.*

Як і будь-яка інноваційна галузь, ринок БПЛА зіткнувся із викликами, які необхідно подолати. Одним із таких викликів є недостатньо чітке законодавство щодо експлуатації некомерційних та комерційних БПЛА, а також заборона їх вільного використання (ліцензування) в повітряному просторі України. Крім того, існує небезпека створення проблем для інших учасників повітряного руху, а також транспортних засобів, інфраструктури та людей на землі. Юридична невизначеність затримала розвиток ринку БПЛА, який технічно готовий запустити багато нових послуг.

Основними питаннями, які повинні бути вирішені в нормативно-правових документах, щодо експлуатації БПЛА в Україні є компетентність власників та зовнішніх пілотів (операторів) БПЛА, сертифікація та ліцензування операторів БПЛА; обмеження та безпека використання БПЛА; реєстрація БПЛА; вимоги до використання БПЛА в некомерційних і комерційних цілях; можливість порушення конституційних прав людини під час експлуатації БПЛА.

У статті досліджено нормативно-правову базу, яка регулює експлуатацію БПЛА у світовому масштабі та ступінь її імплементації у відповідне законодавство України. Проведено порівняльний аналіз законодавства України та міжнародних нормативно-правових актів щодо використання БПЛА. Адаптація законодавства України до відповідних вимог, стандартів та рекомендованих практик Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО) та Європейського Союзу (ЄС) є обов'язковою умовою для України на шляху її європейської інтеграції. У роботі з'ясовано, що уніфіковані українські правила, які регулюють експлуатацію БПЛА, зараз перебувають на стадії обговорення, вони не суперечать відповідним принципам ЄС та ІСАО, а також забезпечують розвиток і необхідний рівень авіаційної безпеки. У статті також встановлено, що проблема законодавчого регулювання використання БПЛА актуальна не лише для України, а й для більшості країн ЄС, де процедура експлуатації БПЛА ще також не завершена.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати, Україна, Міжнародна організація цивільної авіації, Європейський Союз, експлуатація, аналіз, уніфіковані правила.

**Лужанська Н.О.**

Національний транспортний університет

**Сауляк Л.В.**

Національний транспортний університет

**Лебідь І.Г.**

Національний транспортний університет

**Мазуренко О.О.**

Український державний університет науки і технологій

**Піцик М.Г.**

Національний транспортний університет

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОПИТУ НА МИТНО-ЛОГІСТИЧНІ ПОСЛУГИ В УКРАЇНІ

*Попит на митно-логістичні послуги в Україні визначається кількістю підприємств та організацій, що виконують експортно-імпорتنі операції з товарами, як для власних потреб, так і з метою подальшої їх реалізації.*

*Організація процесу доставки товарів зазвичай не виконується виробничими або торговельними підприємствами самостійно, а покладається на суб'єкти ринку транспортних послуг. Відповідно, для повного задоволення потреб на митно-логістичне обслуговування на ринку має функціонувати достатня кількість профільних підприємств, що за своїм функціональним та кадровим забезпеченням відповідає вимогам суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності. Наразі Україна зазнає певних політичних та економічних реформ, що впливають на діяльність суб'єктів господарювання та потребує від них пошуків нових управлінських рішень, здатних забезпечити високий рівень конкурентоздатності підприємства як на вітчизняному ринку, так і за його межами. Результати діяльності та фінансові можливості стабільного розвитку національних підприємств залежать від форми власності, що безпосередньо пов'язано з податковим навантаженням і витратами на заробітну плату персоналу. Окрім цього, механізм розподілу обов'язків між суб'єктами ринку транспортних послуг та погодженість їхніх дій у процесі організації доставки товару має прямий вплив на тривалість зовнішньоторговельної операції, ступінь завантаженості об'єктів митної інфраструктури та ефективність діяльності підрозділів митної служби. Тому на всіх етапах виконання зовнішньоторговельних операцій із залученням до митно-логістичного обслуговування суб'єктів ринку транспортних послуг вважається доцільним та ефективним дослідження попиту на вказаний вид послуг серед виробничих та торговельних підприємств. Також є необхідним виконання кількісного аналізу підприємств, які здатні задовольнити потреби в обслуговуванні за різними напрямками функціонування транспортної та митної галузей.*

**Ключові слова:** митно-логістичні послуги, митна інфраструктура, митні формальності, експорт, імпорт, суб'єкти зовнішньоекономічної діяльності.

**Постановка проблеми.** Сучасний ринок зовнішньої торгівлі в Україні характеризується значною часткою підприємств, що експортують та імпортують товари. Для забезпечення їхніх потреб у доставці товарів залучаються суб'єкти ринку транспортних послуг, які надають послуги з транспортно-експедиторського, митно-брокерського та складського обслуговування, а також додаткові послуги з підготовчо-заклучних операцій. Усі підприємства, що формують логістич-

ний ланцюг під час організації доставки залежно від напрямку діяльності за відповідною формою власності, здійснюють господарську діяльність, відповідно до якої несуть усі необхідні витрати та податкове навантаження. Залежно від попиту на послуги та стабільності отримання доходів від діяльності й визначаються їхні перспективи розвитку на ринку та формуються конкурентні переваги серед підприємств, що надають аналогічні послуги.



Перш за все, попит на митно-логістичні послуги визначається потребою у виконанні зовнішньоторговельних операцій з експорту та імпорту товарів, а також забезпечення всіх необхідних видів робіт під час перевезення вантажів у різних митних режимах. Здебільшого замовниками послуг є підприємства, що функціонують у тому ж самому регіоні, що й виконавець, але це питання здебільшого стосується надання послуг об'єктів інфраструктури, а в разі надання посередницьких послуг обмеження за територіальною ознакою не має суттєвого впливу на прийняття рішення про співпрацю. Питання взаємодії з об'єктами інфраструктури характеризуються максимальною наближеністю до замовника послуг, оскільки значна віддаленість буде характеризуватися збільшенням транспортних витрат, що врешті-решт впливатиме на вартість реалізації товару.

Тому перед суб'єктами підприємницької діяльності постає питання доцільності організації підприємств, що будуть надавати митно-логістичні послуги в якості об'єктів митної інфраструктури. Для цього необхідно проаналізувати ринкові умови, що склалися в тому чи іншому регіоні країни, наявність виробничих підприємств, що експортують товар, або торговельних організацій, що здійснюють імпорتنі операції. Цей аналіз забезпечить раціональне планування діяльності об'єктів митно-логістичної інфраструктури з урахуванням попиту на послуги та економічного потенціалу регіону, а також дасть можливість керівництву Державної митної служби України визначити оптимальну кількість підрозділів митної служби та фахівців, здатних забезпечити процес виконання митних формальностей під час виконання зовнішньоторговельних операцій.

**Постановка завдання.** З метою обґрунтування попиту на митно-логістичні послуги об'єктів інфраструктури доцільним є вивчення вітчизняного ринку за регіональною ознакою з урахуванням зовнішньоторговельного потенціалу. До основних чинників, на основі яких може здійснюватися вказана оцінка, належать: регіональні обсяги зовнішньої торгівлі товарами; експорт та імпорт товарів суб'єктами господарювання за кількістю найманих працівників у розрізі регіонів; кількість активних підприємств за регіонами України та видами економічної діяльності: транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність; валовий регіональний продукт; кількість суб'єктів господарювання; кількість зайнятих працівників на суб'єктах господарювання; регіональна структура обігу роздрібною торгівлю; капітальні інвестиції за регіонами; регіональна структура роздрібно-

ного товарообігу підприємств роздрібною торгівлю; обсяг реалізованої промислової продукції. Своєю чергою, потреба в кількості митних постів, що функціонують на території того чи іншого регіону та їх кадровому забезпеченні працівниками митної служби України буде ґрунтуватися на показниках виконання митних формальностей у різних митних режимах та показниках переміщення через митний кордон України товарів і транспортних засобів за ділянками кордону, якщо регіон є територіально наближеним до державного кордону України або має об'єкти транспортної інфраструктури, такі як морські порти, аеропорти, залізничні сортувальні станції.

У роботі пропонується дослідження попиту на митно-логістичні послуги в Україні на основі статистичних показників з метою обґрунтування доцільності будівництва нових об'єктів митно-логістичної інфраструктури та організації діяльності підприємств, що будуть надавати посередницькі послуги у виконанні зовнішньоторговельних операцій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сучасний ринок зовнішньої торгівлі в Україні характеризується значною часткою підприємств, що експортують та імпортують товари. Для забезпечення їхніх потреб у доставці товарів залучаються суб'єкти ринку транспортних послуг, які надають послуги з транспортно-експедиторського, митно-брокерського та складського обслуговування, а також додаткові послуги з підготовчо-заклучних операцій. Усі підприємства, що формують логістичний ланцюг під час організації доставки залежно від напрямку діяльності за відповідною формою власності, провадять свою господарську діяльність, відповідно до якої несуть всі необхідні витрати та податкове навантаження. Залежно від попиту на послуги та стабільності отримання доходів від діяльності й визначаються їхні перспективи розвитку на ринку та формуються конкурентні переваги серед підприємств, що надають аналогічні послуги. Нестабільне економічне становище держави та змінний попит на послуги значно впливають на фінансові результати діяльності підприємства, що, як наслідок, може призвести до його банкрутства та ліквідації [13].

Перед виробничими підприємствами стоїть завдання пошуків ринку збуту продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Для цього необхідними умовами є наявність у штаті підприємства фахівців, здатних забезпечити процес організації доставки товару власними ресурсами підприємства або налагодити співпрацю з суб'єктами

ринку транспортних послуг, що здійснюють такі види робіт і послуг на договірних умовах [9]. При цьому замовники митно-логістичних послуг можуть залучати до вказаних процесів підприємства, що функціонують у різних містах України, але зазвичай першочергово звертаються до організацій на основі рекомендацій своїх знайомих або до підприємств, із якими вже мали досвід роботи. Ринкові умови формують значні відмінності як у можливостях інфраструктурного забезпечення, так і у вартості та тривалості обслуговування [11]. Тому, як правило, замовники зіштовхуються з низкою перешкод під час вибору бізнес-партнера, що пов'язані з такими чинниками:

– погодження вартості обслуговування з урахуванням можливих ризиків, оскільки все частіше трапляються випадки, коли виконавці послуг вдаються до певних маніпуляцій, коли на початку співпраці, щоб залучити і заохотити замовника, оголошують одну вартість обслуговування, а в процесі замовник може зумисно або за умови певних прорахунків підвищувати цю вартість;

– дотримання термінів доставки: не завжди терміни, що були обумовлені на початку процесу, виконуються як перевізником, так і іншими суб'єктами ринку транспортних послуг, що часто пов'язано з ризиками їхньої діяльності та складнощами технологічних процесів;

– відповідність якості обслуговування вимогам, що висувалися замовником: безпосередньо сам процес перевезення та супутні операції мають певні ризики, пов'язані з управлінням матеріальними, фінансовими, та інформаційними

потоками. Різноманітні порушення цих процесів можуть спричинити незадоволеність замовника рівнем сервісу або порушеннями, які були допущені через невиконання або неналежне виконання персоналом підприємств своїх посадових обов'язків;

– забезпечення високого рівня надійності виконання зовнішньоторговельної операції. Надійність доставки визначається своєчасністю виконання доставки, відсутністю порушень у підготовці транспортних, митних та комерційних документів, забезпеченням схоронності товару на всіх етапах процесу. Надійність відповідає характеристикам високого ступеню довіри до виконавця митно-логістичних послуг і дотриманням всіх договірних умов. У разі виникнення непередбачуваних подій виконавець повинен бути готовий до попередження або усунення негативних наслідків, має для цього необхідні ресурси та навички [9].

Досягнення найвищого рівня ефективності виконання зовнішньоторговельної операції можливе за умови взаємодії державних установ та організацій із приватними підприємствами. Важливим є становище України на міжнародному ринку торгівлі товарами та послугами. Дослідження Світового банку за індексом ефективності логістики LPI за період з 2007 по 2018 роки свідчать [1], що Україна займає не найкращі позиції у порівнянні з провідними країнами світу, результати дослідження представлено в табл. 1.

Вказане дослідження проводиться за шістьма компонентами, серед яких: ефективність процесу

Таблиця 1

Дослідження індексу ефективності логістики за країнами світу

Country	2007		2010		2012		2014		2016		2018	
	score	Rank	Score	Rank	Score	rank	score	Rank	score	rank	score	Rank
Germany	4,10	3	4,11	1	4,03	4	4,12	1	4,23	1	4,2	1
Sweden	4,08	4	4,08	3	3,85	13	3,96	6	4,2	3	4,05	2
Belgium	3,89	12	3,94	9	3,98	7	4,04	3	4,11	6	4,04	3
Austria	4,06	5	3,76	19	3,89	11	3,65	22	4,1	7	4,03	4
Japan	4,02	6	3,97	7	3,93	8	3,91	10	3,97	12	4,03	5
Singapore	4,19	1	4,09	2	4,13	1	4	5	4,14	5	4	7
United Kingdom	3,99	9	3,95	8	3,9	10	4,01	4	4,07	8	3,99	9
Switzerland	4,02	7	3,97	6	3,8	16	3,84	14	3,99	11	3,9	13
United States	3,84	14	3,86	15	3,93	9	3,92	9	3,99	10	3,89	14
China	3,32	30	3,49	27	3,52	26	3,53	28	3,66	27	3,61	26
Poland	3,04	40	3,44	30	3,43	30	3,49	31	3,43	33	3,54	28
Turkey	3,15	34	3,22	39	3,51	27	3,5	30	3,42	34	3,15	47
Ukraine	2,55	73	2,57	102	2,85	66	2,98	61	2,74	80	2,83	66
Russian Federation	2,37	99	2,61	94	2,58	95	2,69	90	2,57	99	2,76	75

оформлення органами митного та прикордонного контролю; якість торгової і транспортної інфраструктури; легкість організації поставок за конкурентоспроможними цінами; компетентність і якість логістичних послуг; здатність прокладати маршрути і відстежувати вантажі; своєчасність відвантаження в напрямку призначення в запланований або очікуваний час доставки [1]. Оцінки України за переліченими компонентами наведено в табл. 2.

Як бачимо, за отриманими показниками всі напрями забезпечення зовнішньоторговельних операцій потребують удосконалення як із боку державного, так і з боку приватного сектору, оскільки існування подібних проблемних аспектів значно знижує вітчизняну як торговельну, так і інвестиційну привабливість.

Розвиток зовнішньоекономічних зв'язків між Україною та торговельними партнерами вимагає вдосконалення технологічних процесів доставки вантажів шляхом запозичення досвіду більш прогресивних країн світу [10].

Водночас кількість підприємств, що здійснюють діяльність у транспортній галузі, за період з 2010 по 2019 роки (рис. 1) дещо знизилася; це стосується як фізичних осіб – підприємств, так і приватних підприємств різних форм власності.

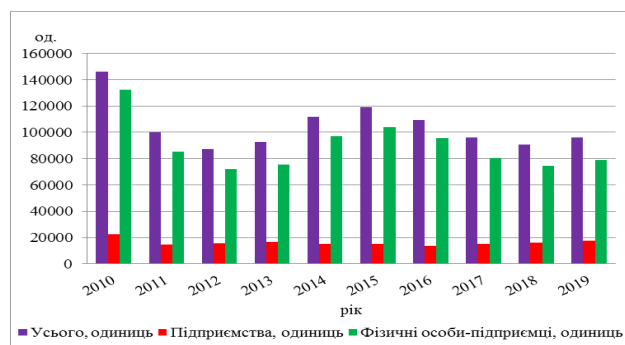


Рис. 1. Кількість суб'єктів господарювання (транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність)

Якщо розглянути деякі напрями саме транспортного сектору, то тут спостерігається збільшення суб'єктів господарювання на вантажному залізничному та незначне зменшення на вантажному автомобільному транспорті (рис. 2, 3) [2, 3], що може свідчити про задоволення потреб клієнтів з надання транспортних послуг саме залізничним транспортом.

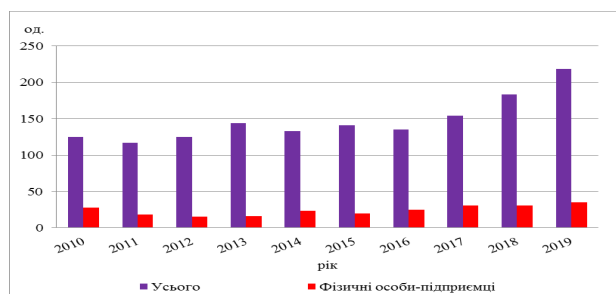


Рис. 2. Кількість суб'єктів господарювання на вантажному залізничному транспорті

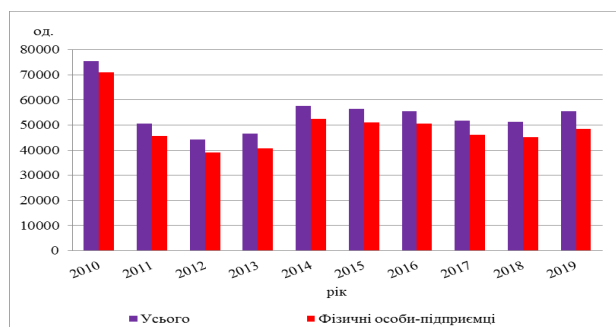


Рис. 3. Кількість суб'єктів господарювання на вантажному автомобільному транспорті

Наразі існує значний дефіцит фахівців сфери митно-логістичного обслуговування як приватного, так і державного сектору. Таку ситуацію можна пояснити постійним рухом та зменшенням кількості зайнятих і найманих працівників у транспортній галузі (рис. 4, 5, 6) [2, 3].

Таблиця 2

Оцінка рівня логістичного сервісу в Україні за 2007–2018 роки

	2007		2010		2012		2014		2016		2018	
	score	rank	score	rank	score	rank	score	rank	score	rank	score	rank
Customs	2,22	97	2,02	135	2,41	88	2,69	69	2,3	116	2,49	89
Infrastructure	2,35	74	2,44	79	2,69	70	2,65	71	2,49	84	2,22	119
International shipments	2,53	83	2,79	84	2,72	83	2,95	67	2,59	95	2,83	68
Logistics quality and competence	2,41	90	2,59	77	2,85	61	2,84	72	2,55	95	2,84	61
Tracking and tracing	2,53	80	2,49	112	3,15	50	3,2	45	2,96	61	3,11	52
Timeliness	3,31	55	3,06	114	3,31	68	3,51	52	3,51	54	3,42	56

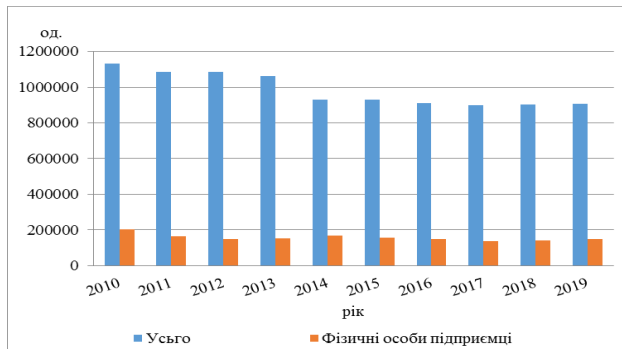


Рис. 4. Кількість зайнятих працівників у суб'єктів господарювання (транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність)

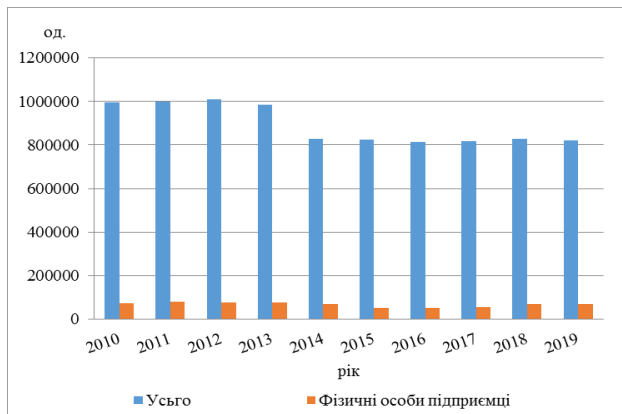


Рис. 5. Кількість найманих працівників у суб'єктів господарювання (транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність)

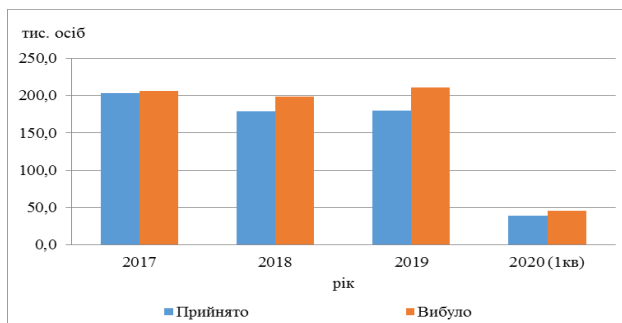


Рис. 6. Рух кадрів у суб'єктів господарювання (транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність)

Така ситуація на ринку праці приводить до значних затримок у обслуговуванні, порушень якості та надійності доставки. Водночас витрати приватних підприємств різних форм власності та фізичних осіб підприємців на персонал та оплату праці (рис. 7, 8) постійно зростають. Це не дає змоги збільшити кількість працівників, адже витрати на них будуть ще більшими, ніж є зараз, відповідно, і прибуток суб'єктів господарювання знизиться, що зрештою вплине на якість надання послуг у митно-логістичному сервісі.

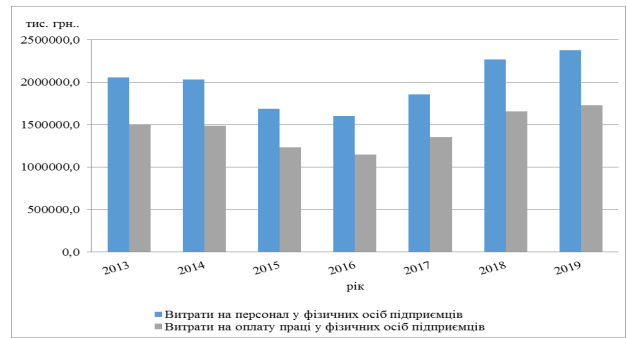


Рис. 7. Загальні витрати на персонал суб'єктів господарювання (транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність)

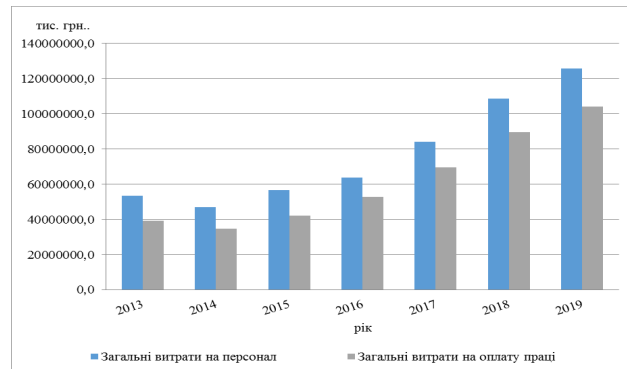


Рис. 8. Витрати на персонал у фізичних осіб – підприємств (транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність)

Загалом товарообіг України з державами-партнерами збільшується, що свідчить про сприятливі умови та їхню зацікавленість у торгівлі з нашими суб'єктами господарювання. А залучення більшої кількості фахівців до названого напрямку діяльності забезпечить якість та своєчасність надання послуг.

Аналіз сучасного стану зовнішньої торгівлі товарами з основними торгівельними партнерами наведено на рис. 9 [7].

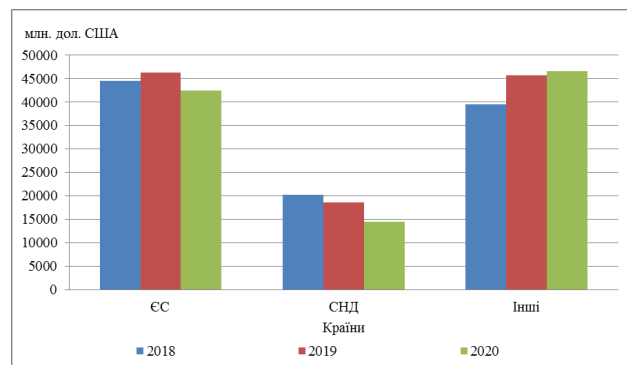
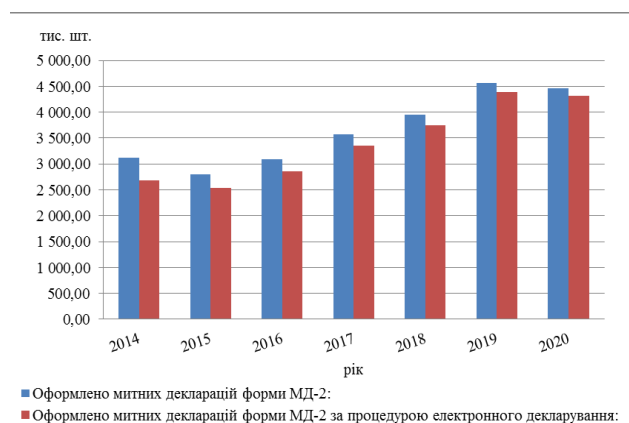


Рис. 9. Стан зовнішньої торгівлі товарами у 2018–2020 роках

Зростання обсягів торгівлі з міжнародними партнерами супроводжується зростанням обсягів

виконання митних формальностей, що представлено на рис. 10 [9].

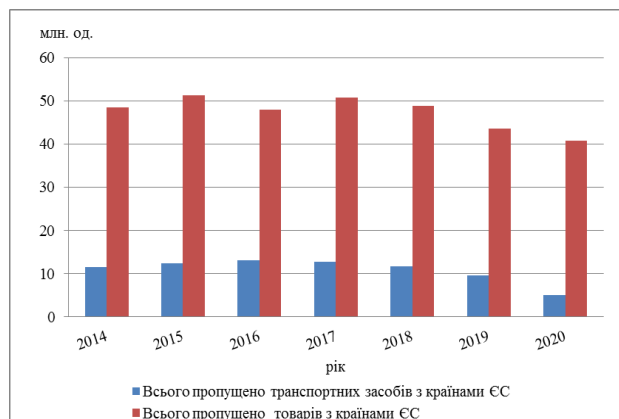


**Рис. 10. Динаміка виконання митних формальностей за період 2014–2020 років**

Отримані результати свідчать, що з метою спрощення та прискорення виконання митних формальностей значного розвитку набуває електронна система декларування.

Досить проблемним етапом міжнародних перевезень є процес перетину митного кордону, що відбувається в пунктах пропуску між суміжними державами. Та попри вигідне географічне розташування України, численні черги, що формуються на кордоні, зумовлені низьким рівнем пропускнуої спроможності пунктів пропуску.

Основна частка переміщень товарів та транспортних засобів спостерігається між Україною та країнами ЄС (рис. 11), що свідчить про досить стабільне становище у виконанні зовнішньоторговельних операцій, що своєю чергою забезпечують попит на митно-логістичні послуги [5-8].



**Рис. 11. Показники переміщення через митний кордон України товарів та транспортних засобів із країнами ЄС за період 2014–2020 років**

Аналіз даних Державної митної служби України свідчить про значні обсяги перевезень товарів за видами транспорту, що означає потребу у здійсненні цих процесів у контексті технічного, технологічного та організаційного забезпечення. Кількість пропущених транспортних засобів

Таблиця 3

**Показники переміщення транспортних засобів через митний кордон України**

Показник	Одиниця виміру	Січень-грудень 2019 року	Січень-грудень 2020 року
Пропущено через митний кордон України транспортних засобів:	млн од.	18,1	8,9
– на ввіз	млн од.	9,2	4,5
– на вивіз	млн од.	9,0	4,4
Пропущено через митний кордон України транспортних засобів:	тис. од.	18 149,4	8 932,7
– залізничних вагонів	тис. од.	2 647,1	2 129,6
– морських суден	тис. од.	17,0	16,7
– річкових суден	тис. од.	15,6	9,7
– автотранспорту	тис. од.	15 241,4	6 659,4
– повітряних суден	тис. од.	145,3	64,2
– інших транспортних засобів	тис. од.	83,1	53,0
Пропущено товарів через митний кордон України (крім товарів, що переміщуються стаціонарними видами транспорту):	млн тонн	329,1	333,8
– на ввіз	млн тонн	94,6	85,1
– на вивіз	млн тонн	234,6	248,8
Оформлено митницями Держмитслужби товарів, що переміщуються стаціонарними видами транспорту:			
– трубопроводами	млн тонн	93,2	75,7
– лініями електропередачі	ГВт·год	9 130,5	7 859,5

через митний кордон України на ввіз та вивіз також потребує вдосконалення роботи пунктів пропуску, де наразі спостерігаються значні черги на обслуговування, а вказаний аспект потребує втручання держави з точки зору як управлінської, так і фінансової підтримки (табл. 3) [4].

Розглянемо товарообіг України у 2008–2019 роках, у млн дол. США (рис. 12) [8].

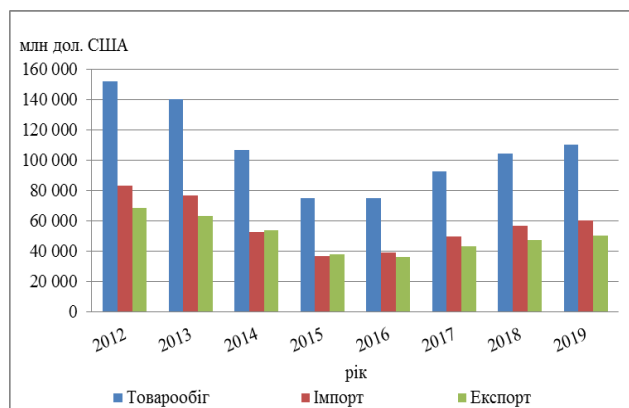


Рис. 12. Товарообіг України у 2008–2019 роках

Саме зважаючи на статистичні дані про товарообіг України, необхідно сформулювати пропозиції щодо забезпечення безперешкодного руху товарів та враховувати наявні ринкові тенденції для регулювання цього процесу.

Окрім загальних показників виконання зовнішньоторговельних операцій за товарообігом, залученням підприємств та кадрового забезпечення галузі, доцільно проводити дослідження попиту на митно-логістичні послуги за регіонами України. Здебільшого цей аспект важливий у будівництві об'єктів інфраструктури, коли ставиться мета забезпечити попит на їхні послуги. У статті представлено статистичні дані за регіонами України з урахуванням перелічених нижче чинників, серед яких: V1 – регіональні обсяги зовнішньої торгівлі товарами, експорт (тис. дол.); V2 – регіональні обсяги зовнішньої торгівлі товарами, імпорт (тис. дол.); V3 – експорт товарів за кількістю найманих працівників у розрізі регіонів (кількість учасників ЗЕД); V4 – імпорт товарів суб'єктами господарювання за кількістю найманих працівників у розрізі регіонів (кількість учасників ЗЕД); V5 – експорт

Таблиця 4

Чинники, що відображають економічний розвиток регіонів

Області	Показники	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Вінницька		1186473,78	433558,06	726,6	2416	1186,426423	433,559452	349,4
Волинська		669369,56	1182388,46	628,6	3123,8	669,3653367	1182,457527	351,6
Дніпропетровська		6989431,86	4413013,66	1304,4	4301	6989,281052	4413,10249	1252,6
Донецька		4207520,86	1763494,22	377	1082,2	4207,149936	1763,790504	515,6
Житомирська		579348,86	426703,06	1144,6	1773,4	579,3177869	426,7122217	271,8
Закарпатська		1380327,78	1294730,12	1329,8	2558,4	1380,33663	1294,723029	325,4
Запорізька		2932532,04	1340839,4	668	1606,8	2932,520849	1340,927398	544,8
Івано-Франківська		679021,12	600991,06	805,4	3066	678,9775594	600,5889872	285,4
Київська		1789759,2	3339189,88	1094,8	3839,4	1789,739365	3339,47662	1017,2
Кіровоградська		495676,9	207743,9	324,6	695,6	495,6688496	207,7488899	259,2
Луганська		256634,98	297390,26	97,4	348,2	256,6447709	297,3967099	165,4
Львівська		1632945,38	2224273,84	1292,4	6745,6	1632,965262	2224,55912	763
Миколаївська		1887044,9	754248,68	373,4	929,8	1887,02261	754,1382112	532,6
Одеська		1622871,3	1410789,28	1000,2	3771	1622,853581	1410,924153	2099,8
Полтавська		1758095,88	1105333,5	427,8	1373	1757,985595	1105,337932	454
Рівненська		386179,64	295985,84	531,2	2240,2	386,1862595	295,9727999	303
Сумська		701416,64	554263,64	518,6	1391,4	701,4144829	554,2769215	208,4
Тернопільська		370438,64	351010,4	319,4	1749	370,4441066	351,0217615	203,4
Харківська		1245005,94	1575489,1	1429	4113,2	1245,002967	1575,699546	774,8
Херсонська		262444,34	248514,06	303,4	731,8	262,4479413	248,6894003	381
Хмельницька		493698,96	403180,98	461,2	1874,8	493,6736726	403,2094583	313
Черкаська		635110,56	359609,82	492,8	1359,6	635,0928992	359,6015537	448,4
Чернівецька		158272,82	127113,14	566,8	1836,6	158,2692517	127,110484	183
Чернігівська		634367,4	440316,28	518,8	893	634,3496255	440,3399986	336,8
м. Київ		9958175,02	19939908,68	4119,8	13932,4	9957,912721	19941,58102	3670

товарів за кількістю найманих працівників у розрізі регіонів (млн дол. США); V6 – імпорт товарів суб'єктами господарювання за кількістю найманих працівників у розрізі регіонів (млн дол. США); V7 – кількість активних підприємств за регіонами України та видами економічної діяльності. Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність (усього одиниць) [1–3].

За отриманими даними можемо зробити висновок, що Київська, Дніпропетровська та Львівська області характеризуються найвищими показниками попиту на митно-логістичні послуги у зв'язку зі значними вантажопотоками. Тому в плануванні діяльності нових підприємств, що будуть надавати митно-логістичні послуги, стане можливим враховувати чинники, що підтверджують стійкі тенденції до попиту, або освоювати ще недостатньо забезпечені регіони.

**Висновки.** Із проведеного дослідження можемо зробити висновок, що, незважаючи на пандемію та світову економічну кризу, обсяги зовнішньої торгівлі хоч і зменшилися, проте ці зміни не набули критичного характеру. Наразі в Україні

функціонує значна кількість підприємств та організацій, що здійснюють зовнішньоторговельні операції і потребують надання митно-логістичних послуг. Кадрове забезпечення цих напрямів діяльності потребує вдосконалення та заохочення до роботи у вказаній галузі як випускників закладів вищої освіти, так і можливості перепрофілювання фахівців інших напрямів діяльності. Під час розробки бізнес-проектів у сфері зовнішньоекономічної діяльності за регіонами України доцільно враховувати нинішній попит та можливі перспективи в розвитку та розширенні або ж керуватися потребою у забезпеченні послугами з менш насиченою кількістю наявних підприємств. Особливо доречним це питання є в аспекті прийняття рішень про будівництво нових об'єктів митно-логістичної інфраструктури й ефективності їх функціонування в тому чи іншому регіоні, здебільшого врахування доцільності інвестування в об'єкти, на які не буде достатнього попиту серед замовників послуг. Загалом ринок митно-логістичних послуг потребує реформування та залучення інвесторів у розбудову об'єктів інфраструктури України.

#### Список літератури:

1. Державна служба статистики України : вебсайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 23.10.2021).
2. Зовнішня торгівля України : статистичний збірник / Державна служба статистики України. 2020. С. 24–29. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2020/zb/06/Zov\\_torg.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/06/Zov_torg.pdf). (дата звернення: 23.10.2021).
3. Зовнішня торгівля України товарами у 2020 році : експрес-випуск / Державна служба статистики України. 2020. С. 9. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/express/expr2021/02/15.pdf>.
4. Державна митна служба України : вебсайт. URL: <https://customs.gov.ua/> (дата звернення: 23.10.2021).
5. Connecting to Compete 2012 : Trade Logistics in the Global Economy. *World Bank Group*. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12689>. (дата звернення: 23.10.2021).
6. Connecting to Compete 2014 : Trade Logistics in the Global Economy – The Logistics Performance Index and Its Indicators. *World Bank Group*. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/20399>. (дата звернення: 23.10.2021).
7. Connecting to Compete 2016 : Trade Logistics in the Global Economy - The Logistics Performance Index and Its Indicators. *World Bank Group*. URL: [https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI\\_Report\\_2016.pdf](https://wb-lpi-media.s3.amazonaws.com/LPI_Report_2016.pdf).
8. Connecting to Compete 2018: Trade Logistics in the Global Economy. *World Bank Group*. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29971>. (дата звернення: 23.10.2021).
9. Методологія формування транспортно-митної інфраструктури в Україні : монографія / А.М. Пасічник, А.В. Сохацький, А.І. Кузьменко, Н.В. Халіпова. Дніпропетровськ : УМСФ, 2016. 168 с.
10. Logistics approach to the organization of unbalanced freight transportation in transport networks. / G. Prokudin, I. Lebid, N. Luzhanska, O. Chupaylenko et al. *Transport Means 2020*. (Scopus) ISSN: 2351-7034. URL: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221233233>
11. Інфраструктурне забезпечення розвитку транспортної системи регіону : монографія / І.В. Заблудська та ін. Северодонецьк : Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, 2016. 193 с.
12. Шандрівська О.Є., Шевців Л.Ю. Комплексний аналіз ринку логістичних послуг в Україні. *Актуальні проблеми економіки*. 2016. № 7. С. 163–173.
13. Лужанська Н.О. Підвищення ефективності діяльності вантажних митних комплексів : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.01. Київ, 2021. 183 с.

Luzhanska N.O., Sauliak L.V., Lebid I.G., Mazurenko O.O., Pitsyk M.G.

**ANALYSIS OF THE CURRENT CONDITIONS OF DEMAND FOR CUSTOMS AND LOGISTICS SERVICES IN UKRAINE**

*Demand for customs and logistics services in Ukraine is determined by the number of enterprises and organizations importing and exporting goods, both for their needs and further sales. The organization of goods shipping and handling is usually not directly performed by manufacturing or trading companies and is entrusted to the agents in the market for transport services. Subsequently, in order to fully meet the needs for customs and logistics services in the market, a sufficient number of specialized enterprises should operate complying with the requirements of foreign economic activities to their functional support and staffing. Today, Ukraine is undergoing certain political and economic reforms affecting the activities of economic entities and forcing them to find new management solutions that can ensure high competitiveness of enterprises, both in the world and domestic market. Performance results and financial capacity for the stable development of national enterprises depend on the form of ownership, which is directly related to the tax burden and staff costs. In addition, the mechanism of the allocation of responsibilities between entities in the transport service market and the coordination of their actions in the process of goods shipping and handling has a direct impact on the timing of foreign trade operations, the degree of the workload of customs infrastructure facilities and efficiency of customs divisions. Therefore, at all stages of foreign trade operations relying on the market for transport services in customs and logistics service provision, we consider it appropriate and effective to study the demand for this type of service among manufacturing and trading companies. It is also necessary to perform a quantitative analysis of enterprises that can meet the needs for services in different functional areas of the transport and customs industries.*

**Key words:** *customs and logistics services, customs infrastructure, customs formalities, export, import, entities engaged in foreign economic activity.*



УДК 656.61.052  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/36>

**Мельник О.М.**

Одеський національний морський університет

**Корякін К.С.**

Одеський національний морський університет

## СУЧАСНІ ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ СТАНДАРТІВ ТОЧНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

*Невід'ємною частиною сучасних технологій є супутникові системи, що використовуються для визначення місцеположення об'єктів у будь-якій точці земної поверхні із застосуванням спеціальних навігаційних приймачів. GNSS-технологія широко застосовується у геодезії, будівництві, транспорті, але не менш важливого значення вона набула як штатне обладнання супутникової навігації морських суден. Одною з актуальних проблем залишається підвищення точності сигналів і надійність роботи GPS. Розвиток геостационарних служб навігаційного покриття, безумовно, покращує роботу GPS на території світового океану, завдяки чому правильність інформації, яка передається через GPS, підвищується. Так точність місцеположення об'єкта значно підвищується, додатково отримується інформація про можливі помилки у наданих даних або недостовірність супутникових сигналів. Щодо підвищення точності позиціонування, то використовуються два підходи, це використання декількох сигналів на різних частотах, що передаються із супутника як більш сучасніший підхід, але ще не адаптований до усіх супутників, і система опорних станцій, розташування яких відоме для створення і передачі поправок, які підвищують точність позиціонування. У роботі представлений розгляд основних принципів визначення місцеположення об'єктів, визначено способи та методи, що застосовуються для підвищення точності супутникових сигналів, приведено дані про точність позиціонування наявних супутникових навігаційних систем і визначені фактори, що впливають на точність визначення місцеположення об'єктів у просторі, досліджено методи, що використовуються для підвищення точності навігаційних визначень, представлено формалізований опис широкозонних систем диференціальної корекції, які використовуються для коригування інформації для усунення або зменшення похибок позиціонування.*

**Ключові слова:** GPS-сигнали, точність позиціонування, супутникова навігація.

**Постановка проблеми.** У процесах визначення місцеположення об'єктів існують поточні проблеми, які потребують вирішення, це наявність і стабільність сигналу супутникових сигналів, що можуть бути заглушені навмисними штучними перешкодами або підробленням даних що знижують точність позиціонування, а також додаткові обмеження навколишнього середовища, такі як спотворення електрично активної сфери, що впливає на час приходу сигналів, пертурбації тропосфери та варіації орбіт супутників, що можуть також сприяти неточності позиціонування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розвиток супутникових навігаційних систем почали своє створення ще у 50-ті роки минулого століття. Цьому сприяло декілька факторів, серед яких недосконалість технологій радіонавігації, заснованих на радіомаяках. Вони вирішували задачу курсоуказання руху об'єкта, але не дозволяли вирішити завдання його точного позиціонування, тобто визначення його географічних

координат. У роботах [1; 3–5] представлені особливості використання сучасних глобальних навігаційних супутникових систем. У [2] наведено експлуатаційні вимоги до судового супутникового обладнання. Наукові праці [6–9; 15] присвячені вивченню проблемам точності позиціонування й огляду регіональних систем. Питання загальної безпеки судна розглянуті у [10–14].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Супутникові методи визначення просторових координат об'єктів об'єднуються в один термін GNSS (Global Navigation Satellite System), тобто глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС). GNSS-технології успішно застосовуються у морській навігації, де необхідна точна інформація про просторове положення суден на земній поверхні та зміну параметрів їх руху у часі, тобто позиціонування суден як об'єктів спостереження. Такими параметрами можуть бути координати судна, вектор його швидкості переміщення, точний час позиціонування. Базуючись на

цьому система супутникової навігації вирішує два основних завдання – навігації, тобто визначення миттєвого стану та швидкості судна, і синхронізації шкал часу. Система ділиться на три сегменти: космос, управління та приймач. Наземні або морські станції прийому сигналу отримують сигнал із супутника і синхронізують його з атомним годинником, який розташований на ньому.

Кожен супутник постійно передає спеціальні сигнали з часом та персональну інформацію про своє положення, для виявлені наземними або морськими станціями, які коригують дані, що передаються супутником, далі приймач декодує сигнал кількох супутників і калькулює своє положення методом «трилатерації», тобто побудови ланцюга чи мережі послідовно пов'язаних між собою трикутників і виміри у кожному їх усіх трьох сторін. Кути цих трикутників і координати їхніх вершин визначають із тригонометричних обчислень. Для визначення своїх географічних координат у певний час приймач використовує годинник з високою стабільністю ходу та одержує сигнали із чотирьох супутників (для більш точного позиціонування).

$$\begin{cases} (T+D_1-T_0) C = \text{Pos}(x_1, y_1, z_1) - \text{Pos}(x, y, z); \\ (T+D_2-T_0) C = \text{Pos}(x_2, y_2, z_2) - \text{Pos}(x, y, z); \\ (T+D_3-T_0) C = \text{Pos}(x_3, y_3, z_3) - \text{Pos}(x, y, z); \\ (T+D_4-T_0) C = \text{Pos}(x_4, y_4, z_4) - \text{Pos}(x, y, z); \end{cases}$$

де:  $D_1, D_2, D_3, D_4$  – розрахунок затримок у приймачі;  $T_0$  – час, за який проводиться обчислення;

$x, y, z$  -координати ( $x_1, y_1, z_1$  – координати супутника 1;  $x_2, y_2, z_2$  – координати супутника 2, тощо).

Приймач розраховує відстань до кожного із чотирьох супутників шляхом розрахунку різниці у часі між сигналами супутника та місцевим часом. Положення супутника визначається порівнянням його сигналу із внутрішньою базою даних. Усі супутники використовують різний порядок сигналу, що дозволяє їм усім передавати сигнали на одній частоті, а приймач може за типом сигналу зрозуміти, який супутник його передає. Цей принцип називається Code Division Multiple Access (CDMA) і часто використовується в стільниковому зв'язку. Використовуються дві частоти: 1575,42 МГц (L1) та 1227,60 МГц (L2). Перша частота L1 несе в собі код, доступний всім, з грубими даними загального доступу (C/A), так само, як і код P(Y), високоточні дані, що використовується у закритих для загального користування системах. Але сигнал на другій частоті L2, зазвичай несе лише код P(Y). Ключі, які використовують коди P(Y) є державною таємницею уряду США, використовуються лише у військових цілях, тому що ці ключі радикально підвищують точність вимірювання та позиціонування.

Разом з цим точність GPS сигналів може бути збільшена за рахунок декількох методів, рис.2;

До таких методів належать:

1) Використання мережі наземних станцій Differential GPS (DGPS). Станції передають інформацію про різницю вимірної та реальної

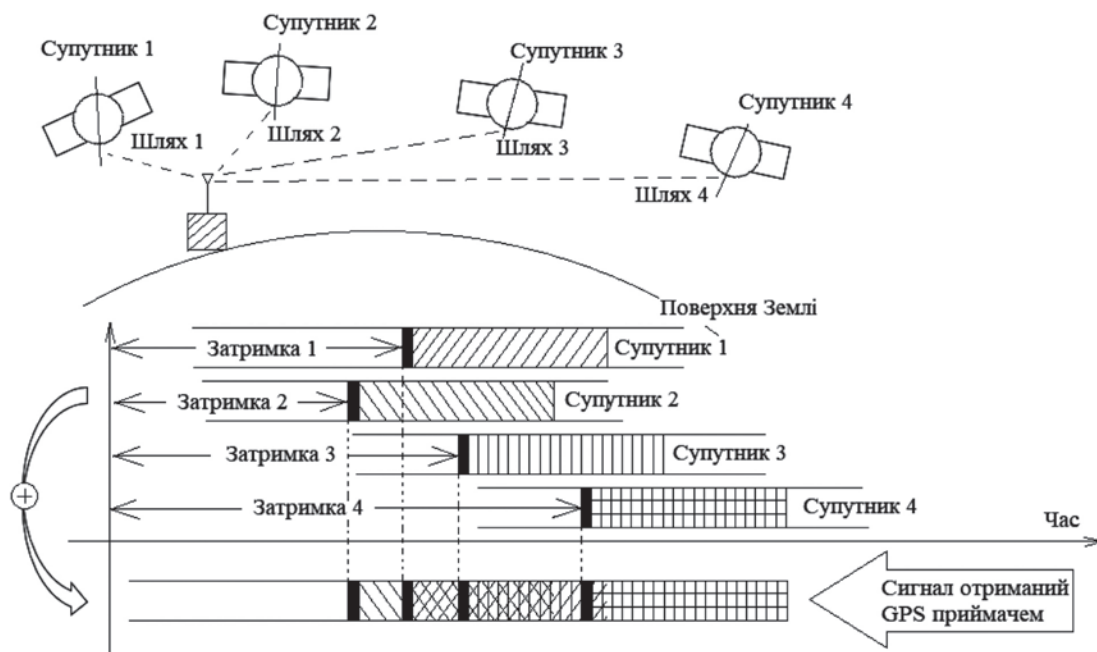


Рис. 1. Принцип позиціонування об'єкта

псевдодальності, приймачі можуть коригувати інформацію за їх сигналами.

2) Використання системи наведення EDGE (Exploitation of DGPS for Guidance Enhancement) для DGPS, яка використовується у тому числі для високоточної зброї.

3) Використання системи Wide-Area Augmentation System (WAAS), яка складається з наземних станцій, що розраховують корекцію GPS сигналів від супутників на геосинхронних орбітах для передачі їх на GPS приймачі включаючи інформацію про затримки в іоносфері, похибки індивідуальних годин супутників.



Рис. 2. Методи підвищення точності супутникових сигналів

4) Застосування локальної системи коригування LAAS (Local-Area Augmentation System). Вона аналогічна WAAS, але передачі даних йде з локального джерела.

5) Застосування системи Wide Range GPS Enhancement (WAGE) як спроба поліпшення точності ходу атомного бортового годинника та відправлення ефемерних орбітальних даних для спеціальних приймачів.

6) Відносне кінематичне позиціонування РКР (Relative Kinematic Positioning). Приводить акуратність отримання сигналів до похибки менше 10 см. Це досягається за рахунок циклічності

сигналів, які відправляються та приймаються приймачем.

Узагальнену таблицю існуючих супутникових навігаційних систем і точність їх позиціонування наведено у табл. 1.

Однак усі означені супутникові навігаційні системи поєднують фактори, що впливають на точність визначення місцеположення об'єктів, а саме:

1. Неоднорідність іоносферних і тропосферних шарів Земної атмосфери. Точність вимірів залежить від сталої швидкості поширення радіохвиль, яка через різноманіття неоднорідностей в атмосфері може змінюватися. Як наслідок, виникають іоносферні та тропосферні помилки у визначенні відстаней до супутників.

2. Багатопротенава природа поширення радіохвиль. Приймач СНС приймає не тільки прямі радіохвилі, а й відбиття від будь-яких об'єктів – земля, водна поверхня. Відбиті сигнали створюють додаткові перешкоди, які впливають точність виміру.

3. Помилки синхронізації. Для точного виміру затримки сигналу від супутника використовується синхронізація приймача із супутниковим сигналом.

4. Неточність розрахунку становища супутника у просторі, тобто ефемеридні помилки (помилки зміни орбіти).

5. Геометричний чинник. (GDOP – Geometrical delusion of precision). У момент, коли супутники, на які проводиться обсервація, знаходяться під кутами близькими до прямих, точка перетину кіл орбіт може бути обчислена з меншою похибкою, ніж у випадку, коли супутники знаходяться під гострими кутами.

6. Сонячна активність. Спалахи на сонці супроводжуються викидами гігантських мас сонячної речовини, що породжують різкі зміни властивостей магнітосфери й іоносфери Землі. Такі спалахи циклічні та під час їх появи помилки у позиціонуванні зростають.

7. Виборча точність позиціонування шляхом кодування сигналів, що передаються із супутника. Комерційний короткий код дозволяє отримати точність гірше, ніж довгий код для військових потреб.

Таблиця 1

Точність позиціонування провідних навігаційних систем

СНР (супутникова навігаційна система)	GPS (США)	ГЛОНАС (Росія)	GALILEO (Європа)	Baidou (КНР)	QZSS (Японія)	IRNSS (Індія)
Точність, м	3.6 метри	7 метрів	До 1 метра	10 метрів	До 1 метра	До 10 метрів

8. Похибки апаратури споживача. Апаратурні похибки, які поділяються на систематичну похибку апаратурної затримки радіосигналу та флуктуаційні похибки, зумовлені шумами та динамікою споживача.

Проте сучасні глобальні навігаційні супутникові системи задовольняють потреби у навігаційному обслуговуванні великої кількості споживачів як на суші так і на морі, але існує низка завдань, які вимагають підвищення точності позиціонування. Наприклад: зліт, захід на посадку та посадка літаків, судноводіння у прибережних водах, навігація автомобілів, останнім часом активно починають використовуватися автоматичні системи керування транспортом (дрони, безпілотні судна).

Для підвищення точності навігаційних визначень найбільш поширене використання отримав метод диференціального (відносного) режиму визначень, який передбачає використання одного або більше базових приймачів, розміщених у точках із відомими координатами, які одночасно із приймачем споживача (рухомим або мобільним) здійснюють прийом сигналів однакових супутників.

Підвищення точності позиціонування цим способом досягається за рахунок того, що помилки вимірювання навігаційних параметрів споживачого та базових приймачів є картельованими. При формуванні різниць вимірюваних параметрів більшість таких похибок компенсується. В основі методу лежить знання координат опорної точки – контрольно-коригуючої станції або системи опорних станцій, щодо яких обчислюються поправки до визначення псевдодальностей до навігаційних

супутників. Поправки враховуються в апаратурі споживача, і точність розрахунку, зокрема координат підвищується у десятки разів. Диференціальні системи входять до функціональних доповнень ГНСС, які надають споживачам додаткову коригуючу інформацію. Функціональні доповнення надають споживачам додаткову інформацію, яка дозволяє підвищити точність і достовірність визначення просторових координат, швидкості руху та часу.

Вихідна інформація функціональних доповнень доводиться до споживачів спеціальними каналами зв'язку. Вона містить коригуючу інформацію (для усунення або зменшення похибок позиціонування споживачів) та інформацію про цілісність супутникових сигналів для забезпечення достовірності результатів позиціонування.

Нині розвиваються п'ять широкозонних систем диференціальної корекції: СДКМ (SDCM), WAAS, EGNOS, GAGAN, MSAS. Карта покриття систем наведена на рис. 3.

Окреме місце у способах підвищення точності займає «сервіс PPP» (Precise Point Positioning – високоточне абсолютне позиціонування), що забезпечує точність позиціонування на рівні від дециметра до сантиметра і більше (для режиму статички) при поєднанні точних супутникових орбіт і годинників із двочастотним приймачем сигналів ГНСС (за рахунок урахування ефекту впливу іоносфери).

До основних переваг технології PPP стосовно інших методів диференціального позиціонування слід віднести те, що для реалізації PPP потрібен

Таблиця 2

Системи диференціальної корекції сигналів

Назва широкозонної системи диференціальної корекції	Розшифровка	Країна
СДКМ (SDCM)	Широкозонна система диференціальної корекції та моніторингу	Росія
WAAS	Широкозонна система функціональних доповнень (Wide Area Augmentation System)	США
EGNOS	Європейська геостационарна служба навігаційного покриття (European Geostationary Navigation Overlay Service)	Європейська співдружність (ЄС)
GAGAN	Геостационарне навігаційне доповнення системи GPS (GPS-aided GEO augmented navigation)	Індія
MSAS	Багатофункціональна система диференціальної корекції супутникового базування (Multi-functional Satellite Augmentation System)	Японія
StarFire Navigation system	Комерційна система компанії John Deere	Приватна глобальна система
Starfix DGPS System та OmniSTAR	Комерційна система голландської компанії Fugro NV	Приватна глобальна система

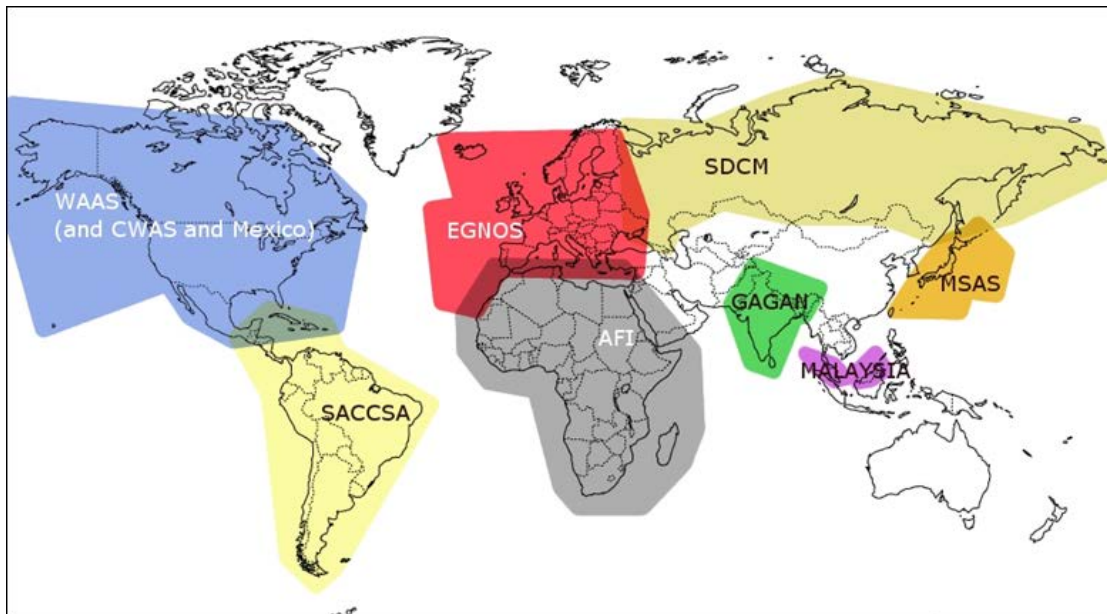


Рис. 3. Карта покриття систем диференціальної корекції

лише один приймач і не потрібні спеціальні базові станції у безпосередній близькості від користувача. Необхідно також торкнутися теми перешкодозахищеності ГНСС, яка останнім часом дуже впливає на надійність роботи GPS оскільки існують загрози доступності ГНСС внаслідок виникаючих навмисних перешкод і глушення сигналів GPS. Наслідки перешкод можуть бути серйозними, особливо коли потужність сигналу цих перешкод можна порівняти з істинним сигналом GPS. У таких умовах спостерігається небезпечна інформація, що вводить в оману та призводить до спрацювання сигналізації й одночасної відмови декількох систем навігаційного містка, включаючи судновий радар, гірокомпас і автоматичну ідентифікаційну систему (AIS). Нині вважається, що ці системи забезпечують точну ситуаційну обізнаність і часто розглядаються як резерв, на який можна покластися у разі відмови ГНСС, проте вони самі виявляються вразливими.

**Висновки.** Останнім часом перелік пристроїв для незаконного придушення точності GPS сигналів досить швидко поширився та доступний для вико-

ристання зловмисниками, які здатні придушувати супутникові сигнали. Це має певний зв'язок із процесами забезпечення безпеки навігації судна. Безумовно у будь-яких випадках на факт втручання або перешкоджання прийому сигналів від супутників GPS, реагують існуючі засоби сповіщення команди навігаційного містка, проте найбільший ризик, полягає у наданні помилкових даних про географічні координати судна від приймачів GPS. Це може проявлятися у вигляді зображення судна на суші, значень надмірної швидкості руху або похибки у визначенні положення на значній відстані від істинного. Помилкові положення судна також спостерігаються в судовій електронній картографічній системі (ECDIS), автоматичної системи ідентифікації (AIS) і на радарі. Втрата місцеположення судна не дозволяє пристрою розрахувати дальності або пеленги до цілей для процесів маневрування та розходження. Як підсумок це має вплив не тільки на ситуаційну обізнаність екіпажу, але й може спричинити вихід із ладу значної частини навігаційного обладнання та створювати аварійні ситуації що загрожують безпеці судна.

#### Список літератури:

1. Конин В.В., Харченко В.П. Системы спутниковой радионавигации / Национальный авиационный университет. Киев : Холтех, 2010. 520 с.
2. Резолюція MSC.115(73) Експлуатаційні вимоги до об'єднаного судового приймального обладнання систем GPS/Глонасс, 2000 р.
3. Куприянов А.О. Глобальные навигационные спутниковые системы : учебное пособие. Москва : МИИГАиК, 2017. 76 с.
4. Либерман Ю.И., Липин А.В, Сарайский Ю.Н. Применение спутниковых навигационных систем. Аэронавигация. Санкт-Петербург, ГУГА, 2011. 69 с.

5. Рыбакова О.А., Лапшин Э.В. Глобальные космические системы. *Труды Международного симпозиума «Надежность и качество»*. 2009. № 1. С. 80–84.
6. Суворов Є.Ф. Літопис зародження, розвитку та перших кроків реалізації ідеї вітчизняної супутникової системи. Москва : Кучкове поле, 2014. 232 с.
7. Galileo High Accuracy Service (HAS) European Space Agency. URL: <https://gssc.esa.int>.
8. Dimc, F., Music, B., Osredkar, R. Attaining required positioning accuracy in archeo-geophysical surveying by gps. *Proceedings of the 12th International Power Electronics and Motion Control Conference*, 2006.
9. Lecce, V.D., Amato, A., Piuri, V. Neural technologies for increasing the GPS position accuracy. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computational Intelligence for Measurement Systems and Applications*, 2008.
10. Onyshchenko S., Melnyk O. Modelling of changes in ship's operational condition during transportation of oversized and heavy cargo. *Technology audit and production reserves*. 2020. № 6/2 (56). P. 66–70. DOI:10.15587/2706-5448.2020.221653
11. Onyshchenko, S., Shibaev, O. and Melnyk, O. Assessment of Potential Negative Impact of the System of Factors on the Ship's Operational Condition During Transportation of Oversized and Heavy Cargoes, *Transactions on Maritime Science*. 2021. № 10 (1). DOI: 10.7225/toms.v10.n01.009
12. Мельник О.М., Щербина О.В., Корякін К.С., Бурлаченко Д.А (2021). Огляд та перспективи використання сучасних систем курсовказання на морських суднах для забезпечення навігаційної безпеки. *Наукові вісті Давіського університету*. № 21. DOI: 10.33216/2222-3428-2021-21-13
13. Мельник О.М., Бичковський Ю.В. Сучасна методика оцінки рівню безпеки судна та шляхи його підвищення. *Розвиток транспорту*. 2021. № 2 (9). P. 37–46. DOI:10.33082/td.2021.2-9.03
14. Мельник О.М., Онищенко С.П., Волошин А.О., Корякін К.С., Бурлаченко Д.А. Аналіз показників аварійності світового флоту та шляхи їх зниження. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали II міжнар. наук конф.* 10 вересня, 2021, Одеса. С. 115–117. DOI:10.36074/mcnd-10.09.2021
15. Мельник О.М., Корякін К.С., Волошин О.А., Окулов В.І., Пуляев І.О. Використання технології CDMA у супутникових системах навігації морських суден. *Ricerche scientifiche e metodi della loro realizzazione: esperienza mondiale e realtà domestiche* : матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф., м. Болонья, 12 лист. 2021 р. Т. 2. С. 49–51. DOI:10.36074/logos-12.11.2021.v2.15

#### **Melnyk O.M., Koryakin K.S. MODERN WAYS TO IMPROVE THE STANDARDS OF ACCURACY AND RELIABILITY OF SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS**

*An inseparable part of modern technology is the satellite systems used to determine the location of objects at any point of the earth's surface using special navigational receivers. GNSS-technology is widely used in geodesy, engineering, transport, but no less important value it acquired as a standard equipment of ship's navigation satellite system. One of the current problems is to increase the accuracy of signals and reliability of GPS. Development of geostationary services for coverage, insantly improves the performance of GPS on the world's oceans due to what, the correctness of the information, which is transmitted through the GPS, is increasing. Thus, the accuracy of the location of the object significantly increases, additionally received information about possible errors in the given data or the lack of satellite signals. To improve the accuracy of positioning, two approaches are used, the use of multiple signals at different frequencies transmitted from the satellite as the most modern approach, but not yet adapted to all satellites and a system of reference stations, the location of which is known for the creation and transmission of corrections that increase the accuracy of positioning. This work presents a review of the basic principles of objects positioning, identifies methods and techniques that are used to improve the accuracy of satellite signals, and gives data on the accuracy of the positioning of existing satellite navigation systems. Identified factors, which are influencing the accuracy of positioning of objects in space, and methods used to improve the accuracy of the navigation system investigated, formalized description of wide-area differential correction systems used for information correlation in order to eliminate position abnormalities presented.*

**Key words:** GPS-signals, positioning accuracy, satellite navigation.

УДК 656.6:616-036  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/37>

**Решетков Д.М.**

Одеський національний морський університет

**Павлова Н.Л.**

Одеський національний морський університет

## ВПЛИВ ПАНДЕМІЇ COVID-19 НА РОБОТУ МОРСЬКИХ ПОРТІВ

*Пандемія COVID-19 справила значний вплив на ситуацію на глобальному і місцевих ринках, її наслідки відчують економіки країн і світова економіка загалом. Поширення коронавірусної хвороби викликало глобальну економічну кризу у світовому масштабі з різними наслідками для транспорту і торгівлі. Криза спричинила уповільнення торгівлі у всіх регіонах і у всіх групах країн, призвела до дисбалансу вантажопотоків і порушила звичні торговельні зв'язки між виробниками та споживачами. Вагомі зміни внесла пандемія COVID-19 й у роботу морських портів. Судноплавна та портова галузь України та світу вимушено запровадила низку обмежень на діяльність. Портова галузь виявилася суттєво порушена карантинними заходами, що призвело до змін традиційного укладу її діяльності. Без того нестабільна ситуація на ринку портових послуг додатково ускладнилася внесенням коректив для швидкої адаптації до нових умов роботи. У статті проведено оцінку впливу пандемії COVID-19 на світові торговельні потоки, а також на морські перевезення вантажів. Проаналізовано динаміку заходів суден у морські порти в умовах спалаху пандемії й у період карантинних обмежень у світі. Запропоновано заходи з підтримки роботи морських портів в умовах пандемії COVID-19, що допоможуть портам проводити відповідну політику і приймати рішення, спрямовані на поліпшення управління ризиками та підвищення стійкості морської ланцюжка поставок. Визначено основні напрями заходів реагування на наслідки пандемії у морських портах. Виокремлено фактори впливу на стан та зміну показників роботи морських портів України. Запропоновано заходи щодо зменшення негативного впливу пандемії COVID-19 на стан та розвиток ринку портових послуг України. Розглянуто основні напрями (умови) динамічного розвитку портової індустрії в світі і в Україні.*

**Ключові слова:** пандемія COVID-19, морські перевезення, морські порти, показники роботи порту, портова індустрія.

**Постановка проблеми.** Морський транспорт лежить в основі глобальних ланцюжків постачань і економічної взаємозалежності з судноплавством і портами. На них припадає понад 80% світової торгівлі товарами за обсягом і більш 70% за вартістю. Коли виникають руйнівні фактори, такі як пандемії, порушені транспортні мережі і ланцюжки поставок можуть істотно підірвати світову торгівлю і економічну активність.

Коронавірусна хвороба (COVID-19) викликала глобальну економічну кризу з різними наслідками для морського транспорту і торгівлі. Обмеження, введені у відповідь на пандемію, спричинили збої в портах, судноплавстві та ланцюжках поставок.

Довгострокові наслідки спалаху COVID-19 ще належить повністю оцінити, але показники двох останніх років вказують на серйозні проблеми для цього сектора. Вони різняться в залежності від сегменту морських перевезень (наприклад, контейнерні, напіпні, рефрижераторні, танкерні) і від того, чи є перевезення внутрішніми або між-

народними. Вони також розрізняються залежно від регіону, рівня розвитку і ступеня готовності до потрясінь і збоїв.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню наслідків впливу пандемії COVID-19 на транспортну галузь присвячено роботи українських і закордонних науковців. Проблемам впливу COVID-19 на глобальні ланцюжки постачань присвячені роботи Amalesh Sharma, Anirban Adhikary, Sourav Bikash Borah [1], D. Ivanov, A. Dolgui [2], M.L. Ranney, G. Valerie, A.K. Jha [3]. Xiaoqian Sun, Sebastian Wandelt, Anming Zhang [4] вивчали питання впливу на повітряні перевезення. Alessandro Bombelli [5] досліджував вплив коронавірусу на основних учасників ринку повітряних вантажних перевезень. З.П. Двудіт, І.А. Данилюк [6] розглядали проблеми впливу пандемії на ринок вантажних залізничних перевезень. Але питання впливу пандемії COVID-19 на морські вантажні перевезення та роботу морських портів ще не в достатній мірі вивчене, що зумовлює мету цього дослідження.

**Постановка завдання.** Метою статті є виявлення наслідків впливу пандемії COVID-19 на роботу світових та українських морських портів.

**Виклад основного матеріалу. Оцінка впливу пандемії на морські перевезення вантажів.** ЮНКТАД провела попередню оцінку безпосередніх наслідків пандемії COVID-19 для морського ланцюжка поставок і торгівлі в першій половині 2020 р. Отримані висновки можна сформулювати наступним чином. Пандемія вплинула на світові торговельні потоки з безпрецедентною швидкістю і масштабами. Криза викликала уповільнення торгівлі у всіх регіонах і у всіх групах країн, як розвинених, так і країнах, що розвиваються (рис. 1).

Вплив пандемії на морську торгівлю у різних регіонах неоднаковий. У Європі та Середземномор'ї різко скоротилася кількість заходів суден. В Австралії та в Океанії зниження також було значним. У Латинській і Північній Америці зниження виражалося двозначними чис-

лами. Зниження кількості заходів в порти країн Африки на південь від Сахари становило -9,7%. На Далекому Сході й у Перській затоці спостерігалось помірне зниження.

У першій половині 2020 р. у світі заходи суден скоротилися на 8,7% порівняно із 1,1 млн суден, зареєстрованих у першій половині 2019 р. У першому кварталі 2020 р. зміни у кількості заходів суден були незначними. Картина кардинально змінилася, коли країни почали вводити обмеження і обмежувати свою економіку і суспільство. У другому кварталі 2020 р. кількість заходів суден знизилася на 17%. У порівнянні з другим кварталом 2019 р. кількість заходів суден в другому кварталі 2020 р. знизилася на 23,1% у розвинених країнах і на 9,1% у країнах, що розвиваються і на 10,9% у країнах із перехідною економікою (рис. 2).

За перше півріччя 2020 р. загальна кількість заходів суден скоротилася на 8,7% в порівнянні з 1,1 млн. заходів, зареєстрованих протягом пер-

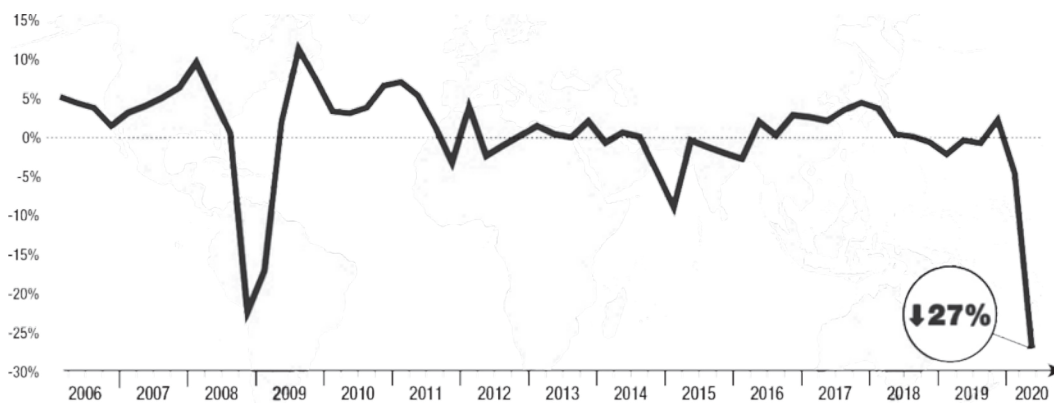


Рис. 1. Тенденції у світовій торгівлі (зміна у відсотках)

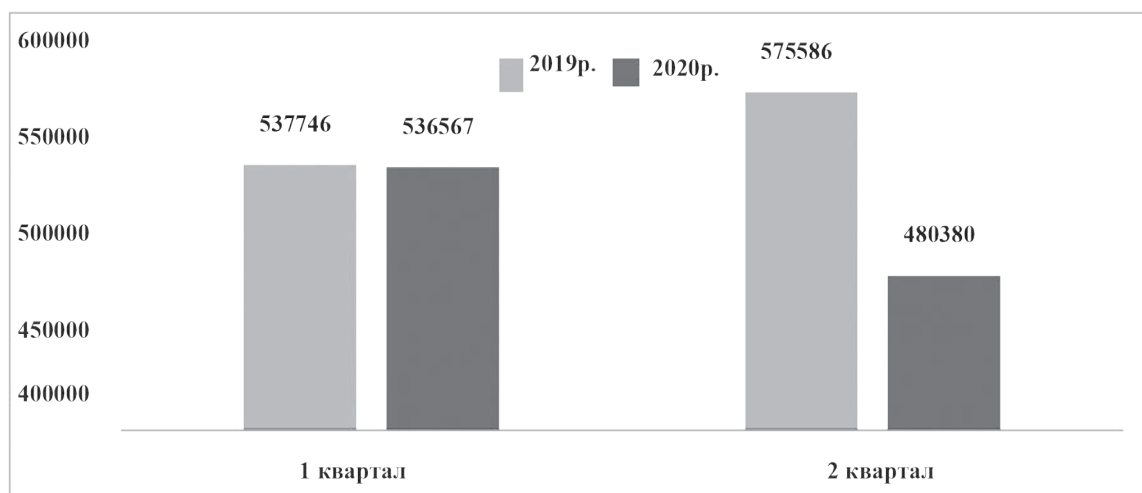


Рис. 2. Загальна кількість заходів суден у порти світу (1 півріччя 2019–2020 рр.), од.



шого півріччя 2019 р. Більша частина зниження припала на березень 2020 р. [7].

Унаслідок слабкої економічної активності у світі, яку спричинила пандемія COVID-19, у 2020 р. помітно знизився попит на основні масові вантажі в більшості портів Китаю, Європи та США.

У портах Китаю припинення перевалки вантажів із початку року призвело до істотного падіння обсягу портових операцій. Найбільше зменшилися показники портів, які розташовані в північно-східній частині країни. Інші порти (Циндао, Сяминь, Гуанчжоу, Далянь) практично не постраждали.

В Італії найбільше падіння вантажообігу припало на порти Лігурія – 8,2% та Генуя – 5,6%, які знаходились в центрі подій. Вантажообіг морських портів Неаполя (Салерно, Кастелламаре-ді-Стабія) скоротився лише на 2,3% і склав 6,7 млн т.

Вантажообіг портів у країнах Балтії (Лієпая, Роттердам, Гельсінкі) в першому кварталі 2020 року скоротився на 16,3, 9,3 і 4,3% відповідно. Протягом першого півріччя 2020 р. було зафіксовано зниження середнього вантажообігу морських портів Польщі більш ніж на 10% (табл. 1).

Таблиця 1

## Показники роботи морських портів

Порт / Країна	I квартал 2019 р.	I квартал 2020 р.,	2020 / 2019, %
Шанхай, Китай (млн. т)	132,2	108,4	-18,0
Гонконг, Китай (млн. TEU)	4,4	4,1	-6,8
Пусан, Республіка Корея (млн. TEU)	5,6	5,1	-8,0
Сінгапур, Сінгапур (млн. т)	151,9	148,8	-2,0
Лієпая, Латвія (млн. т)	1,8	1,5	-16,3
Роттердам, Нідерланди (млн. т)	123,9	112,4	-9,3
Гельсінкі, Фінляндія (млн. т)	2,8	2,7	-4,3
Лігурія, Італія (млн. т)	3,7	3,5	-8,2

Порожні рейси та нестабільна ситуація вплинули на морські перевезення наступним чином: порти працювали повільніше на прийняття і випуск вантажів і з затримками в митному оформленні; у зв'язку з падінням попиту на перевозяться продукцію скорочувалися провізні можливості; виникало дисбаланс вільного обладнання (порожніх контейнерів) по країнам: нестача в одних і надлишок в інших. Судновласники ставили суду

на прикол до відновлення попиту на контейнерні перевезення; велика кількість учасників рейсів були змушені через карантин перебувати в морі без можливості «зійти на суходолі».

**Заходи з підтримки роботи портів в умовах пандемії.** Розуміння того, як основні учасники морського ланцюжка поставок впоралися з перебоями, що виникли внаслідок COVID-19, дозволяє оцінити їх рівень готовності й стійкості до потрясінь і збоїв. Ця інформація допоможе портам проводити відповідну політику і приймати рішення, спрямовані на поліпшення управління ризиками та підвищення стійкості морської ланцюжка поставок. Опубліковані дані і матеріали, отримані безпосередньо від відповідних зацікавлених сторін, включаючи порти і судноплавні компанії, дозволяють виділити деякі з основних проблем, з якими стикається сектор з початку спалаху COVID-19, і визначити заходи, які необхідно прийняти у відповідь на ці проблеми.

Із перших днів кризи стійкість портів і здатність продовжувати оброблювати вантажі визначається їх здатністю забезпечувати як безпечну і швидку обробку вантажів, так і морські послуги (наприклад, навантаження і розвантаження, зберігання і обробку вантажів, патрульні й аварійно-рятувальні кораблі, буксирні служби, лоцмани тощо).

Підтримка роботи портів в умовах спалаху COVID-19, повсюдних блокувань і зростаючих обмежень на пересування, вимагало від портів усього світу діяти швидко. Дії були зосереджені на стримування спалаху, охорони здоров'я та безпеки портового співтовариства, а також підтримці роботи порту і безперервності бізнесу.

Порти скорегували свої операції та змінили методи управління і комунікації. Вони активізували співпрацю з користувачами і зацікавленими сторонами, в тому числі для забезпечення скоординованого реагування.

Загалом збої, викликані пандемією, не привели до значних додаткових затримок. Порти, які скорегували свою роботу, зафіксували лише незначні затримки (до шести годин). Незважаючи на те, що з другого кварталу 2020 р. операції повернулися до звичайної норми в різних частинах світу.

До деяких обмежень неминучим затримок відносяться, наприклад, затримки, пов'язані з навантаженням і розвантаженням без супроводу трейлерів на вантажних судах Ro / Ro, а також автомобілів на автовозах через заходи з видалення персоналу. Порти також відзначили, що використання нових технологій активізувалося як засіб вирішення деяких проблем (табл. 2).

## Заходи реагування на наслідки пандемії у портах світу

Напрямки	Операційні настройки портів
Встановлення пріоритетів «основний портової діяльності»	Створення «швидкісних смуг» для проходження медичного обладнання та препаратів, харчових продуктів, палива і т.д.
«Гнучкість портових операцій»	Надання послуг із бункерування у районах якірних стоянок; Коригування портових операцій для забезпечення дотримання правил соціального дистанціювання і санітарних правил.
Реорганізація роботи портових терміналів	Мінімізація кількості змінного персоналу; Створення додаткових резервних груп робітників; Введення схеми ротації персоналу.
Оптимізація використання якірних стоянок	Організація додаткових тимчасових якірних стоянок для задоволення зростаючого попиту;
Використання нових технологій	Введення системи бронювання випуску контейнерів через Інтернет і мобільні телефони.
Стратегія управління та реагування на надзвичайні ситуації	Організація стратегічних діалогів з органами державної влади; Розробка планів надзвичайних дій у відповідь на кризу; Створення антикризових комітетів, асоціацій професійного сектору.

У результаті більшості портів вдалося уникнути значного впливу на вантажні операції. Зменшення кількості заходів суден за всіма видами морських перевезень і менші вантажні потоки також допомогли запобігти серйозним збоям у вантажних операціях [7].

**Показники роботи морських портів України у період карантинних обмежень 2020–2021 рр.** За підсумками першого півріччя 2020 р. зовнішня торгівля товарами України скоротилася на 9,5% порівняно з аналогічним періодом 2019 р. Переважно скорочення відбулось через зменшення імпорту товарів на 12,3%, в той час як їх експорт скоротився на 6,3%. Значною мірою скорочення відбулось за рахунок стрімкого зниження обсягів торгівлі у травні, коли товарообіг порівняно до

травня 2019 р. скоротився на 27,3%, тоді як за період з січня по квітень скорочення становило 5,2%, а у червні 2020 р. у порівнянні до червня 2019 р. товарообіг скоротився майже на 7%. (рис. 3).

Упродовж січня – червня 2021 р. експорт товарів становив 130,7% у порівнянні з січнем – червнем 2020 р. Імпорт товарів протягом січня – червня 2021 р. становив 127,4% у порівнянні з аналогічним періодом 2020 р. [8].

Незважаючи на те, що карантинні обмеження, пов'язані з поширенням вірусу в Україні, мали місце вже з першого кварталу 2020 р., результати першого півріччя 2020 р. перевищували або були на рівні першого півріччя 2019 р.

Загалом після зростання перевалки майже на 20% у 2019 р., 2020 р. українські порти завер-

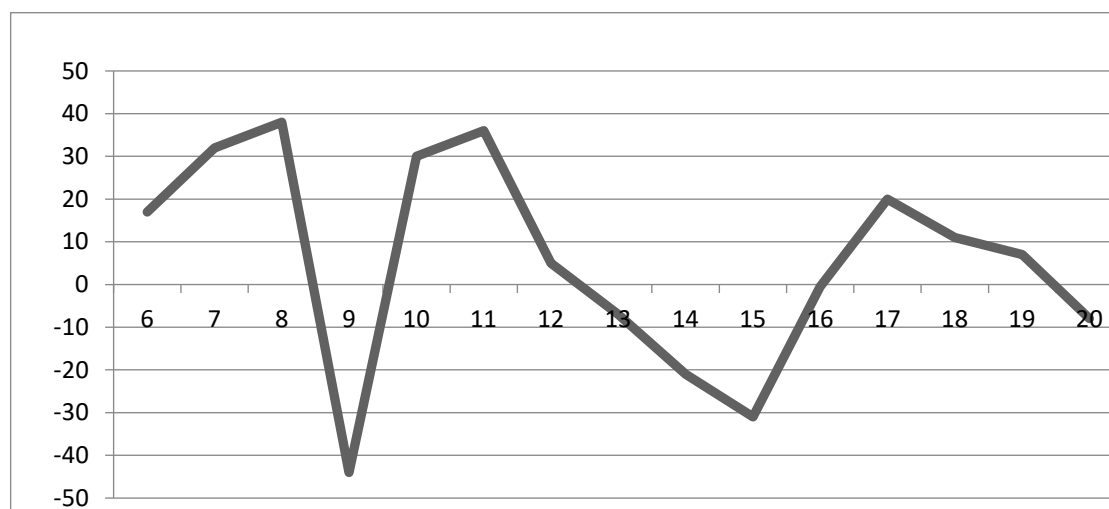


Рис. 3. Темпи зростання (зниження) обсягів зовнішньої торгівлі товарами України у 2006–2020 рр. до попереднього року, %

шили з невеликою негативною динамікою -0,5% до 2019 р.

За даними АМПУ в 2020 р. незважаючи на пандемію, морські порти обробили близько 159 млн. т. вантажів, із яких 91,8% обсягу належить 5 морських портів – Південний, Миколаїв, Чорноморськ, Одеса та Маріуполь.

*Зернові вантажі, що становлять основу вантажообігу українських портів, в 2020 р. значно скоротилися через низьку врожайність. Разом з тим, нівелювати падіння вдалося завдяки зростанню перевалки ЗРС, на якій позначилася сприятлива кон'юнктура на зовнішніх ринках. Зокрема, експорт зріс на 1,7% до 123 млн. т і склав 77% в загальній структурі вантажообігу [9].*

Однак, вже в 1 півріччі 2021 р. результати роботи портів України показали помітну тенденцію до їх зниження порівняно з аналогічним періодом попереднього року. Загальний вантажо-

обіг портів склав всього 83,2%, причому, це відноситься в рівній мірі і до експорту (83,7%), і до імпорту (89,9%), і до транзиту (71,5%). Кількість оброблених в портах суден скоротилася на 7,3% і склала 4928 од. (рис.4).

За перше півріччя 2020 р. кількість заходів суден до портів України скоротилися на 19,4% порівняно із 6 594 заходами, зареєстрованими протягом першого півріччя 2019 р. Більша частка зниження припала на квітень 2020 р., коли COVID-19 характеризувався вже як пандемія. Протягом першого кварталу зміни в кількості заходів суден були незначними (2 791 – у 2020 р. проти 2 838 – у 2019 р.). З початком введення економічних і соціальних обмеження у другому кварталі 2020 р. кількість заходів суден скоротилася на 33%, або на 1 232 заходу менше, ніж за аналогічний період 2019 р. (рис. 5).

Починаючи з травня 2021 р. щомісячна кількість заходів суден у порти перевищила цей показник 2020 р.

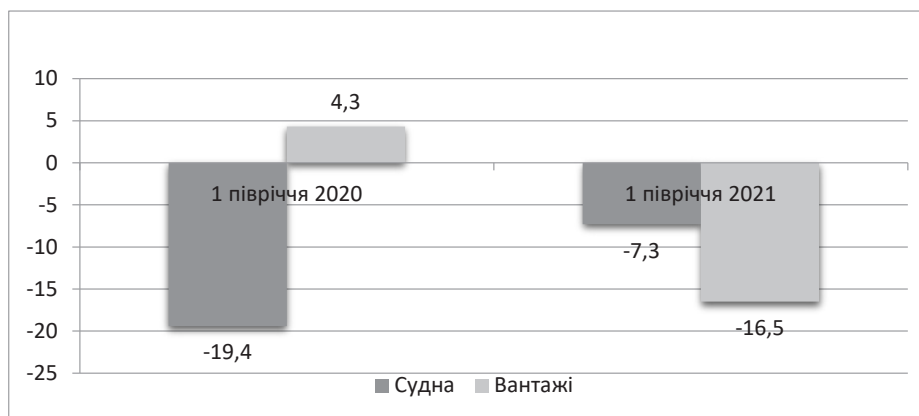


Рис. 4. Приріст кількості оброблених суден і вантажообігу морських портів України за 1 півріччя 2020–2021 рр. до аналогічного півріччя минулого року, %

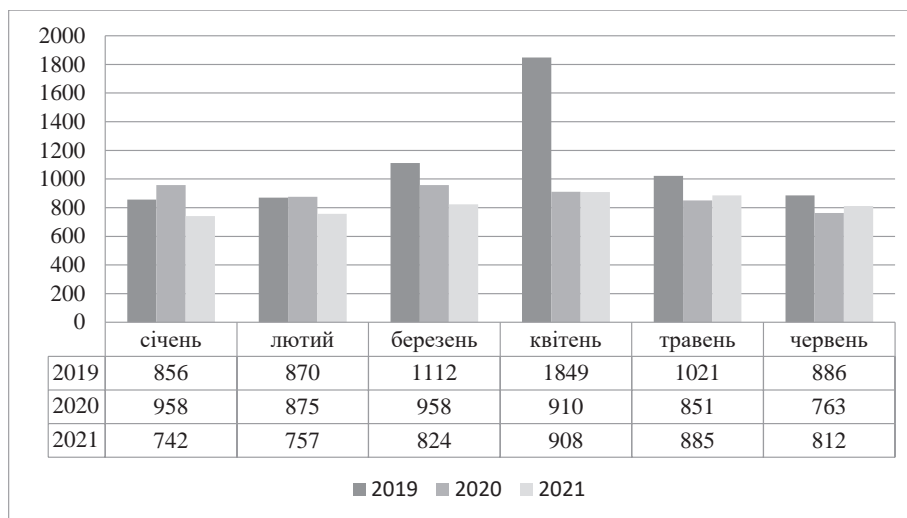


Рис. 5. Кількість оброблених суден в морських портах України за 1 півріччя 2019–2021 рр., од.

У першому півріччі 2021 р. вантажообіг найбільших морських портів знизився порівняно з першим півріччям 2020 р. на 20,9% – МП «Південний», 16,9% – Миколаївський МП, 13,6% – Одеський МП, 13,3% – МП Чорноморськ, при цьому, вантажообіг Маріупольського МП збільшився на 4,0% (рис. 6).

За січень-серпень 2021 р. порти в цілому скоротили обсяг перевалки вантажів на 13,4% порівняно з аналогічним періодом 2020 р. Всього ж порти обробили за вісім місяців 91,729 млн т вантажів, що на 14 млн 232 тис. т менше обсягів за той же період 2020 р. Також за 8 місяців 2021 р. оброблено 672 956 TEU контейнерів, що на 2,5% менше, ніж за аналогічний період 2020 р. За підсумками 8 місяців поточного року показники тільки 2 портів перевищують обсяги перевалки минулого року – Ізмаїльський порт з показником 2,5 млн т (+ 17,4%) і Усть -Дунайськ з показни-

ком в 34,6 тис. т (+ 138% ). Найбільші ж порти – Одеса, Південний і Чорноморськ показали негативну динаміку перевалки вантажів.

Обсяги перевалки основних вантажів у портах зменшилися по чорним металом – на 3,2%, по зерну – на 27,1%, по руді всякої – на 15,9%, по контейнерам, т – на 10,8%, по контейнерам TEU – на 3,5% (рис. 7).

**Основні напрямки (умови) динамічного розвитку портової індустрії у світі і в Україні.** Для розуміння впливу COVID-19 на портову галузь стоїть в першу чергу звернути увагу на світові тренди її розвитку. Те, що вважалося перспективою довгострокового періоду, стане реальністю в найближчий час. Експерти виділяють ключові тренди портової галузі, які насамперед можуть торкнутися змін ринку під впливом COVID-19:

1) Розвиток міжнародних коридорів, диверсифікація ланцюжків поставок і, як результат, інвестиції в порти Східної і Центральної Європи.

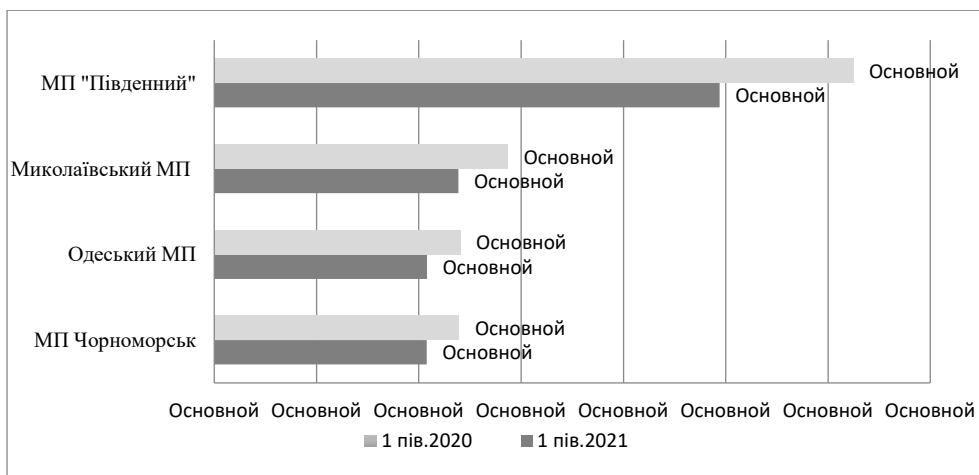


Рис. 6. Вантажообіг найбільших морських портів України за 1 півріччя 2020–2021 рр., млн т

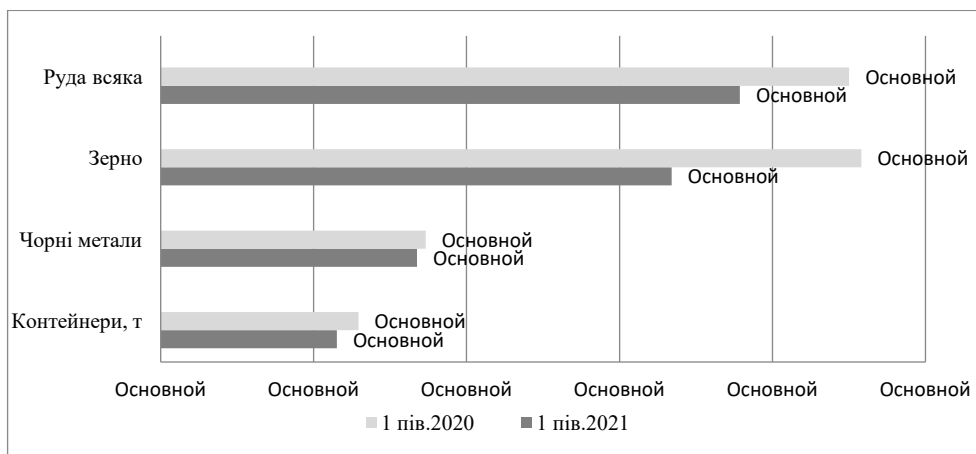


Рис. 7. Перевалка основних вантажів у морських портах України за 1 півріччя 2020-2021 рр., млн. т

2) Вертикальна інтеграція різних учасників логістичного ланцюжка, розвиток гібридних компаній, які володіють перевізниками і портовими терміналами, що інвестують в наземну інфраструктуру і сухі порти.

3) Збільшуються вимоги до портів у частині сталого розвитку, у тому числі щодо ефективності взаємодії портового співтовариства і розвитку цифровізації в портах. Під час гострої фази пандемії найбільш очевидною стала потреба в автоматизації й електронного документообігу. Порти, що йдуть в авангарді цифровізації і працюють із системами портового співтовариства (PCS), легше пристосувалися до нових умов.

Частково менш помітною, але не менш суттєвою, стала потреба у глибокій інтеграції портів з усіма учасниками логістичного ланцюжка, включаючи наземну інфраструктуру.

На думку фахівців, при створенні і розвитку сучасних морських портів повинні врахо-

уватися сучасні тенденції портової індустрії (табл. 3) [10].

**Висновки.** Тенденції в портах і заходах суден показують масштаби, а також диференційований вплив пандемії на морський транспорт і торгівлю. Це вимагає подальшого вивчення, щоб визначити, чи пов'язані ефекти і тенденції, що спостерігаються, до структурних зрушень або є тимчасовими явищами, які зникають разом із зникненням пандемії і її наслідків.

Прогнозування повної і довгострокової дії кризи COVID-19 на морський транспорт і торгівлю, а також форму відновлення загрожує невизначеністю. В цілому, подолання затяжної економічної кризи в будь-якій галузі прискорює, з одного боку, відмирання неефективних підходів, а з іншого – розвиток прогресивних технологій і тенденцій.

Облік цих факторів повинен привести до подальшої модернізації морських портів України, що дозволить швидко і ефективно справлятися із зростаючим обсягом торгівлі України.

Таблиця 3

#### Основні аспекти при створенні сучасних морських портів

Аспекти	Зміст дій
Безпека і захист порту	Підтримка морської інфраструктури та постачальників послуг з тим, щоб суду могли безпечно прибувати і відправлятися в будь-який час; Виконання перевантажувальних операцій порту в самому терміналі кваліфікованими операторами, які працюють з сучасним обладнанням і операційними системами; Забезпечення належного поводження з небезпечними вантажами і безпеки їх зберігання в порту.
Конкурентна цінність	Робота порту на рівні ефективності, який відповідає рівню конкурентів або перевершує їх. Операції повинні бути не тільки безпечними, але і реалізовуватися так, щоб відповідати очікуванням клієнтів і користувачів, або навіть перевищувати їх. Порт повинен постійно забезпечувати співвідношення ціни і якості, щоб вважатися об'єктом світового класу.
Зручність	Тісна співпраця операторів порту з відповідними органами для забезпечення швидкої обробки форм і формальностей, врегулювання експортних мит і своєчасного проведення різних інспекцій і / або сертифікацій. Реалізація портами певної державної політики для забезпечення того, щоб всі функції в процесі їх ланцюжка поставок були належним чином узгоджені, контролювалися і виконувалися відповідно до заздалегідь узгодженими параметрами.
Система співтовариства портів	Створення єдиної (онлайн) організації суспільства портів (PCS – Port Community System), яка з'єднала б всі зацікавлені сторони в логістичному ланцюжку для оптимізації процесів, автоматичного оновлення і передачі інформації, цифровізації транзакцій, вимірювання оперативності реагування та ін.
Стійкість	Підтримка принципів сталого розвитку, як одного з методів підвищення енергоефективності, скорочення довгострокових витрат і підвищення безпеки протягом всього періоду експлуатації.

#### Список літератури:

1. Sharma Amalesh, Adhikary Anirban, Borah Sourav Bikash. Covid-19's impact on supply chain decisions: Strategic insights from NASDAQ 100 firms using Twitter data. *Journal of Business Research*. 2020. P. 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101928>.

2. Ivanov D., Dolgui A. Viability of intertwined supply networks: Extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International Journal of Production Research*. 2020. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101928>.
3. Ranney M.L., Valerie G., Jha A.K. Critical supply shortages—the need for ventilators and personal protective equipment during the Covid-19 pandemic. *New England Journal of Medicine*. 2020. Vol. 382. Article e41. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101928>.
4. Sun Xiaoqian, Wandelt Sebastian, Zhang Anming. How did COVID-19 impact air transportation? A first peek through the lens of complex networks. *Journal of Air Transport Management*. 2020. Vol. 89. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101928>.
5. Alessandro Bombelli. Integrators' global networks: A topology analysis with insights into the effect of the COVID-19 pandemic. *Journal of Transport Geography*. Vol. 87. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101928>.
6. Двудіт З.П., Данилюк І.А. Вплив COVID-19 на ринок вантажних залізничних перевезень. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення та проблеми розвитку*. 2020. Вип. 2. № 2. С. 169–179.
7. UNCTAD (2020). COVID-19 and maritime transport: Impact and Responses. UNCTAD/DTL/TLB/2021/1. Geneva. URL: <https://unctad.org/en/Pages/DTL/TTL/Infrastructure-and-Services.asp> (дата звернення: 30.08.2021)
8. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 18.09.2021).
9. Адміністрація морських портів України. URL: <http://www.uspa.gov.ua> (дата звернення: 15.09.2021).
10. Інфраструктурний прорив: як створити порт світового рівня. А.Хакс. URL: <https://biz.ligazakon.net> (дата звернення: 18.09.2021).

#### **Reshetkov D.M., Pavlova N.L. THE IMPACT OF THE COVID-19 PANDEMIC ON THE OPERATION OF SEAPORTS**

*The COVID-19 pandemic has had a significant impact on the situation in global and local markets, and its effects are being felt by the economies of countries and the world economy as a whole. The spread of coronavirus has caused a global economic crisis worldwide with various consequences for transport and trade. The crisis has slowed trade in all regions and in all groups of countries, led to an imbalance in freight flows and disrupted the usual trade links between producers and consumers. The COVID-19 pandemic has also made significant changes in the operation of seaports. The shipping and port industries of Ukraine and the world have been forced to impose a number of restrictions on their activities. The port industry was significantly disrupted by quarantine measures, which led to changes in the traditional structure of its activities. The already unstable situation in the market of port services was further complicated by adjustments for rapid adaptation to new working conditions. The article assesses the impact of the COVID-19 pandemic on world trade flows, as well as on sea freight. The dynamics of ship measures in seaports in the conditions of a pandemic outbreak and in the period of quarantine restrictions in the world is analyzed. Measures to support the operation of seaports in the context of the COVID-19 pandemic are proposed, which will help ports to pursue appropriate policies and make decisions aimed at improving risk management and increasing the sustainability of the maritime supply chain. The main directions of measures to respond to the consequences of the pandemic in seaports have been identified. Factors influencing the state and change of performance of seaports of Ukraine are singled out. Measures to reduce the negative impact of the COVID-19 pandemic on the state and development of the Ukrainian port services market are proposed. The main directions (conditions) of dynamic development of the port industry in the world and in Ukraine are considered.*

**Key words:** COVID-19 pandemic, sea transportation, seaports, port performance indicators, port industry.

УДК 656.614.2  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/38>

**Сільванська Г.Н.**

Одеський національний морський університет

**Карп Г.В.**

Одеський національний морський університет

## КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ЯК ІНСТРУМЕНТ СЕГМЕНТАЦІЇ КРУЇЗНИХ ЛІНІЙ

*Міжнародний морський туризм як один із найдинамічніших секторів світової економіки має істотний вплив на інші галузі господарства. За оцінками Всесвітньої туристської організації (UNWTO) – найбільшої міжурядової організації, функціонування в галузі туризму тісно пов'язане та впливає на розвиток 32 галузей національної економіки. Круїзний бізнес – це великий бізнес, що швидко розвивається та складається із 67 круїзних ліній, які експлуатуються 423 суднами. У 2020–2021 рр. більше 29 мільйонів пасажирів відвідали круїзні мандрівки. Виявлення факторів впливу на споживчий сегмент круїзного ринку є однією із центральних турбот компаній на міжнародному ринку пасажирських перевезень. Прямий внесок у світову економіку від пасажирських перевезень, а саме від круїзного бізнесу та морського туризму, у 2020 р. становив 126 млрд дол. США, Цей внесок є одним із основних двигунів зростання економічного прогресу. Ключові фактори, що сприяють зростанню світової круїзної індустрії, – це глобалізація, формування нової маршрутної мережі морських круїзів, будівництво лайнерів великого тоннажу й пасажиромісткості з максимально широким асортиментом послуг на борту, будівництво суден менших розмірів, але підвищеної комфортності, будівництво спеціальних яхт.*

*Будівництво величезних мегалайнерів і пасажирських терміналів привертає увагу споживачів, які бажають придбати путівку в круїз. Це позитивно впливає на укрупнення виробництва, яке так само сприяє економії на масштабі, унаслідок чого знижуються ціни на круїзи, стаючи більш доступними для споживача. Такі заходи сприяють підвищенню проникнення круїзної галузі в серце міжнародного туристичного ринку.*

*У дослідженні вивчається й описується, як круїзні судна диференціюються на практиці за допомогою кластерного аналізу. Метою роботи є виявлення методів, які оператори круїзних ліній використовують для диференціації своєї продукції.*

*Використано кластерний аналіз для визначення того, які саме чинники впливають на формування цінового споживчого сегменту або класу круїзу. Установлено фактори, за якими пасажирські судна відрізняються один від одного. У результаті аналізу виявлено основні чинники, завдяки яким круїзні лінії диференціюють свої послуги. Ці результати мають первинне значення для формування цінової політики й сервісу послуг в індустрії круїзних ліній, визначення класу круїзу.*

*Стаття покликана продемонструвати, як можна диференціювати круїзні лінії та судна, використовуючи дані методу кластерного аналізу Варда, як це застосовується маркетинговими стратегіями для чіткого визначення пасажирського туристичного кластеру, що зумовлює визначення цінової політики компанії. Кластерний аналіз застосовується для визначення факторів, що відрізняють судна один від одного.*

**Ключові слова:** морський туризм, круїзна лінія, сегментація туристичного продукту, кластерний аналіз, конкурентоспроможність, метод Варда.

**Постановка проблеми.** У круїзному бізнесі домінують три круїзні корпорації (Carnival Corporation, Royal Caribbean Cruise Line, Norwegian Cruise Line) (рисунк 1) [2]. Галузь також швидко розвивається на міжнародному рівні. Круїзна індустрія у 2020 р. продовжує посідати провідне місце в галузі стійкого морського туризму, подаючи приклад того, як міська влада, промисловість і місцеві спеціалізовані співтовариства можуть працювати разом, коли об'єднані спільною метою. Це дає можливість створювати кластери як гео-

графічну концентрацію взаємозв'язаних компаній і спеціалізованих постачальників круїзних послуг і пов'язаних із ними установ у цій галузі, які є в регіоні. Щоб туризм став прибутковим бізнесом, необхідно здійснювати його розвиток відповідно до нової парадигми конкурентоспроможності, яка ґрунтується на кластерному підході.

Метою публікації є обґрунтування необхідності створення системи управління пасажирськими перевезеннями як інструменту підвищення конкурентоспроможності компанії.

Ідентифікація туристських ресурсів дає можливість визначення необхідних елементів кластера. При цьому багато факторів, таких як Pax/night, пасажиромісткість, регіон плавання, сервіс на борту, комфортабельність, чинять домінуючий вплив на вибір специфіки туристичного кластера, на процес його формування й визначення основних туристичних продуктів регіону [9].

Досягнення круїзної індустрії у 2020–2021 рр. [16]:

- 29,7 перевезено пасажирів;
- 1,166,000 створено робочих міст;
- 154,5 млрд. дол. США – прямий внесок у світову економіку;
- 50,53 млрд дол. США – сума зарплат, які виплачені в галузі.

Досягнення конкурентних переваг в умовах глобалізації економіки є ключовим чинником створення довгострокової стратегії розвитку. Одним із найсучасніших інструментів розв’язання цієї проблеми має бути формування морських кластерів. Коли члени кластера ефективно взаємодіють, результатом стає потужний центр одночасних інновацій, розробок і маркетингу, які можуть нести значний вклад у загальний експортний успіх тих країн, які беруть участь у його становленні [5; 6]. Після досліджень, які були обґрунтовані на парадигмі становлення складних адаптивних систем [7], існує необхідність в організації стабільної діяльності регіональної промисловості в багаторівневому промисловому кластері, який здатний вирішувати проблеми, що виникають на макро- й мікрорівнях. Такі економічні об’єднання є динамічними, тобто такими, що розвиваються. Вони є ієрархічно складними, багаторівневими, адаптивними організаціями.

Поточний статус-кво – це висококонцентрований сектор, що фокусується на масовому туризмі; сектор, де відбувається конкуренція за зниження витрат (конкуруючий туризм), який досягається за рахунок ефекту масштабу, грамотного маркетингу й сервісу.

#### Постановка завдання.

У дослідженні вивчається й описується, як круїзні судна диференціюються на практиці за допомогою кластерного аналізу. Тому метою роботи є виявлення методів, які оператори круїзних ліній використовують для диференціації своєї продукції. «Продуктами», що пропону-

ють круїзні лінії, є судна (тоннаж, пасажиромісткість, комфортабельність).

Судна характеризуються такими параметрами, як тарифна ставка (cost/night), регіон плавання тощо, суб’єктивними оцінками, як-от: розміщення, оцінки умов проживання, харчування, пропонувані розваги, що входять у поняття комфортабельності (конструктивна, сервісна). Фізичні оцінки суден взяті з опису Ward D. [7] – довідника BERLITZ. Коефіцієнти розраховані в процесі виконання практичних робіт [8].

Ця робота надає своє уявлення про визначення ніші для оперування компанії та пропонувананих нею круїзних ліній. Представлений метод є інструментом грамотної та ефективної диференціації круїзних ліній. Потрібен новий підхід при розгляді сервісу круїзних послуг, який представлений на міжнародному рівні. Це стратегія, що орієнтована на диференціацію споживчих сегментів і спрямована на виявлення унікальних потреб клієнтів в їхньому бізнес-сегменті [9; 10]. Компанія має бути конкурентоздатна через стратегію кластеризації [10; 11]. Стратегії бізнесу не мають бути одновимірними.

Якщо раніше круїзна індустрія була більше орієнтована на вузький ринок, що направлений на багатих людей, то компанія Carnival Cruise Line в 1970 р. першою спробувала забезпечити певний набір зручностей і послуг, щоб вони були доступними для ширших верств населення [11; 12].

Очікується, що галузь продовжить розвиватися завдяки «інноваційним зручностям і послугам», які орієнтовані на широке коло споживчих послуг.

В останні роки круїзні лінії не тільки продовжували збільшувати свої послуги за рахунок нового тоннажу, а й почали переобладнувати наявні судна

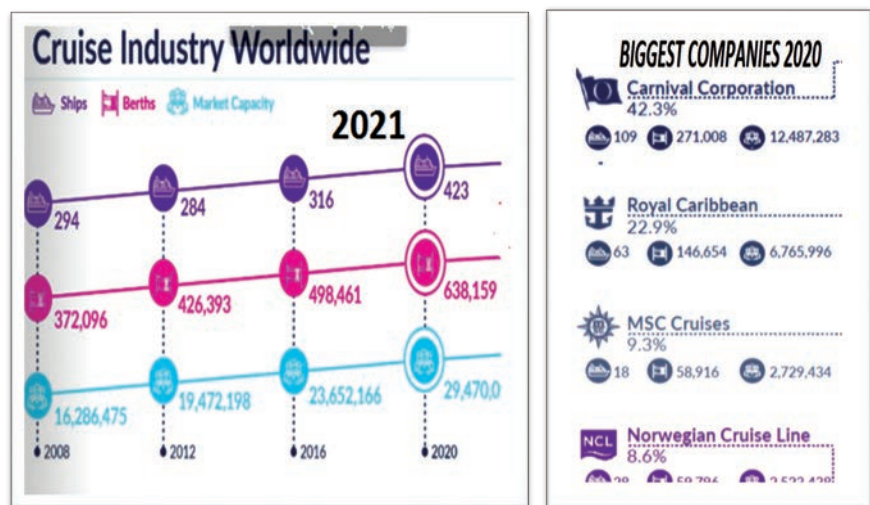


Рис. 1. Потенціал круїзної індустрії 2020–2021 рр. [2; 16]



[12; 13]. Крім того, маючи можливість «установлювати ціну на враження», круїзні лінії можуть створювати більш диференційовані продукти й ціни на послуги [13]. До того ж корпорація Carnival є лідером не лише в круїзній індустрії, а й у всьому світі готелів, курортів і круїзних ліній у цілому (Carnival Corporation and Plc Consolidated Statements of Operations, 2020). У 2021 р. корпорація Carnival зайняла 37,5% ринку, прибуток становив 8,883,190,000 [16]. Індустрія круїзних ліній диференціює свої пропозиції, щоб конкурувати в галузі з Royal Caribbean Cruise Line – 21,2%, і Norwegian Cruise Line – 12,2% [16].

**Методологія досліджування.** Методологія базується на кластерному аналізі, який використовується як метод аналізу масиву ідентифікаційних характеристик судна, виявляючи головні й об'єднуючі чинники та відмінності.

Використані дані отримані для 34 суден, які пов'язані із 68 круїзними лініями [12; 14; 16]. Вибрано змінні, що впливають на величину середньодобової тарифної ставки круїзу (рах/night) [8].

Використовуючи кореляційний аналіз повного набору змінних для всіх суден, легко помітити, що деякі змінні сильно корелюють між собою. Наприклад, тоннаж судна сильно корелював із довжиною, шириною та осадкою судна. Тому довжина, ширина й осадка судна виключені з розгляду. Цілком логічно, що коефіцієнт оцінки комфортабельності судна є комплексною величиною, що містить оцінку категорій кают ( $m^2/\text{чол.}$ ) і пропонованого сервісу судна, що визначає «зірковість» судна [8].

Застосований метод сегментації (кластеризації) – це диференціація за використанням різних типів судів, за рівнем сервісу, який запропонований на борту судна й на березі, за типами круїзів, які орієнтовані на різні (соціальні й вікові) групи потенційних прихильників круїзу. У дослідженні висунені наступні гіпотези, за якими круїзні лінії можна класифікувати за такими змінними:

Г1 – тоннаж. Тоннаж круїзного судна, який відображає загальний розмір круїзного судна.

Г2 – пасажиромісткість судна. Загальна кількість пасажирів. Кількість пасажирів на круїзному судні, що описує споживчу здатність круїзного судна.

Г3 – середньодобова тарифна ставка як вартісна оцінка каютно/категорійних параметрів.

Г4 – коефіцієнт комфортабельності ( $m^2/\text{чол.}$ ). Рейтинги загальної якості розміщення. Рейтинг якості загальних умов проживання відбиває категорію судна за поєднанням конструктивної й сервісної комфортабельності.

Г5 – регіон. Розміщення круїзних судів по регіонах круїзів відбиває поєднання наявного попиту й бажання круїзних ліній освоювати нові ринки. Існують відмінності між ринками й регіонами, найбільш очевидною з яких є різниця в прибутковості. У кожного ринку є свої особливості. У такий спосіб круїзна індустрія повинна враховувати безліч чинників, які пов'язані зі зручностями на борту, маршрутами, портами заходу й береговими екскурсіями.

Г6 – сезонність. Круїзні лінії встановлюють маршрути для максимального задоволення клієнтів, але повинні враховувати сезонність попиту. Ці фундаментальні ринкові характеристики мають на увазі використання трьох основних типів маршрутів. В ідеалі круїзні компанії вважали б за краще обслуговувати тільки постійні ринки, оскільки це буде майже оптимальним використанням судових активів. Проте, як і в індустрії туризму в цілому, сезонність є важливим компонентом попиту на круїзи. Деякі ринки обслуговуватимуться впродовж декількох місяців, в основному влітку. Найбільш важливі сезонні ринки включають круїзи по Балтиці, Норвегії й Алясці, які обслуговуються влітку.

**Метод аналізу.** Для проведення статистичного аналізу використовувалася програма SPSS (Statistics Powerful Statistical Software platform), версії 19 [15]. Для кластеризації судів застосовано кластерний аналіз K – means. Судів. Швидкий кластер визначав початкові кластерні призначення, а потім виконувалося до 20 ітерацій для визначення початкових кластерів. Зрозуміло, що основним визначальним фактором класу круїзу є тоннаж судна, пасажиромісткість. Проте також стало відомо, що усередині широких тоннажних груп при оцінці методом Варду стала важливою тарифна ставка. Вищеперераховані шість показників стали чіткими факторами впливу на клас споживчих сегментів (рис. 2).

Шість факторів впливу виділено та представлено в таблиці 1.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Проведено аналіз дисперсії. Насамперед важливо було визначити, що шість вибраних кластерів значно відрізняються один від одного при використанні дисперсійного аналізу. Результати роботи функції ANOVA, програми SPSS представлено в таблиці 1 [13]. Визначивши, що кластери значно відрізняються один від одного, важливо та цікаво розглянути розташування центрів кластерів. У таблиці 2 ми бачимо розташування початкових центрів кластеризації. Саме в цей момент стають

зрозумілими відмінні характеристики кластерів. Кластери розпочинаються з великого тоннажу та зменшуються відповідно до меншого тоннажу. Цікавим також є той факт, що оцінки комфортабельності варіюються залежно від пасажиромісткості судна й тоннажу судна, пасажиромісткості.

Нижче представлена вибірка з кожного кластера (таблиця 3) за класами круїзу та впливу змінних визначення класу круїзу [15].

На рис. 2 наведено змінні, які впливають на створення кластеру. Видно три найвпливовіші фактори.

На рис. 2–3 наведено застосований метод Варду, який використовує алгоритм ієрархічної кластеризації виділення факторів за принципом масштабованої відстані (класів). На рис. 4 представлено алгоритм об'єднання даних у кластери за допомогою програми SPSS, побудову дерева

Таблиця 1

Кроки агломерації

Етап	Кластер об'єднання		Коефіцієнти	Етап першого проявлення кластеру		Наступний етап
	кластер 1	кластер 2		кластер 1	кластер 2	
1	3	5	144,000	0	0	2
2	3	6	185,000	1	0	3
3	1	3	3968366,667	0	2	4
4	1	2	4665352837,500	3	0	5
5	1	4	1731029079559,200	4	0	0

Таблиця 2

Початкові центри кластерів

Назва фактору (клас)	Кластер					
	1	2	3	4	5	6
Тарифна ставка	450	100	600	500	250	200
Пасажиромісткість	60,00	66000,00	1020,00	2950,00	6500,00	6600,00
Комфорт	5	3	5	4	5	4
Сезонність	4	1	4	5	1	1
Тоннаж	2270	214000	55000	110239	228021	183900
Region	2	4	2	1	4	4

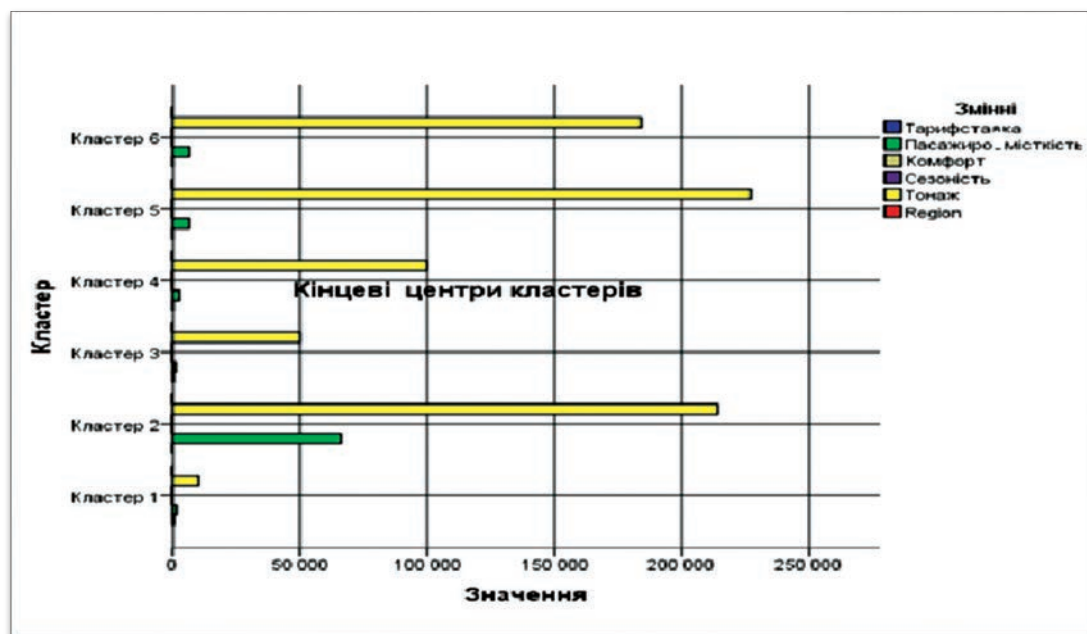


Рис. 2. Змінні впливу на кластер

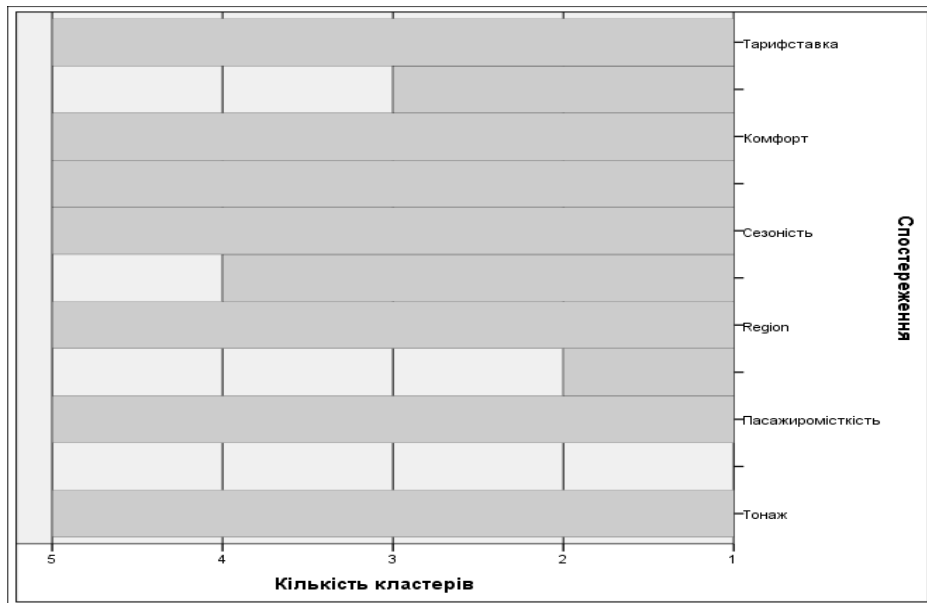


Рис. 3. Метод ієрархічної кластеризації виділення факторів (класів)

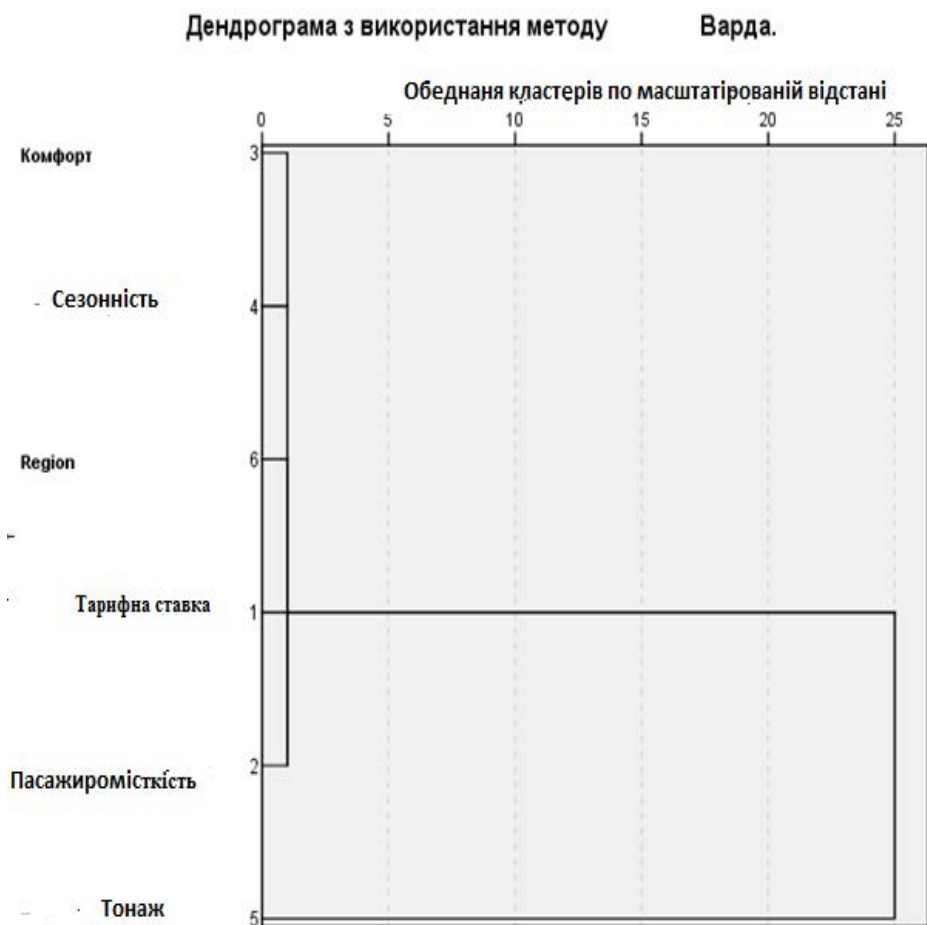


Рис. 4. Алгоритм об'єднання в кластери

ієрархії з використанням методу Варда [15]. Об'єднання в кластер відбуваються за значенням масштабованого показника – R-квадрат.

**Висновки.** У публікації запропонована стратегія круїзного розвитку за допомогою чіткого визначення пасажирського туристичного кластеру

## Масив спостережень

Масив спостережень.		Належність до кластерів	
Номер спостереження	Найменування	Кластер	Відстань від центру
1	Harmony of the Seas	5	1239,339
2	MSC Grandiosa	2	,000
3	MS Oosterdam	3	27317,886
4	MS Eurodam	4	24056,570
5	Symphony of the Seas	5	,000
7	Costa Smeralda	6	,000
8	Allure	5	2741,281
9	Eurodam	4	18261,260
10	Coral Princess	4	19189,230
11	Island Princess	4	18244,264
12	MS Rotterdam	4	10446,303
13	MSC Bellissima	1	21002,441
14	Holland America	3	6142,874
15	Celebrity,	3	6838,487
16	Norwegian Sky a	3	15040,908
17	Sea Princess	3	22432,452
18	MS Rossia	3	14017,450
19	MS Douro Splendour	3	14016,826
20	River Princess s	3	24016,890
22	Viking	3	8001,131
23	Pacific Princess	3	24204,768
24	Stella Maris	1	6247,000
25	Al Lusail	1	6247,330
27	Adonia	3	24727,273
28	Carnival Glory	4	,000
29	Carnival Dream	4	17995,246
30	Discovery Princess	3	,000
31	Oceania Marina	3	8015,011
32	Oceania Sirena cruiz	3	6079,712
33	Oceania Sirena	3	21222,639

як основи цінової політики компанії. У статті зроблена спроба продемонструвати, як можна диференціювати круїзні лінії та їх судна, використовуючи дані зі збірки Варду. Кластерний аналіз застосовується для визначення того, як ці судна відрізняються один від одного в маркетинговій стратегії. По-перше, у круїзному бізнесі домінують дві найбільші лінії (Carnival Cruise Line, Royal Caribbean), які отримують близько 75% загальної частки ринку пасажирів. По-друге, круїзні лінії пропонують круїзний досвід практично для кожного пасажиря:

- великі судна (Royal Caribbean, Carnival Cruise Line).
- маленькі (Seabourn).
- дуже нові (Royal Caribbean).
- старі (MSC, Carnival Cruise Line).

- рівень обслуговування та дуже високі оцінки обслуговування (Narag-Lloyd).

Круїзна індустрія у 2020 р. продовжує займати провідне місце в галузі стійкого морського туризму, подаючи приклад того, як міська влада, промисловість і місцеві спеціалізовані співтовариства можуть працювати разом, коли об'єднані спільною метою. Це дає можливість створювати кластери як географічну концентрацію взаємозв'язаних компаній і спеціалізованих постачальників круїзних послуг і пов'язаних із ними установ у цій галузі, які наявні в регіоні. Щоб морський туризм став прибутковим бізнесом, необхідно здійснювати його розвиток відповідно до нової парадигми конкурентоспроможності, яка ґрунтується на кластерному підході.

## Список літератури:

1. Vandenbosch M.B., Weinberg, C.B. Product and price competition in a two-dimensional vertical differentiation model. *Marketing Science*. № 14(2). P. 224–249. URL: <http://dx.doi.org/10.1287/mksc.14.2.224.1995> (дата звернення: 12.09.2021).
2. Cruise Market Ward D. The complete guide to cruising & cruise ships. Berlitz Publishing Company, London, UK, 2015.
3. Boehe D.M., Cruz L.B. Corporate social responsibility, product differentiation strategy and export performance. *Journal of Business Ethics*. 2010. № 91. P. 325–346. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10551-010-0613-z> (дата звернення: 12.09.2021).
4. Hosany S., Witham M. Dimensions of Cruisers' Experiences, Satisfaction and Intention to Recommend. *Journal of Travel Research*. 2010. № 49 (3). P. 351–364. URL: <http://dx.doi.org/10.1177/0047287509346859> (дата звернення: 12.09.2021).
5. Krugman P.R. Scale economies, product differentiation and the pattern of trade. *American Economic Review*. 2012. № 70. P. 950–959.
6. Holcombe R.G. Product Differentiation and Economic Progress. *The Quarterly Journal of Austrian Economics*. 2009. № 12 (1). P. 17–35.
7. Ward D. The complete guide to cruising & cruise ships. Berlitz Publishing Company, London, UK, 2011.
8. Шибяев А.Г., Сильванская Г.Н. Пассажи́рские перевозки : учебное пособие / под ред. д. т. н., проф. А.Г. Шибяева. Одесса : Феникс, 2013. С. 336.
9. White R.E. Generic business strategies, organizational context and performance: An empirical investigation. *Strategic Management Journal*. 1986. № 7 (3). P. 217–231. URL: <http://dx.doi.org/10.1002/smj.4250070304>. 1986 (дата звернення: 12.09.2021).
10. White R.E., Hamermesh, R.G. Toward a model of business unit performance: An integrative approach. *Academy of Management Review*. 1986. № 6. P. 213–223.
11. Gulliksen V. The cruise industry. *Society*. 2008. № 45. P. 342–344. URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12115-008-9103-7> (дата звернення: 12.09.2021).
12. Head K., Reis J. Increasing returns versus national product differentiation as an explanation for the pattern of U.S. Canada trade. *American Economic Review*. 2001. № 91 (4). P. 858–876. URL: <http://dx.doi.org/10.1257/aer.91.4.858> (дата звернення: 12.09.2021).
13. Garrow L., Ferguson M., Keskinocak P., Swann J. Expert opinions: Current pricing and revenue management practice across U.S. industries. *Journal of Revenue and Pricing Management*. 2006. № 5 (3). P. 237–247. URL: <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.rpm.5160042> (дата звернення: 12.09.2021).
14. Ward D. The complete guide to cruising & cruise ships. Berlitz Publishing Company, London, UK, 2011.
15. Farakhutdinov Sh.F., Bushuyev A.S. Processing and Analysis of Sociological Research Data in the SPSS 17.0 Package. Course of lectures : tutorial. Tyumen : TyumSOGU, 2011. 220 p.
16. Cruise Market Watch STATE OF THE CRUISE INDUSTRY OUTLOOK. 2021. URL: <https://www.cruisemarketwatch.com/market-share/> (дата звернення: 12.09.2021).

### Silvanskaya H.N., Karp G.V. CLUSTER ANALYSIS AS A TOOL TO SEGMENTATION CRUISE LINES

*International nautical tourism as one of the most dynamic sectors of the world economy has a significant impact on other sectors of the economy. According to the estimates of the World Tourism Organization (UNWTO) – the largest international organization, functioning in the tourism industry is closely linked and influences the development of 32 sectors of the national economy. Cruise business – a big business, which is growing rapidly and consists of 67 cruise lines, which operate 423 ships.*

*In 2020–2021yy over 29 million passengers will have taken the cruise lines. Identifying the factors of influence on the passenger segment of the cruise market this is one of the largest attention point of companies in the international market of passenger transportation. Direct contribution to the world economy from passenger traffic, namely from the cruise business and maritime tourism in 2020y amounted to \$ 126 billion. This contribution is one of the main drivers of growth of economic progress. The key factors contributing to the growth of world cruise industry are globalization, the formation of a new route network of sea cruises, the construction of liners of great tonnage and passenger capacity with a maximum range of services on board, construction of ships of smaller size, but with increased comfort, construction of special yachts. In addition, the construction of large mega-liners and passenger piers adhere to the attention of customers who want to buy a trip to the cruise. This has a positive effect on the consolidation of production, which itself contributes to economy of scale, resulting in lower prices for cruises, becoming more affordable to the consumer. These measures contribute to the penetration of cruise industry in the heart of the international tourism market.*

*This study examines and describes how cruise ships are differentiated in practice by means of cluster analysis. In this way, the purpose of this work is to identify the methods used by cruise line operators to differentiate their products.*

*We used cluster analysis to identify the factors that influence the formation of the price selling segment or cruise class. Established the factors for which the passenger ships differ from one another. As a result of the analysis the main factors were identified due to which the cruise lines differentiate their services. These results are of primary importance for the formation of pricing policy and customer service in the industry of cruise lines, determination of the class of the cruise.*

*This article is intended to demonstrate how you can differentiate between cruise lines and their ships, using data from the method Ward. Cluster analysis is used to determine how these ships differ from one another. How this is used by marketing strategies for clear identification of passenger tourism cluster, which leads to the determination of pricing policy of the company.*

**Key words:** *nautical tourism, cruise line, segmentation of tourist product, cluster analysis, competitiveness, method Ward.*

УДК 656:504

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/39>**Трофименко І.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Урум Н.С.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Рященко О.І.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Іваненко В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ФОРМУВАННЯ ЕФЕКТИВНИХ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ДЛЯ УСУНЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕКОЛОГІЮ

У статті проведено огляд сучасних пропозицій щодо формування ефективних управлінських рішень для усунення негативного впливу морського транспорту на екологію для подальшого зменшення або виключення цього впливу, оскільки морський транспорт, як і раніше, завдає значного негативного впливу на морське середовище, включаючи забруднення повітря, викиди парникових газів, викиди баластної води, розливи нафти і хімікатів, викиди сухих сипучих вантажів, сміття, підводне шумове забруднення, удари суден по морській фауні, ризики посадки на мілину або затоплення суден, а також широкомасштабне забруднення портів відкладеннями під час перевалки або демонтажу суден. Тому одним із важливих підходів для запобігання впливу морського транспорту на навколишнє середовище і для забезпечення стійкості морської галузі є використання відповідних управлінських рішень. У статті зазначається, що при розгляданні практики управління навколишнім середовищем у суднопластві всі рішення з управління щодо усунення негативного впливу морського транспорту на екологію пропонуються висловлювати як сукупність певних управлінських дій, а саме: виконання заходів щодо заохочення й нагородження судновласників; визначення правил регулювання суднопластва й забезпечення їх дотримання; реалізація технологічних рішень у галузі охорони екології та навколишнього середовища; прояв регіональних і міжнародних ініціатив, спрямованих на усунення негативного впливу на екологію.

Таким чином, сьогодні актуальним є завдання дослідження ефективних управлінських рішень для усунення негативного впливу морського транспорту на екологію.

Результатом роботи є систематизація визначеної проблеми й аналітичний огляд ефективних управлінських рішень для усунення негативного впливу морського транспорту на екологію з урахуванням сучасних тенденцій у відповідній галузі.

**Ключові слова:** морський транспорт, екологія, управлінське рішення, нормативні правила, суднопластво, судновласник, навколишнє середовище.

**Постановка проблеми.** Морські перевезення є найважливішою рушійною силою світової торгівлі. Засоби водного транспорту щорічно переміщують по морях світу понад 10 млрд тонн контейнерів, твердих і наливних вантажів. Історично склалося так, що судноплавні компанії й порти працювали з обмеженим наглядом за навколишнім середовищем. Але випадкові розливи нафти в 1960-х роках викликали широкомасштабне забруднення прибережних районів. Це, у свою чергу, призвело до необхідності розробки низки нормативних документів для врегулювання відповідної проблеми.

Проте морський транспорт, як і раніше, завдає значного негативного впливу на морське середовище, включаючи забруднення повітря, викиди парникових газів, викиди баластної води, розливи нафти й хімікатів, викиди сухих сипучих вантажів, сміття, підводне шумове забруднення, удари суден по морській фауні, ризики посадки на мілину або затоплення суден, а також широкомасштабне забруднення портів відкладеннями під час перевалки або демонтажу суден.

Одним із важливих підходів для запобігання впливу морського транспорту на навколишнє

середовище й для забезпечення стійкості морської галузі є використання відповідних управлінських рішень. Управлінське рішення – це найважливіший вид управлінської праці, а також сукупність взаємопов'язаних, цілеспрямованих і логічно послідовних управлінських дій, які забезпечують реалізацію управлінських завдань [1–6]. Управлінське рішення передусім як творча, вольова дія суб'єкта управління, яка ґрунтується на знанні об'єктивних законів у сфері функціонування керованої системи й аналізі інформації про її функціонування. Ця дія полягає у виборі мети, програми та способів діяльності колективу у сфері вирішення проблеми або у сфері зміни мети. Таким чином, сьогодні актуальним є завдання дослідження ефективних управлінських рішень для усунення негативного впливу морського транспорту на екологію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Загальні питання класифікації управлінських рішень, вимог, що висуваються до управлінських рішень, умови, за яких виробляються якісні управлінські рішення, та ефективності управлінських рішень розглянуто в роботах [1–6]. Праці [7–12] присвячені дослідженням окремих питань впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища, у тому числі й негативного. Деякі спеціалізовані міжнародні нормативні джерела щодо упорядкування питань впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища визначено в документах [13–16].

**Постановка завдання.** Завданням статті є огляд сучасних пропозицій щодо формування ефективних управлінських рішень для усунення негативного впливу морського транспорту на екологію для подальшого зменшення або виключення цього впливу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Морський транспорт завдає негативного впливу на екологію і навколишнє середовище. Заходи щодо зменшення наслідків цих впливів мають вирішальне значення для захисту екології та навколишнього середовища, особливо морського. Такими заходами повинні бути передусім управлінські рішення щодо формування ефективних управлінських рішень для усунення негативного впливу морського транспорту на екологію.

З урахуванням практики управління навколишнім середовищем у судноплавній галузі управлінські рішення щодо усунення негативного впливу морського транспорту на екологію пропонується розглядати як сукупність таких управлінських дій (рис. 1) [1; 7–9]:

- визначення правил регулювання судноплавства й забезпечення їх дотримання;
- реалізація технологічних рішень у галузі охорони екології та навколишнього середовища;
- прояв регіональних і міжнародних ініціатив, спрямованих на усунення негативного впливу морського транспорту на екологію;
- виконання заходів щодо заохочення й нагородження судновласників, які спонукають їх до екологічно безпечного або екологічного судноплавства;

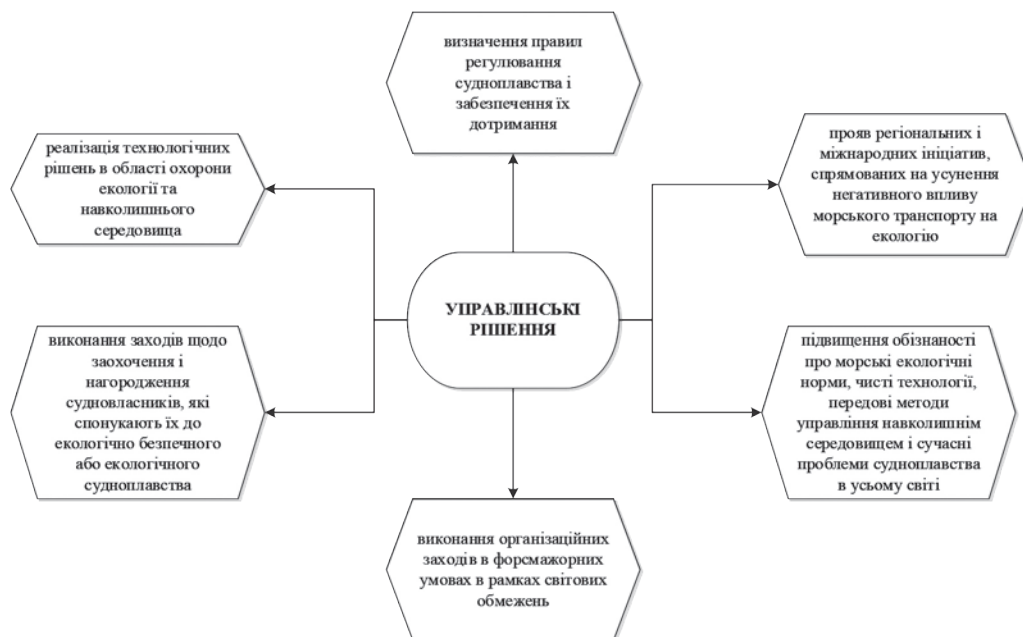


Рис. 1. Сукупність управлінських рішень щодо усунення негативного впливу морського транспорту на екологію



– підвищення обізнаності про морські екологічні норми, чисті технології, передові методи управління навколишнім середовищем і сучасні проблеми судноплавства в усьому світі;

– виконання організаційних заходів у форс-мажорних умовах у рамках світових обмежень.

Регулювання судноплавства за допомогою законодавства є одним із ключових управлінських рішень, які на практиці використовуються в усьому світі для запобігання негативному впливу морських перевезень на навколишнє середовище. Законодавство, спрямоване на захист навколишнього середовища, пов'язане з експлуатацією та управлінням портовими спорудами й морськими транспортними компаніями.

Одним із фундаментальних законодавчих документів на міжнародному рівні є Міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню із суден (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) 73/78), прийнята під егідою Міжнародної морської організації (далі – ІМО) у 1973 році [13–16]. У 1978 році прийнятий Протокол, що доповнює Конвенцію. MARPOL 73/78 – міжнародна конвенція, яка передбачає комплекс заходів щодо запобігання експлуатаційному і транскордонному забрудненню моря суднами з нафтою, рідкими речовинами у великих кількостях, шкідливими речовинами в упаковці, стічними водами тощо.

Судноплавна галузь регулювалася ІМО на міжнародному рівні протягом останніх чотирьох десятиліть із MARPOL. MARPOL 73/78 і зараз залишається основним правовим інструментом для запобігання забрудненню із суден. Але цей законодавчий документ застосовується лише до держав, які є учасниками MARPOL. Сьогодні більше 155 країн ратифікували Конвенцію. Останнім часом розроблені додаткові правові інструменти для зменшення забруднення морського середовища судноплавством. Зокрема, до таких документів можна віднести Міжнародну конвенцію про контроль за шкідливими небростаючими матеріалами, Конвенцію про управління баластними водами, Гонконгську міжнародну конвенцію про безпечну й екологічно обґрунтовану утилізацію суден і Найробійську міжнародну конвенцію про видалення затонулих суден.

Для більшої ефективності правила ІМО необхідно застосовувати в глобальному масштабі. Наприклад, правила ІМО щодо викидів в атмосферу застосовуються до зони регульованих викидів (emission control area (ECA)), за винятком найбільших портів світу в Азії (рис. 2).

Зона регульованих викидів – обмежена акваторія Світового океану, при знаходженні в якій

судна повинні дотримуватися вимог до змісту забруднюючих речовин (сірка, оксиди вуглецю, оксиди азоту, частки) у судовому паливі або відпрацьованих газах корабельних двигунів.

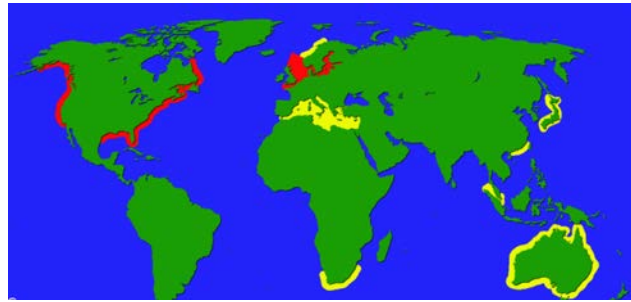


Рис. 2. Зони регульованих викидів MARPOL (червоний колір – наявні, жовтий – перспективні)

До 2050 року очікується збільшення викидів в портах Азії й Африки через економічне зростання та невиконання правил ЕСА. МЕРС ІМО взяв на себе відповідальність за прийняття пом'якшувальних заходів щодо скорочення викидів в атмосферу, включаючи EEDI, SEEMP і GHG, а також поправки, пов'язані з паливною економічністю в рамках Додатку VI до Конвенції MARPOL. Однак нині немає ніяких санкцій, що накладаються безпосередньо ІМО за недотримання норм викидів; це відповідальність тільки окремих сторін MARPOL.

Визначення правил регулювання судноплавства – не єдине управлінське рішення, спрямоване на забезпечення стійкості морського транспорту. Потрібні технічні рішення для поліпшення охорони навколишнього середовища. Деякі експерти вважають судноплавну галузь лідером у галузі екологічно чистих технологій. І ця галузь має величезний потенціал для впровадження зелених технологій. Вона вже тепер має доступ до деяких передових технологій, таких як енергоефективні двигуни, системи перетворення енергії, композитний корпус, зріджений природний газ (ЗПГ), системи для роботи безбаластної води, скрубери, опори для вітрил або допоміжні силові установки. Однак технічні рішення для суден із нульовим рівнем викидів (наприклад, надповільний рух, бортове перетворення енергії і безбаластовий композитний корпус) та альтернативні види судового палива (наприклад, ЗПГ і метанол) вимагають подальшого вивчення для полегшення навантаження на морське середовище через використання водного транспорту.

Відповідні регіональні й міжнародні програми також допомагають знизити вплив морського транспорту на навколишнє середовище. Ініціативи,

ужиті європейською організацією морських портів (European Sea Ports Organisation (ESPO)), є регіональною ініціативою, яка допомогла багатьом європейським портовим владам поліпшити екологічні показники портів. ESPO дуже впливає на сприяння судноплавним компаніям у створенні стійкої галузі в європейських країнах. Наприклад, у рамках проекту ESPO ECOPORTS (2002–2005) розроблено метод самодіагностики (SDM). Він являє собою контрольний список, який дає змогу портам виявляти екологічні ризики й установлювати пріоритети для дій. PERS, розроблений ESPO, є ще одним прикладом регіональних зусиль, які є єдиним стандартом екологічного менеджменту для портового сектора. Багато європейських портів уже прийняли системи показників екологічних характеристик, такі як ECOPORTS, PERS, що націлені на стійке управління портами.

До недавнього часу морські компанії в Північній Америці працювали без скоординованої стійкої структури. Для зменшення потенційного впливу на навколишнє середовище морські компанії в Північній Америці недавно прийняли програму добровільної сертифікації, спрямовану на скорочення їхнього впливу на навколишнє середовище для досягнення більшої стійкості, крім дотримання нормативних вимог. Так, програма «Зелена морська екологія» (GMEP) заснована у 2007 році для морських компаній Північної Америки.

Морські компанії в Азії, яка є одним із провідних регіонів використання морського транспорту, відстають у реакції на стійкі морські перевезення порівняно з Європою і Північною Америкою. До сих пір в азіатському регіоні не розроблено скоординованих рамок сталого управління портами, за винятком кількох часткових прикладів скоординованих проектів і програм сталого розвитку портів.

Забезпечення стимулів шляхом зниження портових зборів із суден і/або надання «зелених» суден – ще одне управлінське рішення, покликане спонукати судовласників до екологічно безпечного або екологічного судноплавства. У рамках програми екологічного стимулювання (наприклад, програми Eco Action Port Metro Vancouver) адміністрація порту знижує портові збори або нагороджує судна залежно від виконання екологічних заходів. Екологічні заходи для суден – це, наприклад, використання більш чистого палива (наприклад, ЗПГ, природний газ або біодизель), упровадження ефективних технологій для суден і двигунів (наприклад, берегова енергія, скрубер, зниження підводного шуму або рециркуляція вихлопних газів), будь-які інші заходи з охорони

довкілля, затверджені відповідними портовими властями. Заохочення й нагороди варіюються від порту до порту. Наприклад, порт Буенос-Айрес в Аргентині, порт Монреалю в Канаді, порт Гент у Бельгії та адміністрація порту Нагоя в Японії надають 10% знижку на портові збори, а порт Роттердам у Нідерландах надає знижку 30% суден внутрішнього плавання з найвищими показниками характеристик головних двигунів у рамках програми сертифікації Green Award.

Підвищення обізнаності про морські екологічні норми, чисті технології, передові методи управління навколишнім середовищем і сучасні проблеми судноплавства в усьому світі – ще одне важливе рішення для управління. Підвищення обізнаності серед судноплавних компаній необхідно для розуміння важливості вжиття запобіжних заходів щодо захисту морського середовища та запобігання майбутнім проблемам. З огляду на це значення, Кодекс Міжнародної конвенції ІМО 1978 року про стандарти підготовки, дипломування й несення вахти (STCW), переглянутий у 2010 році, містить нові вимоги до навчання обізнаності про морське середовище. Відповідно з переглянутим Кодексом STCW, морський персонал повинен мати спеціальну підготовку на певних типах суден.

Заходи щодо забезпечення готовності й реагування, що запобігають наслідкам небажаних подій і можливим проблемам, пов'язаним із морськими перевезеннями, є важливим результатом підвищення обізнаності, від якого судноплавна галузь може отримати вигоду для захисту морського середовища. Наприклад, заходи готовності й реагування, прийняті нафтовою та судноплавною галузями, а також урядами морських країн-учасниць, знизили кількість інцидентів з розливами нафти наприкінці 2000-х років до однієї п'ятої порівняно з 1970-ми роками (основні джерела надходження нафтових вуглеводнів в океан показані в таблиці 1).

Таблиця 1  
Основні джерела надходження нафтових вуглеводнів в океан

№	Джерело	млн т/рік
1	Морське транспортування (крім аварійних розливів)	1,83
2	Аварійні розливи	0,3
3	Річковий стік	1,9
4	Стокові води прибережної зони	0,8
5	Атмосферні випадки	0,6
6	Природні нафтові свердловини	0,6
7	Добуток нафти в морі	0,08
8	Усього	6,11

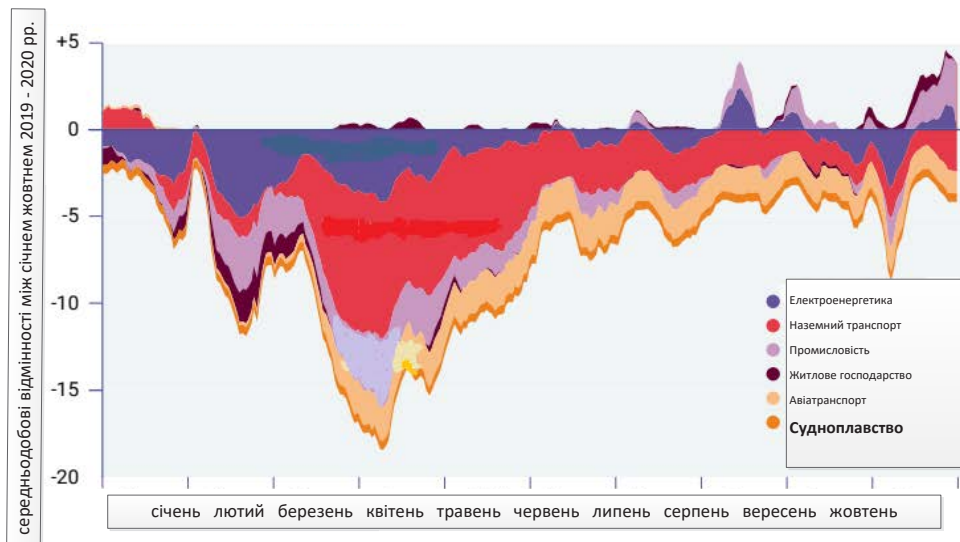


Рис. 3. Скорочення рівня викидів у 2020 році порівняно з 2019 роком у результаті введення режиму карантину й самоізоляції під час пандемії COVID-19

Останніми роками ще одним важливим рішенням для управління є виконання організаційних заходів у форсмажорних умовах у рамках світових обмежень. Так, наприклад, очікується, що загальне уповільнення темпів економічного зростання через пандемію COVID-19 і пов'язаних із нею заходів реагування, спрямованих на порятунок життя людей і відновлення економіки, до 2030 року призведе до значного скорочення глобальних викидів порівняно зі сценарієм на основі чинної політики, прийнятої до кризи COVID-19 (рис. 3).

При цьому необхідно відзначити, що в загальному випадку ефективність управлінського рішення визначається за такими параметрами: рішення виходить із реальних цілей, для здійснення рішення є необхідна кількість часу й ресурси, його можна застосувати до конкретних умов середньостатистичної організації, задалегідь продумані ризикові ситуації, рішення по прогнозах не створює конфліктні ситуації, урахується можливість змін у діловому й фоновому оточенні управлінського рішення, воно дає можливість у плані здійснення контролю виконання [6].

**Висновки.** Нормативні акти та правозастосовні заходи застосовуються на національному, регіональному й міжнародному рівнях як важливе управлінське рішення для запобігання впливу морського транспорту на навколишнє середовище й забезпечення стійкості морської галузі.

Правила ІМО відіграли потенційно важливу роль на міжнародному рівні. Однак правила й керівництва ІМО в основному мають добровіль-

ний характер і тільки рекомендується, щоб вони стали обов'язковими. Нормативні акти та забезпечення дотримання – не єдині управлінські рішення для контролю морських перевезень. За відсутності технологічних рішень нормативні акти й механізми забезпечення дотримання можуть виявитися неефективними, щоб змусити судноплавну галузь дотримуватися законів, керівних принципів і стандартів.

Разом із тим судноплавна галузь вважається лідером в галузі чистих технологій. Регіональні та міжнародні ініціативи сприяють формуванню морської індустрії. Для направлення судноплавної галузі до стійкого судноплавства заохочення й нагородження суден, портів, морських терміналів за їх найкращі екологічні показники можуть бути ефективними рішеннями поряд із нормативними правилами, регіональними та міжнародними ініціативами.

Поінформованість судноплавної галузі необхідна для розгляду впливу судноплавства на навколишнє середовище, морських правил, технологічних варіантів рішення, прикладів передової практики, сучасних проблем, а також для завчасного вжиття заходів щодо забезпечення готовності й реагування.

Особливістю останніх років є наявність світових проблем, які необхідно теж враховувати у вирішенні питань запобігання впливу морського транспорту на навколишнє середовище, наприклад, скорочення загального рівня викидів у результаті введення режиму карантину й самоізоляції під час пандемії COVID-19.

**Список літератури:**

1. Лазарев В.Н. Управленческие решения. Ульяновск : УлГТУ, 2011. 56 с.
2. Киржнер Л.А., Киенко Л.П. Менеджмент организаций. Москва : КНТ, 2009. 688 с.
3. Злобина Н.В. Управленческие решения : учебное пособие. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. 80 с.
4. Лукичева Л.И. Управленческие решения. Москва : Омега, 2009.
5. Вахрушина М.А. Управленческий анализ. Москва : Омега-Л, 2010. 399 с.
6. Asariotis R., Benamara H., Hoffmann J., Premti A., Valentine V., Youssef F. 2016. Review of Maritime Transport 2016. URL: [http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016\\_en.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016_en.pdf).
7. Bailey S.A., Chan F.T., MacIsaac H.J. Relative importance of vessel hull fouling and ballast water as transport vectors of non indigenous species to the Canadian arctic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2015. № 72 (8). P. 1230–1242.
8. Butt N. The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy*. 2007. № 31 (5). P. 591–598.
9. Economic and environmental perspectives of end-of-life ship management / J.K. Choi, D. Kelley, S. Murphy, D. Thangamani. *Resources, Conservation and Recycling*. 2016. № 107. P. 82–91.
10. Davidson I.C., Simkanin C. The biology of ballast water 25 years later. *Biological Invasions*. 2012. № 14 (1). P. 9–13.
11. Iliyas F., Mohan K. Onshore preparedness for hazardous chemical marine vessels accidents: A case study. *Journal of Disaster Risk Studies*. 2016. № 8 (1). P. 1–7.
12. IMO, 2014. *Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life*. 21st ASCOBANS Advisory Meeting, MEPC.1/Circ.833. URL: [http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC21\\_Inf\\_3.2.1\\_IMO\\_NoiseGuidelines.pdf](http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC21_Inf_3.2.1_IMO_NoiseGuidelines.pdf).
13. IMO (2015a). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). URL: <http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-%28MARPOL%29.aspx>.
14. IMO (2017a). Introduction to IMO. URL: <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>.
15. IMO (2017b). Prevention of air pollution from ships. URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>.

**Trofymenko I.V., Urum N.S., Riashchenko O.I., Ivanenko V.V. PROPOSALS FOR FORMING EFFECTIVE MANAGEMENT DECISIONS TO REMOVE THE NEGATIVE IMPACT OF MARITIME TRANSPORT ON THE ECOLOGY**

*The article reviews current proposals for the formation of effective management decisions to eliminate the negative impact of maritime transport on the environment to further reduce or eliminate this impact. As maritime transport continues to have a significant negative impact on the marine environment, including air pollution, greenhouse gas emissions, ballast water emissions, oil and chemical spills, dry bulk cargo emissions, debris, underwater noise pollution, ship-to-sea impacts fauna, the risks of stranding or sinking of ships, as well as large-scale pollution of ports with sediments during transshipment or dismantling of ships. Therefore, one of the important approaches to prevent the impact of maritime transport on the environment and to ensure the sustainability of the maritime industry is the use of appropriate management decisions. The article notes that when considering the practice of environmental management in shipping, all management decisions to eliminate the negative impact of maritime transport on the environment are proposed to be expressed as a set of certain management actions, namely: implementation of measures to encourage and reward shipowners; determination of rules of navigation regulation and ensuring their observance; implementation of technological solutions in the field of ecology and environment protection; manifestation of regional and international initiatives aimed at eliminating the negative impact on the environment, etc.*

*Thus, at present, the task of researching effective management decisions to eliminate the negative impact of maritime transport on the environment is relevant.*

*The result is a systematization of the identified problem and an analytical review of effective management decisions to eliminate the negative impact of maritime transport on the environment, taking into account current trends in the field.*

**Key words:** maritime transport, ecology, management decision, normative rules, navigation, shipowner, environment.

УДК 621.433

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/40>**Урум Н.С.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Ліганенко В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Ткаченко В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Рященко О.І.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗПИЛЮВАННЯ ПАЛИВА ДИЗЕЛЬНИМИ ФОРСУНКАМИ

У роботі висвітлено енергетичні й екологічні характеристики суднових дизелів, які в більшості випадків залежать від якості сумішоутворення. Варто зазначити, що сьогодні в транспорті більшою мірою використовуються камери згорання об'ємно-плівковим та з об'ємним сумішоутворенням. Сучасні суднові дизелі відрізняє велика розмаїтість конструкцій і наявність додаткових механізмів, що, у свою чергу, збільшують механічні втрати та значно підвищують витрати палива. Щоб при порівнянні енергетичної ефективності ці механічні втрати не враховувати, у статті будемо використовувати індикаторні показники.

Акцентується увага на тому, що найбільш ефективними способами вдосконалення робочого процесу суднового дизеля є зменшення розміру краплі палива та інтенсифікація процесу обдуву краплі палива з газовим середовищем. Перший напрям здійснюється за допомогою підвищення тиску впорскування, а другий спосіб – додатковим збурюванням повітряного заряду в камері згорання. Найбільш достовірними є характеристики, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень. Розглянуто чисельне дослідження характеристик розпилювання палива дизельними форсунками при тисках упорскування від 50 до 300 МПа. Отримано значення сумарних і диференціальних характеристик розпилювання, що дають змогу визначити діаметр крапель палива в досліджуваному діапазоні тисків.

Таким чином, результати експериментального дослідження параметрів мікросумішоутворення при високих тисках впорскування палива можуть виявитися недостовірними. Тому для визначення характеристик розпилювання палива для сучасних транспортних дизелів, у яких застосовуються високі тиски впорскування, скористалися залежностями, представленими в монографіях О.С. Лишевського. Ці формули, що отримані в результаті обробки значного масиву достовірних даних, є типовими й широко застосовуються для розрахунків процесу мікросумішоутворення.

Виконано аналіз основних параметрів паливних систем високого тиску дизельних двигунів. Відомості за величиною тиску упорскування й діаметра розпилюючих отворів зведені в таблицю.

**Ключові слова:** дизельний двигун, економічність, екологічність, робочі процеси суднового двигуна, тиск.

**Постановка проблеми.** Показником енергетичної ефективності суднових дизельних енергетичних установок (СДЕУ) є питома ефективна витрата палива.

Сучасні суднові дизелі відрізняє велика розмаїтість конструкцій і наявність додаткових механізмів, що, у свою чергу, збільшують механічні втрати й значно підвищують витрати палива. Щоб при порівнянні енергетичної ефективності ці механічні втрати не враховувати, у статті будемо використовувати індикаторні показники.

Питома індикаторна витрата палива залежить тільки від якості здійснення робочого процесу

й кількості теплових втрат. Робочий процес у дизелі в загальному випадку можна представити у вигляді окремих складників, які є нерозривними, взаємозалежними та мають істотний взаємний вплив. До них відносяться процеси паливоподачі, сумішоутворення та згорання. Покращення характеристик цих процесів є важливим завданням в галузі суднобудування та експлуатації суднових енергетичних установок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розкриваючи тему статті, усі літературні джерела можна розділити на низку взаємопов'язаних груп:

– до першої групи джерел віднесемо роботи закордонних і вітчизняних авторів у галузі суднобудування (В.В. Андреев, А.М. Суслов, Г.А. Конкс);

– до другої групи джерел – роботи з теорії двигуна (Л.В. Грехов, Ю.Б. Свіридов, О.С. Лишевський);

– третя група робіт представлена дослідженнями з питань підвищення екологічності судових двигунів (С.А. Калашников, Р.В. Малов, Д.Д. Матієвський, В.І. Толшин).

Використання робіт зазначених авторів дало змогу провести дослідження характеристик розпилювання палива форсунками судового дизеля для підвищення його екологічності й економічності.

**Постановка завдання.** Завданням статті є дослідження характеристик розпилювання палива форсунками судового дизеля для підвищення його екологічності й економічності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Виробництво дизелів з розділеними камерами згоряння з початку двадцять першого століття припинено у зв'язку з підвищеною (на 20–25%) витратою палива.

При дослідженні об'ємного сумішоутворення процес отримання паливно-повітряної суміші умовно розділений на два складники – макросумішоутворення та мікросумішоутворення.

У макросумішоутворенні вивчаються процеси переносу краплі всередині струменя й по об'єму всієї камери згоряння. Тут визначаються параметри, які характеризують геометричні розміри та швидкість розвитку паливного струменя.

У мікросумішоутворенні досліджуються властивості, пов'язані з якістю паливно-повітряної суміші. Тут визначаються характеристики розпилювання, до яких відносяться дисперсність та однорідність.

Основним напрямом комплексного покращення економічних та екологічних характеристик дизелів є збільшення тиску впорскування палива. У паливних системах типу Common rail тиск впорскування становить 200–250 МПа й вище [2].

Дослідимо характеристики розпилювання палива дизельними форсунками при різних тисках впорскування.

Найбільш достовірними є характеристики, отримані в результаті проведення експериментальних досліджень. Однак вивчення тонко розпилених струменів, що складаються з крапель діаметром 25–30 мкм та менше, супроводжується великими похибками.

На точність експериментального методу дослідження впливають такі фактори:

– складність отримання надійних фотореєстрацій краплі палива, що знаходиться всередині струменя;

– труднощі отримання рівномірної швидкості осадження краплі в процесі впорскування палива при високих тисках;

– у процесі осідання на закопчену пластинку відбувається злипання дрібних крапель унаслідок різних швидкостей руху;

– при уловлюванні крапель на закопчену пластину може відбуватися їх відскакування і вторинне дроблення;

– зерниста структура кіптяви, нанесеної на закопчену пластинку, не дає змоги виміряти краплі, діаметр яких менше часток сажі;

– при дослідженні якості розпилювання седиметричним методом (оцінка дисперсності за швидкістю осідання під дією сили ваги) відзначено, що не всі краплі діаметром 4–5 мкм досягають вимірювального пристрою. Помилка вимірів може досягати 16% і більше [5].

Узагальнюючи, необхідно відзначити, що використання звичайних мікроскопів не дає можливості вимірювати краплі діаметром менш 5 мкм, у зв'язку з тим що їх розмір стає меншим за довжину світлової хвилі.

Таким чином, результати експериментального дослідження параметрів мікросумішоутворення при високих тисках впорскування палива можуть виявитися недостовірними. Тому для визначення характеристик розпилювання палива для сучасних транспортних дизелів, у яких застосовуються високі тиски впорскування, скористаємося залежностями, представленими в монографіях О.С. Лишевського [6]. Ці формули, отримані в результаті обробки значного масиву достовірних даних, є типовими й широко застосовуються для розрахунків процесу мікросумішоутворення.

Виконаємо аналіз основних параметрів паливних систем високого тиску дизельних двигунів.

Відомості за величиною тиску впорскування й діаметра розпилюючих отворів зведено в таблицю 1.

Таблиця 1  
Характеристики паливної апаратури систем високого тиску

Тиск впорскування, МПа	Діаметр розпилюючого отвору, мм
50	0,4
100	0,3
150	0,2
200	0,18
250	0,15
300	0,14

З даних, наведених у таблиці 1, видно, що зі збільшенням тиску впорскування застосовуються розпилювачі з меншим діаметром розпилюючих отворів.

На рисунку 1 представлена графічна залежність між величиною тиску впорскування й розміром розпилюючого отвору відповідно до даних, які наведені в таблиці 1. Аналітично, графічна залежність, зображена на рисунку 1, представлена формулою:

$d_c(P) = 0,586 - 3,653 \cdot 10^{-3} P + 7,475 \cdot 10^{-6} \cdot P^2$ , (1)  
де  $d_c$  – діаметр розпилюючого отвору;  $P$  – тиск упорскування палива.

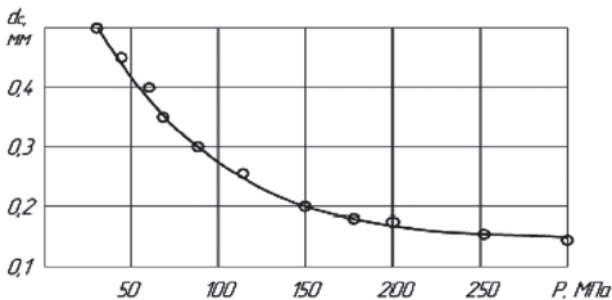


Рис. 1. Залежність між тиском палива в паливній системі високого тиску й розміром отвору в розпилювачі

Визначимо характеристики розпилювання палива в незбудженому повітряному середовищі без урахування процесу теплообміну.

Для розрахунку й аналізу дисперсності розпилювання палива дизельними форсунками скористаємося залежностями, які запропоновані Розінім і Раммлером [4; 7].

Вихідна формула має вигляд:

$$\Omega = 1 - e^{-\left(\frac{z}{a_m}\right)^n}, \quad (2)$$

де  $\Omega$  – відношення об'єму крапель від мінімального до цього діаметра  $z$  до сумарного об'єму всіх крапель;  $a_m$  – постійна розміру в рівнянні Розіна-Раммлера;  $z$  – поточний діаметр краплі;  $n$  – показник неоднорідності розпилення.

Чисельні дослідження характеристик розпилювання виконані з використанням інформаційних технологій за методикою, представленою в праці [7]. На рисунку 2 наведена сумарна, а на рисунку 3 диференціальна характеристика розпилювання при різних тисках впорскування.

Розрахунки проводилися при таких умовах:

- щільність палива  $\rho_2 = 852 \text{ кг/м}^3$ ;
- кінематична в'язкість палива  $\gamma = 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;
- тиск повітря  $P_2 = 0,13 \text{ МПа}$ .

На рисунку 2 позначено:  $\Omega$  – відношення об'єму краплі, що має діаметри від мінімального до даного, до сумарного об'єму всіх крапель;  $d_k$  – діаметр крапель.

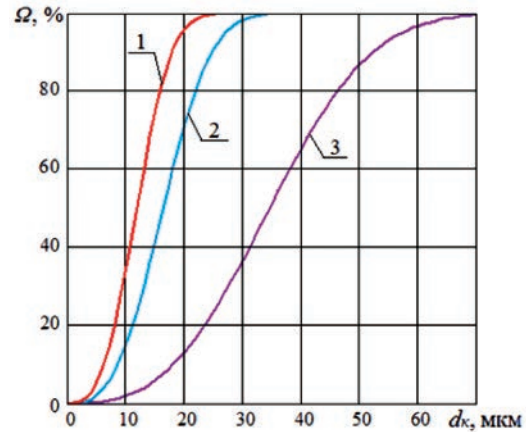


Рис. 2. Сумарна характеристика розпилювання: 1 – тиск впорскування 300 МПа, 2 – 150 МПа, 3 – 50 МПа

На рисунку 3 позначено:  $\frac{d\Omega}{dd_k} \%$  – щільність розподілу ймовірності отримання краплі цього діаметра.

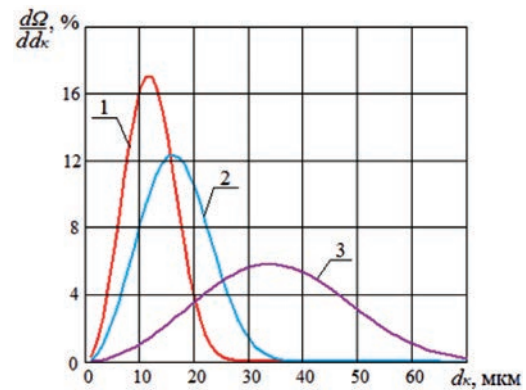


Рис. 3. Диференціальна характеристика розпилювання: 1 – тиск впорскування 300 МПа, 2 – 150 МПа, 3 – 50 МПа

З рисунків 2 та 3 видно, що з підвищенням тиску палива розпилювання стає тонше й однорідніше, що забезпечує більш якісне мікросумішоутворення.

**Висновки.** Аналіз збудженого стану газового середовища в камері згоряння суднових дизелів свідчить, що одночасно з осередненим обертальним рухом у циліндрі збуджуються пульсації широкого спектра частот.

У результаті розрахунку встановлено, що найбільш потужними і стійкими пульсаціями в циліндрах суднових дизелів є поперечні радіальні й тангенціальні газодинамічні коливання з частотою в діапазоні від 800 до 10 000 Гц.

Проведено чисельне дослідження характеристик розпилювання палива дизельними форсунками при тисках упорскування від 50 до 300 МПа. Отримано значення сумарних і диференціальних характеристик розпилювання, що дають змогу визначити діаметр крапель палива в досліджуваному діапазоні тисків.

Список літератури:

1. Конкс Г.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта. Москва : Машиностроение, 2005. 502 с.
2. Андреев В.В. Общая технология судостроения. Ленинград : Судостроение, 1984. 184 с.
3. Суслов А.Н. Внедрение CALS-технологий в судостроении. *Судостроение*. 2001. № 6. С. 61–64.
4. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. Москва : Легион-Автодата, 2005. 344 с.
5. Свиридов Ю.Б. Смесеобразование и сгорание в дизелях. Ленинград : Машиностроение, 1972. 220 с.
6. Лышевский А.С. Распыливание топлива в судовых дизелях. Ленинград : Судостроение, 1971. 245 с.
7. Калашников С.А. Экологически безопасные технологии на водном транспорте. Новосибирск : Сиб. гос. универ. водн. трансп., 2016. 241 с.
8. Толшин В.И. Оценка характера изменения концентрации NOx при рециркуляции отработавших газов дизеля. *Двигателестроение*. 2002. № 1. С. 32–34.

**Urum N.S., Lihanenko V.V., Tkachenko V.V., Riashchenko O.I. STUDY OF DIESEL FUEL SPRAYING CHARACTERISTICS**

*The paper highlights the energy and environmental characteristics of marine diesels, which in most cases depend on the quality of the mixture. It is worth noting that today in transport combustion chambers with volume film and with volume mixing are used more. Modern marine diesels are characterized by a great variety of designs and the presence of additional mechanisms, which, in turn, increase mechanical losses and significantly increase fuel consumption. In order to compare these energy losses when comparing energy efficiency, we will use indicator indicators in the article.*

*Emphasis is placed on the fact that the most effective ways to improve the working process of marine diesel are to reduce the size of a drop of fuel and intensify the process of blowing a drop of fuel with a gaseous medium. The first direction is carried out by increasing the injection pressure, and the second method by additional perturbation of the air charge in the combustion chamber. The most reliable are the characteristics obtained as a result of experimental studies. A numerical study of the characteristics of fuel spraying by diesel injectors at injection pressures from 50 to 300 MPa is considered. The values of the total and differential characteristics of the spray are obtained, which allow to determine the diameter of the fuel droplets in the investigated pressure range.*

*Thus, the results of the experimental study of the parameters of micromixing at high fuel injection pressures may be inaccurate. Therefore, to determine the characteristics of fuel spraying for modern transport diesels, which use high injection pressures, used the dependences presented in the monographs of OS Lyshevsky. These formulas, which were obtained by processing a large array of reliable data, are typical and widely used to calculate the process of micromixing.*

*The analysis of the main parameters of high pressure fuel systems of diesel engines is performed. Information on the magnitude of the injection pressure and the diameter of the spray holes were summarized in the table.*

**Key words:** diesel engine, economy, ecological friendliness, working processes of ship engine, pressure.



УДК 656:504

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/41>**Урум Н.С.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Трофименко І.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Рященко О.І.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Іваненко В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## КЛАСИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ ПРИЧИН НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ НА ЕКОЛОГІЮ І СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

У статті розглянуто питання визначення та класифікації основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища для подальшого зменшення або виключення цього впливу. Проведено опис класів і підкласів основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища, що є основою для подальшого формування управлінських рішень з підвищення ефективності екологічного впливу водних перевезень. При цьому зазначається, що найбільша причина впливу водного транспорту на навколишнє середовище – аварії. На судні може протікати власне паливо або інші важливі речовини або з резервуарів корабля можуть витікати небезпечні хімічні речовини, такі як сира нафта. З іншого боку, велика частина впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з водним транспортом, може бути зменшена за рахунок зниження інших транспортних витрат. Усунення непотрібних поїздок, збільшення розміру транспортних партій і зниження крейсерської швидкості можуть зменшити витрату палива та, як наслідок, забруднення навколишнього середовища. Також для зменшення кількості смертельних ударів суден можуть бути встановлені обмеження швидкості суден залежно від часу й району, зміни судноплавних шляхів за часом і районом, а також зони обов'язкового суднового повідомлення.

Проведено опис класів і підкласів основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища, що є основою для подальшого формування управлінських рішень з підвищення ефективності екологічного впливу водних перевезень.

Таким чином, нині актуальним є завдання дослідження основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища.

Результатом роботи є систематизація визначеної проблеми та класифікація основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища. Проведено опис класів і підкласів основних причин негативного впливу, що є основою для подальшого формування управлінських рішень з підвищення ефективності екологічного впливу водних перевезень.

**Ключові слова:** водний транспорт, судно, негативний вплив, екологія, навколишнє середовище, клас, підклас.

**Постановка проблеми.** Екологія (від древнього грецького οἶκος – житло, місце перебування і λόγος – учення) – це наука про взаємодію живих організмів між собою та з їх середовищем проживання. Це біологічна наука, що вивчає організацію та функціонування біосистем різних рівнів (популяції, спільноти, екосистеми тощо). Навколишнє середовище – узагальнене поняття, що характеризує природні умови деякої місцевості та її екологічний стан. Навколишнє середовище зазвичай розгляда-

ється як частина середовища, яка взаємодіє із цим живим організмом (людиною, твариною тощо), включаючи об'єкти живої й неживої природи.

Стрімкий розвиток технічного прогресу, прагнення підпорядкувати природу – усе це висунуло на перший план питання збереження екології та охорони навколишнього середовища. Водний транспорт традиційно вважався екологічно чистим і, таким чином, уникав строгих екологічних норм наземного транспорту. Однак у 2010-х рр. у

всьому світі введено багато нових заходів екологічного контролю за негативним впливом водного транспорту. Найбільша причина впливу водного транспорту на навколишнє середовище – аварії. На судні може протікати власне паливо або інші важливі речовини або з резервуарів корабля можуть витікати небезпечні хімічні речовини, такі як сира нафта. З іншого боку, велика частина впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з водним транспортом, може бути зменшена за рахунок зниження інших транспортних витрат. Усунення непотрібних поїздок, збільшення розміру транспортних партій і зниження крейсерської швидкості можуть знизити витрату палива та, як наслідок, забруднення навколишнього середовища тощо.

Отже, нині актуальним є завдання дослідження основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи [1–7] присвячені дослідженням окремих питань впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища, у тому числі й негативного. Окремо необхідно виділити спеціалізовані міжнародні нормативні джерела щодо упорядкування питань впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища [8–12].

**Постановка завдання.** Завданням статті є визначення та класифікація основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища для подальшого зменшення або виключення цього впливу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Історично склалося так, що судноплавні компанії і порти працювали з обмеженим наглядом за навколишнім середовищем. Але розливи нафти в кінці 1960-х – на початку 1970-х рр. викликали широкомасштабне забруднення прибережних районів і смертність морських птахів, привівши тим самим у дію Міжнародну конвенцію щодо запобігання забрудненню з суден (далі – MARPOL). MARPOL – це основна міжнародна конвенція щодо запобігання забрудненню морського середовища суднами за експлуатаційними або випадковими причинами.

Крім того, Міжнародна морська організація (далі – ІМО) також використовує різні інструменти для захисту морського середовища від судноплавства [8–12]. Проте водний транспорт, як і раніше, чинить негативний вплив на морське середовище, що, у свою чергу, визначає необхідність визначення та класифікації основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища для подальшого зменшення або виключення цього впливу.

Формально класи основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища *RNI* (reasons for negative impact) представимо у вигляді множини кортежів, де кожний кортеж є парою виду:

$$RNI = \{C_i(SC_j), D_i(SD_j)\}, \quad (1)$$

де  $C_i(SC_j)$  – тип класу (підкласу) причини негативного впливу;

$D_i(SD_j)$  – опис класу (підкласу) причини негативного впливу;

$i \in [1..n]$ ,  $n$  – кількість класів;

$j \in [1..m]$ ,  $m$  – кількість підкласів.

Узагальнена структура класів (підкласів) основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища *RNI* наведена на рис. 1.

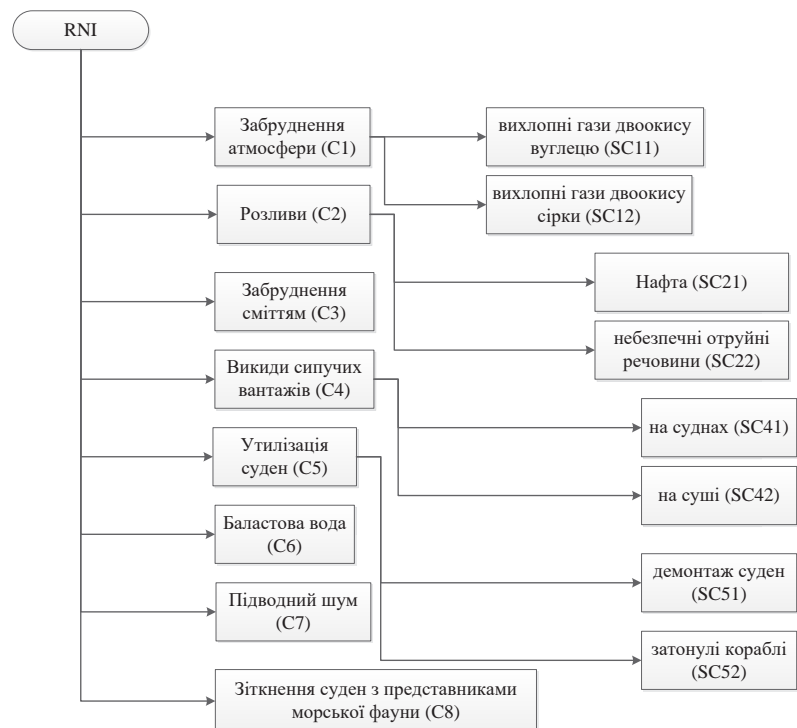


Рис. 1. Узагальнена структура класів (підкласів) основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища

Забруднення атмосфери  $C_1$  водним судноплавством впливає на навколишнє середовище і здоров'я людини. На водний транспорт припадає 33% всіх пов'язаних із торгівлею викидів від спалювання палива, включаючи 3,3% глобального двоокису вуглецю ( $CO_2$ )  $SC_{11}$ , а також викиди діоксиду сірки ( $SO_2$ )  $SC_{12}$ . Викиди залежать від типу палива, двигуна та його ефективності. Незважаючи на те що викиди водного судноплавства важко піддаються кількісній оцінці, за останні 50 років вони збільшилися. Різні гази і звичайні забруднювачі сприяють парниковому ефекту й в основному утворюються при спалюванні палива. Приблизно 70% викидів традиційних забруднювачів і парникових газів відбувається на відстані менше 400 км від суші.

Звичайні забруднювачі повітря включають оксиди сірки ( $SO_x$ ), оксиди азоту ( $NO_x$ ), тверді частинки діаметром  $< 10$  мкм (PM10, PM2,5), органічні сполуки (VOC<sub>s</sub>), оксид вуглецю (CO). Сьогодні на водний транспорт припадає 10–15% світових антропогенних викидів  $SO_x$  і  $NO_x$ . Наприклад, бункерне паливо містить 27 000 ppm сірки порівняно з 10–15 ppm у транспортних засобах. Високі рівні  $SO_x$  і  $NO_x$  викликають проблеми з диханням, підвищують кислотність водойм, а в поєднанні з іншими атмосферними хімічними речовинами утворюють PM10, PM2,5. Зокрема, глобальні викиди PM2,5 від судноплавства пов'язані з тисячами випадків раку легенів і серцево-легеневих захворювань. У цілому викиди парникових газів, включаючи  $CO_2$ , метан ( $CH_4$ ) та окис азоту ( $N_2O$ ), від водного транспорту вносять значний вклад у глобальне антропогенне забруднення повітря. Так, наприклад, у 2012 р. загальні викиди  $CO_2$  від судноплавства становили в еквіваленті 961 млн тонн порівняно з 816 млн тонн у 2007 р. При цьому необхідно зазначити, що великі судна, наприклад, нафтові танкери й контейнеровози, несуть відповідальність за більшість парникових газів, вироблених судноплавством (рис. 2). При цьому більш швидкі судна викидають менше  $CO_2$ , ніж повільніші.

Існують три основні категорії морських вантажів: рідкі вантажі (наприклад, нафтопродукти), небезпечні отруйні речовини (НОР) і сипучі вантажі (наприклад, вугілля, залізна руда).

Розливи нафти  $SC_{21}$  (включаючи бензин, дизельне паливо, бункерне паливо й неочищену сиру нафту) залишаються одними з найвідоміших і завдають шкоди навколишньому середовищу в усьому світі. Хоча на транспортування нафти припадає тільки 12% усіх розливів нафти у світі, близько двох третин із них припадає на морські

судна. Після розвантаження фізичні й хімічні властивості нафти піддаються вивітрюванню, розчиненню, окисленню та випаровуванню, що призводить до різних впливів на навколишнє середовище. Хвильовий вплив сприяє проникненню нафти в товщу води, тоді як спокійні умови дають змогу нафтовим плямам поширюватися по поверхневих водах і береговій лінії. Нафтові плями становлять найбільшу загрозу для морських птахів і ссавців.

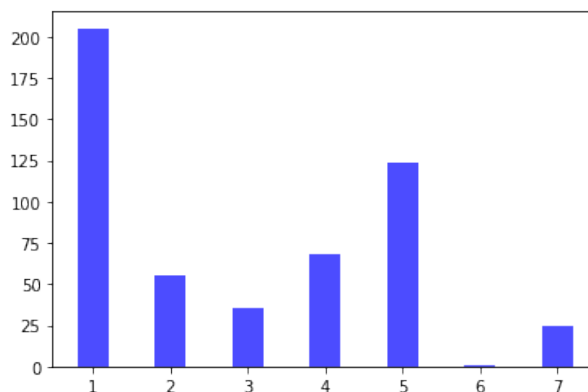


Рис. 2. Приклад викидів  $CO_2$  від різних джерел морського транспорту (1 – контейнер, 2 – судно для перевезення хімічних речовин, 3 – круїзне судно, 4 – судно зі збірним вантажем, 5 – нафтовий танкер, 6 – паром, 7 – транспортний засіб)

Із 37 мільйонів хімічних речовин, які використовуються у світі, 2 000 регулярно перевозяться морем. Приблизно 10–15% морських вантажів вважаються небезпечними, за останні 20 років їх обсяги потроїлися. Однак визначення того, що становить НОР  $SC_{22}$ , залежить від розглянутого міжнародного протоколу або керівництва. Морські аварії можуть призвести до хімічних пожеж, вибухів або викидів токсичних речовин, викликаючи серйозне погіршення морського середовища. Вплив розливів НОР на морське середовище залежить від кількості й характеру розлитої хімічної речовини та місця розливу.

П'ять основних сипучих товарів (залізна руда, вугілля, зерно, боксити і фосфорити) становлять до 57% від загального обсягу всіх глобальних перевозяться сипучих товарів. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі (СОЛАС) включає обов'язковий Міжнародний кодекс морських вантажів (Кодекс IMSBC), який надає інформацію про безпеку, пов'язані з перевезенням сипучих вантажів, за винятком зернових. Викиди сипучих матеріалів  $C_4$  у морське середовище відбуваються в результаті аварійних викидів (наприклад, затоплення судна) й експлуа-

таційних викидів (наприклад, скидання залишків вантажу після миття вантажних трюмів)  $SC_{41}$  або в портах  $SC_{42}$ .

Океани в усьому світі піддаються деградації навколишнього середовища через забруднення сміттям із суден  $C_3$ . ІМО використовує різні інструменти для управління й видалення відходів, що утворюються на борту суден у морі. Наприклад, круїзні лайнери, що перевозять до 3 000 пасажирів, виробляють близько 70 т твердих відходів за тиждень. Суднові відходи включають скляні, металеві та пластикові контейнери, органічні відходи, відходи картонної й паперової упаковки, стічні води та небезпечні відходи (наприклад, батареї, отруйні рідини, відходи фарб, фармацевтичні препарати). Вторинні матеріали часто поділяються та зберігаються для утилізації в порту або обробляються на борту (наприклад, дроблення скла). Органічні тверді відходи (наприклад, папір, картон, харчові відходи) спалюються в морі, а зола, що утворилася, може скидатися в океан, коли це дозволено, або зберігатися для утилізації на березі. Таким чином, належна установка й експлуатація споруд із прийому відходів, що утворюються з суден, відіграють важливу роль у захисті морського середовища.

Великі обсяги відходів, що утворюються на судах, створюють величезне навантаження на морське середовище. Відсутність належних споруд для прийому суднових відходів є серйозною проблемою для портів і судновласників. Відповідні плани управління відходами життєво важливі для зниження впливу суднових відходів на навколишнє середовище. При експлуатації портів споруд також утворюються стічні води, тверді відходи, розливи нафти й виток шкідливих матеріалів. Обробка й управління відходами, що утворюються в портах, зазвичай регулюються національним або місцевим законодавством.

Демонтаж суден  $SC_{51}$  – це метод утилізації суден, при якому судно поділяють компоненти, що підлягають утилізації. Хоча демонтаж суден є екологічно вигідним з точки зору поводження з відходами, цей процес може негативно вплинути як на навколишнє середовище, так і на здоров'я людини через викид мастильних матеріалів або небезпечних хімікатів, що використовуються в суднобудуванні. Основні джерела забруднення, що виникають у результаті робіт з демонтажу суден, включають пари, шум і вібрацію від зварювання й різання, легкозаймисті або вибухонебезпечні речовини, металеві фрагменти й інші тверді відходи. Тоді як випадкові аварії  $SC_{51}$  судна тягнуть за

собою непередбачені екологічні наслідки, штучні рифи створюються цілеспрямовано шляхом затоплення старих суден з урахуванням місцевих економічних переваг. Штучні рифи покращують середовище проживання риб, посилюють захист берегової ерозії та дають можливості для морських досліджень. Створення штучних рифів може збільшити місцеву неоднорідність і біорізноманіття за рахунок додавання нових структур довкілля, але для максимізації екологічних переваг усі судна повинні бути належним чином розібрані, а небезпечні матеріали належним чином утилізовані.

У міру того як морські перевезення продовжують рости, щорічно суднами переміщається близько 3–5 млрд тонн баластної води. Це збільшує ризики інтродукції водних інвазивних видів після скидання неочищеного водяного баласту із суден  $C_6$ , що є серйозною загрозою для глобального біорізноманіття.

Океани є гучним середовищем через природність навколишнього підводного шуму хвиль, звуків морських видів. Але рівні навколишнього шуму підводного океану збільшилися приблизно на 15 дБ за останні 50 років через збільшення кількості морських перевезень, видобутку ресурсів, рибальства, рекреаційної діяльності й інших антропогенних джерел. Штучний шум відрізняється від навколишнього підводного шуму в напрямі, частоті і тривалості. Підводний шум  $C_7$  стає все більш важливим через характер поширення звуку, який у воді поширюється приблизно в п'ять разів швидше, ніж у повітрі, і широкого спектра шкідливих впливів на морські види. До недавнього часу основна увага приділялася морським ссавцям, але тепер визнано, що підводний шум може значно вплинути на рибу та інші морські організми. Підводне шумове забруднення може суттєво вплинути на морське життя навіть на великих відстанях.

Важливим фактором при транспортуванні водним транспортом є можливість зіткнення з морськими тваринами  $C_8$ . Кити – представники морської фауни, що найбільш часто вражаються; проте, наприклад, черепахи, ламантини також схильні до цього ризику. Для зменшення кількості смертельних ударів суден можуть бути встановлені обмеження швидкості суден залежно від часу й району, зміни судноплавних шляхів за часом і районом, а також зони обов'язкового суднового повідомлення. Крім того, повинні бути зроблені кроки щодо інформування водних підприємств про уразливість китів для зіткнень з кораблями й із надання морякам актуальної інформації про місцезнаходження китів.

**Висновки.** Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Систематизовано проблему та здійснено класифікацію основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища для подальшого зменшення або виключення цього впливу.

2. Проведено опис класів і підкласів основних причин негативного впливу водного транспорту на екологію і стан навколишнього середовища, що є основою для подальшого формування управлінських рішень з підвищення ефективності екологічного впливу водних перевезень.

#### Список літератури:

1. Asariotis R., Beamara H., Hoffmann J., Premti A., Valentine V., Youssef F., 2016. Review of Maritime Transport 2016. URL: [http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016\\_en.pdf](http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2016_en.pdf).
2. Bailey S.A., Chan F.T., MacIsaac H.J. Relative importance of vessel hull fouling and ballast water as transport vectors of nonindigenous speciesto the Canadian arctic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2015. № 72 (8). P. 1230–1242.
3. Butt N. The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton. *Marine Policy*. 2007. № 31 (5). P. 591–598.
4. Choi J.K., Kelley D., Murphy S., Thangamani D. Economic and environmental perspectives of end-of-life ship management. *Resources, Conservation and Recycling*. 2016. № 107. P. 82–91.
5. Code of Federal Regulations (CFR), 2014. Operation requirements: Discharge of garbage in the Greater Lakes and other navigable waters. 33 CFR151.66. URL: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/33/151.66>.
6. Davidson I.C., Simkanin C. The biology of ballast water 25 years later. *Biological Invasions*. 2012. № 14 (1). P. 9–13.
7. Iliyay F., Mohan K. Onshore preparedness for hazardous chemical marine vessels accidents: A case study. *Journal of Disaster Risk Studies*. 2016. № 8 (1). P. 1–7.
8. IMO, 2014. In: Guidelines for the reduction of underwater noise from commercial shipping to address adverse impacts on marine life. 21st ASCOBANS Advisory Meeting, MEPC.1/Circ.833. URL: [http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC21\\_Inf\\_3.2.1\\_IMO\\_NoiseGuidelines.pdf](http://www.ascobans.org/sites/default/files/document/AC21_Inf_3.2.1_IMO_NoiseGuidelines.pdf).
9. IMO (2015a). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). URL: <http://www.imo.org/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-%28MARPOL%29.aspx>.
10. IMO (2017a). Introduction to IMO. Retrieved from: <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>.
11. IMO (2017b). Prevention of air pollution from ships. Retrieved from: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>.
12. IMO (2017b). Prevention of air pollution from ships. Retrieved from: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>.

#### Urum N.S., Trofymenko I.V., Riashchenko O.I., Ivanenko V.V. CLASSIFICATION OF THE MAIN CAUSES OF NEGATIVE IMPACT OF WATER TRANSPORT ON ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL STATE

*The article considers the issues of determining and classifying the main causes of the negative impact of water transport on the ecology and the state of the environment to further reduce or eliminate this impact. The description of classes and subclasses of the main reasons of negative influence of water transport on ecology and a condition of environment which is a basis for the further formation of administrative decisions on increase of efficiency of ecological influence of water transportations is carried out. It is noted that the biggest cause of the impact of water transport on the environment – accidents. The ship may leak its own fuel or other important substances, or hazardous chemicals such as crude oil may leak from the ship's tanks. On the other hand, much of the environmental impact associated with water transport can be reduced by reducing other transport costs. Eliminating unnecessary travel, increasing the size of shipments and reducing cruising speed can reduce fuel consumption and, consequently, environmental pollution. Also, in order to reduce the number of fatal collisions of vessels, speed limits of vessels may be established depending on the time and area, changes in waterways by time and area, as well as areas of mandatory ship reporting.*

*The article describes the classes and subclasses of the main causes of the negative impact of water transport on the environment and the state of the environment, which is the basis for further formation of management decisions to improve the environmental impact of water transport.*

*Thus, at present the task of studying the main causes of the negative impact of water transport on the ecology and the state of the environment is relevant.*

*The result of the work is the systematization of the identified problem and the classification of the main causes of the negative impact of water transport on the ecology and the state of the environment. A description of classes and subclasses of the main causes of negative impact, which is the basis for further formation of management decisions to improve the environmental impact of water transport.*

**Key words:** water transport, ship, negative impact, ecology, environment, class, subclass.

**Якусевич Ю.Г.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Колесник В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Тришин В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Дорофєєва З.Я.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ НА СУДНІ

*У роботі приділена увага системі пожежогасіння, яка є надзвичайно важливою для суден, які транспортують паливо (танкерів). Вона, у свою чергу, включає сукупність взаємопов'язаних елементів, що мають різноманітні принципи функціонування й мають на меті подальшу автоматизацію комплексних процесів.*

*Акцентовується увага на тому, що пристрій систем пожежогасіння, їх конструкція залежать від принципу гасіння, що застосовується. Тому проведено аналіз способів припинення горіння, що засновані на фізичному й хімічному принципах. Так, наприклад, загальноприйнята система пінного пожежогасіння призначена для захисту вантажних цистерн, насосних відділень і носових паливних танків. Для захисту вантажних цистерн встановлено вісім лафетних стволів з таким розрахунком, щоб покрити піною будь-яку частину відкритої палуби.*

*Розглянуто спринклерні системи, які бувають водяні, повітряні й комбіновані, залежать від температури повітря в приміщеннях.*

*Цей розподіл систем є досить умовним, оскільки в результаті їх дії відбувається одночасно ефект гасіння та захисту. Тому більш детально розглянуто спринклерні системи, оскільки, відповідно до різних національних правил, вони повинні бути встановлені на всіх суднах з персоналом більше 26 чоловік. Вимоги цих правил до спринклерних систем в основному збігаються і зводяться до такого: системи повинні включатися автоматично при підвищенні температури в приміщенні до заздалегідь встановленої величини; мати постачання від спеціального спринклерного насоса тощо.*

*Таким чином, у статті з'ясовано, що для комплексної автоматизації системи пожежогасіння на підставі аналізу розроблених моделей необхідно:*

- виконати розміщення датчиків температури в приміщеннях на палубі судна;*
- встановити запірні пристрої (виконавчі механізми) у місцях розміщення насадки для підведення води, піни, інертних газів;*
- при розбіжності сигналу від датчиків з технологічними параметрами реалізується автоматичний і напівавтоматичний запуск системи пожежогасіння й видача сигналів тривоги й індикації аварійної ділянки на мнемосхемі оператора.*

**Ключові слова:** *спринклерні системи, автоматизація, моделювання, пожежогасіння, суднові системи.*

**Постановка проблеми.** Стрімкий розвиток інформаційних технологій та елементної бази, поява надійних та економічних мікросхем, особливо мікропроцесорів, а також розширення функціональних можливостей і мініатюризація електромеханічних елементів і датчиків надали якісно нові технічні засоби для розвитку процесів автоматизації суден. Початок автоматизації збігається з упровадженням інформаційних технологій і технічних засобів до систем управління суднами, що є сутністю теперішнього етапу.

Для нього характерні такі особливості:

- комплексний характер процесів автоматизації (повинен охопити всі елементи та зв'язки у функціонуванні складної організаційно-технічної системи – сучасного судна);*
- раціональний розподіл функцій управління між людиною-судноводієм та управляючою автоматизованою системою;*
- використання математичних моделей управління й автоматичного пошуку оптимуму за заданим критерієм, використання самоналагоджувальних*

структур і структур, що навчаються на основі потужних обчислювальних комплексів, які дають можливість сформувати базу даних і знань.

У статті основна увага приділена системі пожежогасіння, яка відноситься до судових систем, але є надзвичайно важливою, особливо для суден, які транспортують паливо, – танкерів. Актуальність дослідження пов'язана з тим, що система пожежогасіння складається із сукупності взаємопов'язаних елементів, які мають різні принципи функціонування та потребують комплексної автоматизації процесу.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У розробку різних аспектів проблеми автоматизації систем управління внесли вклад такі вчені: П.В. Бажан, А.М. Басін, В.Ф. Большаков, О.С. Бутов, Є.М. Клімов, Ю.І. Матвєєв, Ю.Н. М'ясників, Ю.П. Петров, С.А. Попов, В.І. Плющаєв, Е.П. Роннов, А.Є. Сазонов, М.М. Чіркова, І.А. Фейгін, Ю.С. Федосенко, В.В. Сахаров та інші. Результати цих досліджень стали фундаментом для якісно нового рівня автоматизації, у тому числі реагування на кризові ситуації, пов'язані з пожежною безпекою на судні, з використанням системи контролю.

**Постановка завдання.** Завданням статті є розробка моделі автоматизації системи пожежогасіння на судні.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Для системи пожежогасіння характерна мережа розосереджених об'єктів управління, що вимагають використання принципів розосередженого управління та сигналізації [6]. Реалізація системи пожежогасіння полягає в побудові активного протипожежного захисту судна, що за своєю сутністю являє собою комплекс заходів щодо виявлення й ліквідації пожеж на сучасних суднах.

Реалізація заходів виявлення й ліквідації пожеж здійснюється за допомогою спеціальних засобів активного протипожежного захисту, до яких можливо віднести:

- 1) системи та пристрої пожежної сигналізації;
- 2) системи ліквідації пожеж;
- 3) допоміжні пристрої.

Перша група засобів активного протипожежного захисту – це системи пожежної сигналізації, за допомогою яких здійснюється раннє виявлення пожеж та оповіщення судоводія й команди судна. Системи сигналізації є сукупністю різномірних засобів за принципом виявлення вогню пожежі.

Друга група засобів – системи гасіння пожеж поділяються на чотири кластери залежно від способу впливу на осередок пожежі. Кожен кластер

об'єднує декілька конкретних систем, які розрізняються між собою за принципом гасіння пожежі [3; 7]. Отже, функціональна схема системи пожежогасіння та їх конструкція безпосередньо залежать від принципу гасіння, який застосовується. Виконаємо аналіз принципів припинення пожежі, які узагальнено складаються з фізичних і хімічних способах.

**Спосіб водяного пожежогасіння.** Оскільки вода є найбільш доступним і дешевим засобом гасіння пожеж на суднах, то нині широко поширені на суднах системи:

- 1) водяного пожежогасіння;
- 2) водяного розпилення;
- 3) водяного зрошення;
- 4) водяних завіс, які охолоджують поверхню горіння.

Наведемо коротку характеристику кожного способу.

Для системи водяного пожежогасіння характерні такі основні елементи:

- 1) пожежні насоси;
- 2) трубопроводи (приймальні та напірні);
- 3) пожежні крани (кінцеві клапани);
- 4) приводи управління арматурою та насосами;
- 5) контрольно-вимірювальні прилади;
- 6) пожежні рукави.

Мінімальна продуктивність призначається за умови подачі води, що необхідна для роботи двох струменів. Максимальна продуктивність насосів на вантажних суднах не перевищує 180 м<sup>3</sup>/год. Мінімальна продуктивність аварійних пожежних насосів розраховується окремо залежно від ємності судна.

Якщо пожежні насоси використовуються для забезпечення забортною водою інших систем пожежогасіння, то їх продуктивність визначається, виходячи з максимально можливої витрати води цими системами.

#### **Спринклерна система пожежогасіння.**

До групи систем пожежогасіння шляхом водяного розпилення входять:

а) спринклерна система з автоматичним управлінням, що призначена для гасіння пожеж як у житлових, так і службових приміщеннях судна;

б) дренчерна система (з ручним або автоматичним управлінням), принцип дії якої подібний до спринклерної;

в) система верхнього та нижнього водорозпилення з ручним управлінням у машинних відділеннях, що призначена для гасіння залишків нафтопродуктів;

г) гасіння з ручним управлінням тонко розпошеною водою.

До групи захисних систем можуть входити:

а) система зрошення з ручним управлінням палуб наливних суден (використовується для зниження обсягів випаровування нафтопродуктів при підвищеній температурі повітря);

б) система зрошення з ручним управлінням сходів і вахт у машинних і котельних відділеннях, що використовуються при локальних пожежах;

в) система водяного захисту пожежної команди з ручним управлінням, а також самого судна при гасінні пожеж на інших суднах або берегових об'єктах;

г) зрошення приміщень з автоматичним управлінням, призначених для зберігання легкозаймистих або вибухових речовин;

д) зрошення перегородок, проходів, конструкцій з автоматичним і ручним управлінням під час ліквідації пожеж у суміжних приміщеннях або поряд розташованих районах судна;

е) водяні завіси з автоматичним і ручним управлінням, що перешкоджають поширенню вогню в приміщеннях великих площ, проходах.

Варто відзначити, що наведений розподіл систем є досить умовним, оскільки в результаті їх функціонування відбувається одночасно ефект гасіння пожеж і захисту від пожежі.

Найбільш цікавими є спринклерні системи, оскільки, відповідно до традиційних світових морських практик, ці системи повинні встановлюватися на всіх суднах з командою, що перевищує 26 осіб.

Вимоги цих практик до спринклерних систем в основному збігаються та зводяться до правил:

1) системи повинні включатися автоматично при підвищенні температури в приміщенні до заздалегідь встановленої величини;

2) системи повинні постачатися як від спеціального спринклерного насоса, так і від системи водяного пожежогасіння;

3) до складу системи повинні входити пневмоцистерни із запасом прісної води та повітряні компресори, що використовуються для підтримання визначеного тиску в пневмоцистернах;

4) системи повинна мати сигнальний пристрій, який

сповіщає про її спрацювання системи й указує на місце спрацювання зрошувальних насадок;

5) система повинна мати не менше двох альтернативних джерел енергії, що використовується для живлення спринклерного насоса, компресора, а також сигнального пристрою;

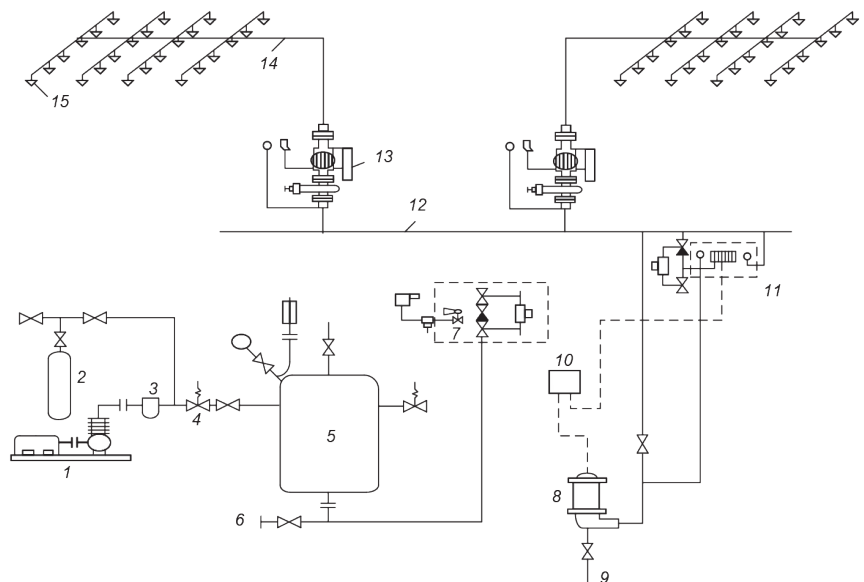
6) система повинна розділятися на секції.

Розглянемо принцип дії спринклерної системи, яка розташовується за межами приміщень. При підвищенні температури в приміщенні до деякої заданої величини виконується автоматичне відкриття отворів у спеціальних зрошувальних насадках, які й називаються спринклерами.

Під дією тиску в трубопроводі вода, яка проходить через спринклер, розпоршується на краплі деякої величини, які зрошують палубу, стіни й інші об'єкти приміщення (рис. 1).

Схема, наведена на рис. 1, свідчить, що спринклерна система пожежогасіння складається із джерел постачання води; контрольно-пускових (сигнальних) пристроїв (датчиків температури), які розміщені в приміщеннях судна; мережі трубопроводів; спринклерів та автоматичних запірних пристроїв, що забезпечують подачу розпоршеної води в осередок пожежі.

Залежно від температури повітря в приміщеннях спринклерні системи поділяються на водяні, повітряні й комбіновані.



**Рис. 1. Модель суднової спринклерної системи:**

- 1 – компресор; 2 – балон стисненого повітря; 3 – сепаратор; 4 – запобіжний клапан; 5 – пневмоцистерна; 6 – підведення води від системи водяного пожежогасіння; 7 і 11 – КПУ, що мають включати водопостачання; 8 – електронасос спринклерної системи; 9 – прийом води від кінгстону; 10 – пускове виконавче реле насоса; 12 – магістраль спринклерної системи; 13 – групове КПУ; 14 – груповий розподільний трубопровід; 15 – спринклер



Водопостачання спринклерної системи виконують, як правило, з двох комплексів обладнання, призначених для подачі прісної води під тиском у трубопровід системи в період «чергового стану» спринклерів. До цього комплексу входять пневмоцистерна та повітряний компресор з балонами, що підтримують робочий тиск у системі, подаючи воду до спринклерів, які спрацювали.

Цей комплекс складається з електронасосу, обладнаного спеціальною автоматикою вмикання, та насосу системи водяного пожежогасіння, що забезпечує подачу необхідної кількості забортної води в трубопровід спринклерної системи.

**Система зрошення палуби водою.** При підвищених температурах зовнішнього середовища внаслідок нагрівання палуби та бортів судна відбувається інтенсивне випаровування нафтопродуктів, які транспортуються танкерами. Для зменшення нагрівання палубний настил і борти корпусу суден фарбують у світлі тони. Однак цього недостатньо, щоб знизити температуру парів і верхнього шару вантажу в цистернах до необхідної величини. На наливних суднах, що транспортують нафтопродукти з температурою займання парів менше  $45^\circ$ , над вантажними цистернами, насосними відділеннями та кофердамом обов'язково передбачаються системи зрошення палуби водою (рис. 2).

Отримана система зрошування дає змогу знизити температуру на палубі та зовнішніх частинах бортів за рахунок випаровування води, зменшивши процес пожежонебезпечного випаровування нафтопродуктів. Відмітимо, що при перевезенні важких нафтопродуктів із температурою займання більше  $60\text{--}80^\circ$  системи зрошення палуби на суднах, як правило, не використовують.

У систему зрошення, яка включається вручну, воду подають пожежні насоси, що знаходяться в районі носової частини корпусу танкера, або пожежні насоси, розміщені в машинному відділенні. Магістральний трубопровід системи прокладають під перехідним містком з відгалуженням до розпилювачів. На окремих ділянках палуби магістраль системи зрошення через від-

галуження із запірними пристроями з'єднують із магістраллю системи водяного пожежогасіння.

Витрата води в системі зрошення приблизно становить  $0,015\text{--}0,017$  л/с на  $1\text{ м}^2$  площі.

До останнього часу для розпилення води застосовували переважно перфоровані труби, розташовані над палубним настилом з отворами діаметром  $3\text{--}5$  мм і кроком по довжині труби  $150\text{--}200$  мм. Уважаємо, що більш раціонально замінити ці труби, оскільки вони ускладнюють переміщення команди по палубі. Шлях заміни – це застосування насадок із широким факелом розпилу води (рис. 2). Дренчери або інші види насадок варто розміщувати так, щоб уся площа палуби над вантажними цистернами, вантажними насосними відділеннями й кофердамом зрошувалася рівномірно. Поверхні зрошення двох послідовно розташованих дренчерів повинні частково перекривати один одного. Наявні сьогодні насадки при розміщенні їх на висоті  $3$  м і при напорі води рівним  $5$  м вод. ст. здатні зрошувати приблизно  $30\text{--}50\text{ м}^2$ . Насадки можуть створювати як секторний, так і розпил по колу з різною величиною кута факела.

**Система застосування інертних газів.** Інертний газ не тільки розбавляє атмосферу, а й охолоджує її, а також ізолює палаючу речовину від кисню атмосферного повітря. Ці властивості інертних газів слабо залежать від температури, тиску та щільності, тому їх зазвичай не враховують при обчисленнях необхідної кількості вогнегасного середовища.

Позначимо буквою  $k$  вміст кисню за об'ємом в атмосфері приміщення, при якому припиняється горіння речовини. Щоб досягти цього, необхідно на кожен кубометр об'єму приміщення додати інертний газ в об'ємі:

$$v = \frac{21 - k}{100} \text{ м}^3.$$

При цьому заміщення  $1\%$  кисню в атмосферному повітрі буде супроводжуватися заміщенням  $3,75\%$  азоту. Отже, на кожен кубометр вільного об'єму приміщення необхідно вводити інертний газ, об'єм якого становитиме:

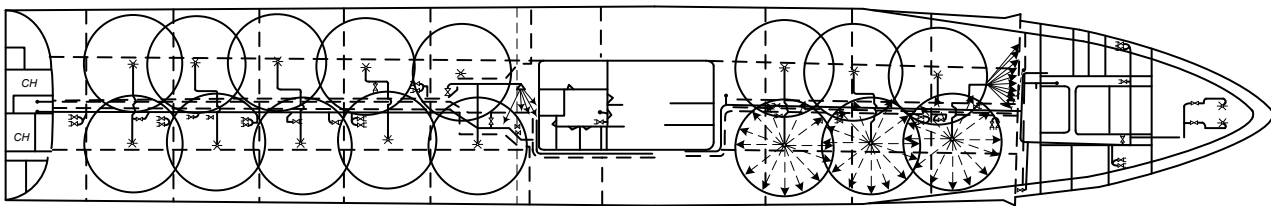


Рис. 2. Модель зрошення палуби на наливному судні

$$v = \frac{(21 - k) 4,75}{100} \text{ м}^3.$$

Отже, якщо  $k=15\%$ , тоді  $v = 0,285 \text{ м}^3$ . Практично, з огляду на можливі втрати в системі інертного середовища, для припинення горіння на кожен кубометр вільного об'єму закритого приміщення необхідно вводити близько 30% інертного газу (за об'ємом).

При заданому розрахунковому часі  $t$  (хв.) подачі вогнегасного середовища з питомим об'ємом  $V_v$  ( $\text{м}^3/\text{кгс}$ ) витрата його на кубометр вільного об'єму приміщення становитиме:

$$G = \frac{(21 - k) 4,75}{v_0 t 100} \text{ кгс/хв.}$$

Величина  $k$  залежить від типу горючої речовини, властивостей вогнегасного середовища, а також від їх витрат і швидкості подачі.

Унаслідок токсичності системи цього типу необхідно обладнати сигналізацією попередження, щоб команда судна могли вчасно покинути приміщення та не отруїлася.

Системи водяного парового пожежогасіння використовують у вантажних трюмах суховантажних і наливних суден, у вугільних бункерах, паливних та масляних цистернах, кофердамах, вантажних насосних відділеннях, у літкарних, малярних коморах та аналогічних приміщеннях, а також для гасіння окремих осередків пожежі в закритих приміщеннях. Вогнегасним середовищем системи є водяний насичений пар під тиском від 5 до 10  $\text{кгс/см}^2$ , який подають у приміщення з інтенсивністю не менше 1,33  $\text{кгс/год}$  на  $1 \text{ м}^3$ .

Пар для системи парогасіння подають від головних або допоміжних котлів по трубах на станцію парогасіння, де встановлено спеціальний розподільчий колектор.

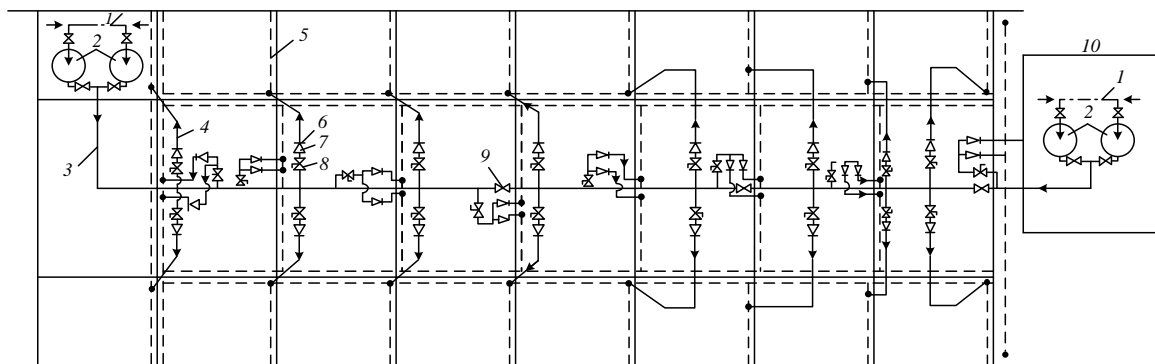
**Система піногасіння.** Як система ізоляції на судах широке застосування знайшли різні системи пінного пожежогасіння. Схема загального розташування системи повітряно-механічного пінного пожежогасіння на наливному судні наведена на рис. 3.

Піна гасить вогонь пожежі в основному за рахунок:

1) охолодження верхнього шару палаючої речовини й зони полум'я рідкою фазою піни, що руйнується. Це охолодження обумовлено великою теплоємністю й теплотою пароутворення води, з якої складається рідка фаза. При подачі піни в осередок пожежі її перші порції повністю руйнуються й випаровуються, при цьому інтенсивність випаровування обумовлена великою площею контакту плівок бульбашок з нагрітими газами. У результаті створюється над вогнищем пожежі «парова подушка», яка зменшує парціальний тиск кисню в дифузійній зоні полум'я при гасінні повітряно-механічною піною. При гасінні хімічною піною ефект «парової подушки» посилюється за рахунок виділення вуглекислоти. Усе це зменшує інтенсивність горіння й готує умови, при яких піна, що подається в осередок полум'я, перестає руйнуватися;

2) ізоляції палаючої речовини від навколишнього повітря. При цьому шар піни перешкоджає проході продуктів випаровування палаючої речовини до факелу полум'я. Ефект ізоляції досягається тільки в тому випадку, якщо пружність парів палаючої речовини недостатня для подолання пружного опору шару піни. Таким чином, ефект ізоляції цілком залежить від стійкості піни та величини її шару над поверхнею палаючої речовини;

3) теплоізоляційної здатності шару піни, яка обумовлена малою теплопровідністю газової фази, що розміщена в бульбашках малого обсягу.



**Рис. 3. Модель загального розташування системи повітряно-механічного пінного пожежогасіння на наливному судні:**

1 – трубопровід системи водяного пожежогасіння; 2 – резервуар із піноутворювачем; 3 – магістральний трубопровід; 4 – пінопровід; 5 – піно зливні труби; 6 – мембрана; 7 – стаціонарний повітряно-пінний ствол; 8 – клапан з дистанційним управлінням; 9 – клапан запірний; 10 – носова станція піногасіння

Залежно від типу піни суднові системи можна розділити на дві групи: гасіння повітряно-механічною піною та гасіння хімічної піною.

Система пінного пожежогасіння призначена для захисту вантажних цистерн, насосних відділень і носових паливних танків. Для захисту вантажних цистерн встановлено вісім лафетних стволів із таким розрахунком, щоб покрити піною будь-яку частину відкритої палуби. У насосні відділення й носові паливні димпанки проведено трубопроводи піни зі стаціонарними повітряно-пінними стволами.

**Висновки.** За результатами дослідження зробимо низку узагальнених висновків: для комплексної автоматизації системи пожежогасіння на підставі аналізу розроблених моделей необхідно:

- виконати розміщення датчиків температури в приміщеннях на палубі судна;
- встановити запірні пристрої (виконавчі механізми) в місцях розміщення насадки для підведення води, піни, інертних газів;
- забезпечити безперервний моніторинг (у реальному часі) стану датчиків температури;
- при розбіжності сигналу від датчиків з технологічними параметрами реалізується автоматичний і напівавтоматичний запуск системи пожежогасіння та видача сигналів тривоги й індикація аварійної ділянки на мнемосхемі оператора.

Напрямами подальших досліджень є розробка схема комплексної автоматизації суднових систем.

#### Список літератури:

1. Комаров В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика. Москва : НТБ «Энергия», 2012. 352 с.
2. Энергосбережение: энергетическая эффективность водного транспорта : монография / О. К. Безюков и др. Санкт-Петербург : Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макара, 2016. 283 с.
3. Безюков О.К. Динамика потребления энергетических ресурсов и повышение эффективности их использования. *Справочник. Инженерный журнал с приложением.* 2015. № 1. С. 41–48.
4. Сахаров В.В. Модели и алгоритмы оптимизации технологических процессов на объектах водного транспорта в среде MATLAB : монография. Санкт-Петербург : ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2015. 436 с.
5. Gupta M.M. Intelligent control systems: theory and applications / ed. by M.M. Gupta, N.K. Sinha. New York: IEEE, 1996.
6. Пластинин А.Е. Оценка механического воздействия на окружающую среду при взрывах на танкерах. *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова.* 2015. № 1 (29). С. 42–52.
7. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна. 3-е изд., перераб. и доп. Одесса : Феникс, 2007. 328 с.
8. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности. Одесса : Феникс, 2005. 272 с.
9. Вагущенко, Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика. Одесса : Латстар, 2003. 169 с.

#### **Yakusevych Yu.H., Kolesnyk V.V., Tryshyn V.V., Dorofieieva Z.Ia. MODEL OF AUTOMATION OF THE FIRE EXTINGUISHING SYSTEM ON THE SHIP**

*The paper pays attention to the fire extinguishing system, which is extremely important for vessels transporting fuel – tankers. It, in turn, includes a set of interconnected elements that have different principles of operation and are aimed at further automation of complex processes.*

*Emphasis is placed on the fact that the device of fire extinguishing systems, their design depends on the principle of extinguishing used. Therefore, an analysis of ways to stop burning, based on physical and chemical principles. For example, the conventional foam fire extinguishing system is designed to protect cargo tanks, pump compartments and bow fuel tanks. To protect cargo tanks, eight gun barrels have been installed in such a way as to cover any part of the open deck with foam.*

*The article considers sprinkler systems, which are water, air and combined. They depend on the indoor temperature.*

*This distribution of systems is quite conditional, because as a result of their action there is both the effect of quenching and protection. Therefore, sprinkler systems are considered in more detail, because, according to different national rules, they must be installed on all vessels, with a staff of more than 26 people. The requirements of these rules for sprinkler systems are basically the same and are as follows: the systems must turn on automatically when the room temperature rises to a predetermined value; have a supply as from a special sprinkler pump, etc.*

*In the article it is found out that for complex automation of fire extinguishing system on the basis of the analysis of the developed models it is necessary:*

- *perform the placement of temperature sensors in the premises on the deck of the vessel;*
- *install shut-off devices (actuators) in the locations of the nozzle for water, foam, inert gases;*
- *in case of discrepancy of the signal from the sensors with technological parameters, the following is realized: automatic and semi-automatic start of the fire extinguishing system and issuance of alarm signals and indication of the emergency area on the operator's mnemonic.*

**Key words:** *sprinkler systems, automation, modeling, fire extinguishing, ship systems.*

UDC 625. 717. 02

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/43>**Volodko O.V.**

Higher Educational Establishment of Ukoopspilka “Poltava University of Economics and Trade”

**Rogova N.V.**

Higher Educational Establishment of Ukoopspilka “Poltava University of Economics and Trade”

## METHOD OF THERMAL CALCULATION OF HEATING ROAD COVERING

*Safe maintenance of roads, especially in the winter, is a topical issue today. Among the various traditional methods of combating snow and ice on the coating, there is an alternative method, in particular the use of heating coatings. The method of thermal calculation of ecologically safe heating road surface is developed, namely – the problem of thermal conductivity at the set certain thermal boundary conditions and conditions of contact of layers is solved. The heating system of the coating consists of crushed stone-mastic asphalt concrete, a layer of electrically conductive concrete (fibroconcrete), carbon mesh for power supply and a layer of thermal insulation. To solve the thermal problem, we used the hypothesis of temperature distribution in the layers of the heating coating over the thickness of the system. Physico-mechanical and thermophysical characteristics of layers and boundary conditions on their surface are given. A heat flow of a given power acts through the lower surface. Heat transfer occurs from the lower surface to the upper – perpendicular to the package of layers, which makes the problem of heat transfer one-dimensional and stationary. Under given thermal conditions, a stationary one-dimensional temperature field for the layer  $k=1.2...n$  is described by the differential equation of thermal conductivity. The accuracy of solving the problems is related to the approximation of the temperature distribution in the layers by expression. When the layer thickness decreases, the accuracy increases, and the continuous functions change in steps. In order to achieve the required accuracy, each of the two layers of the road surface (fiber concrete, ShchMA-15 asphalt concrete) is distributed into several sublayers with constant thermal characteristics. Stationary temperatures at the boundaries of the sublayers at a given heat flux are obtained. The dependence of the heating system temperatures on the heat flow supplied to the electrically conductive grid and the possibility of providing a positive temperature on the coating surface at a negative ambient temperature are determined. The heat-insulating properties of the thermal insulation layer (“Pinosital” bulk foam glass) have been tested and the efficiency of its use in construction has been confirmed.*

**Key words:** fibroelectric concrete, road cover, crushed stone and mastic asphalt concrete, thermal conductivity, boundary conditions, thermophysical characteristics eating system, heat flow, differential equation of thermal conductivity.

**Formulation of the problem.** Winter maintenance of roads is the most difficult type of maintenance. Under the influence of winter weather and climatic factors, transport and operational characteristics and traffic conditions of highways change the speed of vehicles is reduced by 2–2.5 times, their productivity by 30–40%, and the cost of transportation increases by 25–30% [1]. At the same time, winter slipperiness is the cause of up to 82% of traffic accidents and accidents [2]. Thus, losses and general expenses from the influence of weather and climatic conditions on the functioning of the road transport system make the task of safety of its provision the most urgent both in the countries of the nearest and far abroad.

Despite the different approaches to this issue in countries with different climatic conditions, there is a common strategy for safe winter road maintenance, which includes the search for new anti-icing materials together with promising research and practical work to develop effective and environmentally friendly technological solutions to remove the ice from the floor [3–4]. Such solutions include environmentally friendly construction of heated pavement [5–6] using a monolithic layer of fiber concrete [7–8], developed with the participation of the author. Taking into account the fact that the calculation methods for the heating coatings are not studied properly, there are

no any norms and classifications on this issue, that is why the research in this direction can be considered relevant and promising.

**Analysis of recent research publications.**

The design of the heating coating requires thermal calculation, which determines the possibility of achieving a thermal effect – to obtain on the surface of the coating enough temperature for melting snow and ice in external negative temperature conditions. To solve this problem it is necessary to apply the theory of thermal conductivity. The basics of the theory of thermal conductivity are given in the works of B. Boli and J. Weiner, A.A. Ilyushin and B.E. Pobedri, V.I. Belyaev and A.A. Radyno, B.G. Koreneva, I.A. Motovilovets, Ya.S. Pidstrigach, V.A. Lomakin and Y.M. Koliano, S.M. Konstantinov. Asymptotic methods for solving problems of the theory of thermal conductivity and thermoelasticity are considered by I.Y. Zino and E.A. Tropp. Engineering and analytical methods in thermal conductivity problems are covered in the works of V.S. Zarubina, E.M. Kartashova, G.N. Dulneva, A.V. Sigalova and V.G.Parfyonova. Research of temperature crack resistance and issues of increasing the durability of asphalt concrete layers of road surfaces dedicated to a number of works by O.V. Mozgovyi.

Research of physical and mechanical properties of a covering depending on temperature and deformation rates are covered in the works of I.P. Homelyak [9]. Main issues of thermoelasticity in homogeneous structures, considered by V.M. Maisel, in the future generalized for layered structures V.G. Piskunov and V.S. Sipetov [10].

For layered structures, which include heating coating, piecewise linear laws of temperature distribution are used, similar to the broken line hypothesis for a package of issues in stress problems . In this case, the properties of the layers are taken into account in general , as for the linear law of temperature distribution in a homogeneous body thickness, and the order of the system of thermal equations does not depend on the number of layers. Averaging thermophysical parameters over the thickness of the layers, E.I. Starovoitov [11] reduced the problem of thermal conductivity in a three-layer plate to determine the temperature field in a homogeneous plate with modified thermophysical characteristics.

V.G. Piskunov and V.S. Sipetov [12] to describe the temperature distribution over the thickness of layered systems proposed a nonlinear law, which allows to refuse introduction of such meanings, as average temperature and it's difference on thickness of a package of layers. In addition, it is possible to describe the nonlinear character of the temperature

distribution over the thickness, replacing it with piecewise-linear, in this case, to achieve sufficient accuracy, each layer can be divided into sublayers, which is effective for solving the problem of thermal state of layered structures.

For the calculation of layered orthotropic thermosensitive shells and plates under force and heat O.M. Demchuk used an iterative approach [13]. The system of differential equations and boundary conditions of the stationary problem of thermal conductivity is obtained by variation, which was further used to develop a method of thermal calculation of heated road surfaces.

**Formulation article goals.** The purpose of research is to develop a method of thermal calculation of heated pavement with a layer of conductive concrete for the safety of its maintenance in the winter.

**Presenting main material.** The calculation is used to solve the thermal problem for the heating system that forms the coating, scilicet the problem of thermal conductivity under certain thermal boundary conditions and contact conditions of the layers [13].

The heating system is a layered body of total thickness „h”, collected from „n” isotropic layers and assigned to the coordinates  $OX, OZ$  (Fig. 1). The order of the layers in the system is arbitrary.

Physico-mechanical and thermophysical characteristics of layers  $k = 1, 2, \dots, n$  are connecting with direction  $OZ$  (within the layer are constant). On the outer (upper) surface ( $Z = h$ ) evenly distributed stationary temperature field  $T(h)=T$ .

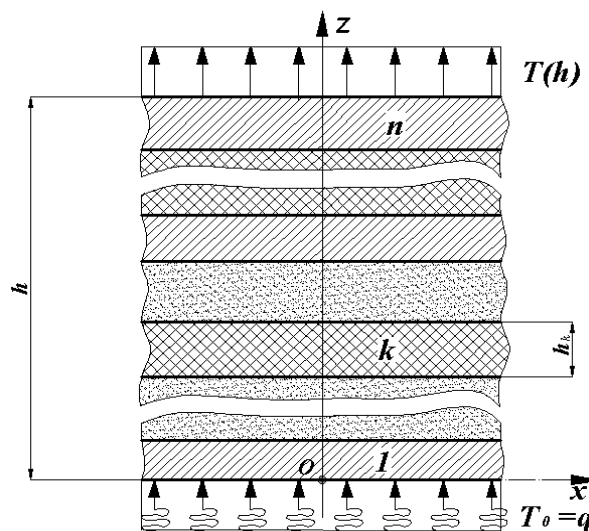


Fig. 1. Fragment of a layered body in the temperature field

Through the lower surface ( $Z = 0$ ) a heat flow of a given power is working  $T(0) = q$ . Heat transfer goes from the lower surface to the upper – perpendicular to

the package of layers (along the axis  $OZ$ ). So, the heat transfer problem is one-dimensional and stationary. Under given thermal conditions, a stationary one-dimensional temperature field for the layer  $k = 1, 2, \dots, n$  is described by the following differential equation thermal conductivity:

$$\lambda_z^{(k)} \frac{d^2 T^{(k)}(z)}{dz^2} = 0, \quad (1)$$

Where  $\lambda_z^{(k)}$  – the thermal conductivity of the layer  $k$ ;

$T^{(k)}(z)$  – the law of temperature distribution in the layer  $k$ .

The thermal conductivity problem described by equation (1) meets the following basic boundary conditions:

– temperature on the outer surface ( $Z = h$ ) body (boundary condition of the first kind)

$$T^{(n)}(h) = T; \quad (2)$$

– given the intensity of heat flow through the lower ( $Z = 0$ ) surface of the body (boundary condition of the second kind)

$$\lambda_z^{(1)} \frac{dT^{(1)}(z)}{dz} = q; \quad (3)$$

– A partial case of boundary conditions of the second kind is the condition of thermal insulation of the body surface ( $q = 0$ );

– given the law of convective heat transfer between the body surface and the environment (boundary condition of the third kind)

$$\lambda_z^{(n)} \frac{dT^{(n)}(z)}{dz} = \alpha (T - T_\infty), \quad (4)$$

Where  $\alpha$  – heat transfer coefficient, which depends on the thermal and physical characteristics of the body surface and the environment;

$T_\infty$  – surrounding environment temperature.

At the boundaries of the layers the conditions of "ideal" thermal contact are fulfilled, which for the common surfaces of the layers ( $k$ ), ( $k-1$ ) presented as:

$$T^{(k)} = T^{(k-1)}; \quad \lambda_z^{(k)} \frac{dT^{(k)}(z)}{dz} = \lambda_z^{(k-1)} \frac{dT^{(k-1)}(z)}{dz}. \quad (5)$$

Conditions (5) determine the continuity of temperature and heat flux at the boundaries of the layers.

To solve the thermal problem, the hypothesis of temperature distribution in layers was used  $k = 1, 2, \dots, n$  on the thickness of the system (3):

$$T^{(k)}(z) = \sum_{m=0}^1 d_{1m}^{(k)} t_m + d_{2m}^{(k)} q_m = d_{10}^{(k)} t_0 + d_{20}^{(k)} q_0 + d_{11}^{(k)} t_1 + d_{21}^{(k)} q_1, \quad (6)$$

where  $t_m$  and  $q_m$  – looking functions of the reduction surface ( $Z = 0$ ), which describe the temperature and

heat flux ( $m=0$ ), also the rate of change of these parameters over time ( $m=1$ );

$$d_{20}^{(k)}(z) = \int_0^z (\lambda_z^{(k)})^{-1} dz; \quad d_{11}^{(k)}(z) = \int_0^z (\lambda_z^{(k)})^{-1} \int_0^z c_z^{(k)} d_{10} dz dz;$$

$$d_{21}^{(k)}(z) = \int_0^z (\lambda_z^{(k)})^{-1} \int_0^z c_z^{(k)} d_{20} dz dz$$

$d_{10}^{(k)}(z) = 1$  – given normal functions;

$c_z^{(k)}$  – specific heat of the layers.

In the temperature distribution (6) not only thermal conductivity coefficients are taken into account  $\lambda_z^{(k)}$ , also a specific heat  $c_z^{(k)}$  the material of the coating layers. The largest order of the polynomial that approximates the temperature within each layer for this model is 3. The general order of the system to which equation (1) reduces is 8.

According to the described method, the thermal problem for the heating coating is solved. To the lower ( $Z = 0$ ) surface of the layer of fiber concrete with a thermal conductivity  $\lambda_z^{(1)} = 0,84$  VT/m°C and specific heat  $c_z^{(1)} = 0,47$  kDg/kg °C the heat stream from a carbon grid of the set power moves  $q$ . On the surface of the coating ( $Z = 0,11$  m) with thermal conductivity  $\lambda_z^{(n)} = 1,68$  VT/m °C and heat capacity  $c_z^{(n)} = 1,05$  kDg/kg°C you should to get the needed temperature to melt the snow and prevent ice  $+(2 - 10)$  °C at ambient temperature  $-20$  °C.

The accuracy of solving the problems is related to the approximation of the temperature distribution in the layers by expression (6). When the layer thickness decreases, the accuracy increases, and the continuous functions change in steps. In order to achieve the required accuracy, each of the two layers of the road surface (fiber concrete [6], ShchMA-15 asphalt concrete [14]) is distributed into several sublayers with constant thermal characteristics.

– So, in general, we get a multilayer system for road surface:

– a layer of fibrobetel thick  $h = 0,05$  m divided into 10 sublayers  $h = 0,005$  m;

– a layer of ShchMA thick  $h = 0,06$  m on 10 sublayers on  $h = 0,006$  m.

– An example of the obtained stationary temperatures at the boundaries of the sublayers at heat flow  $q = 900$  Wt and external environment temperature  $-20$  °C for pavement are shown in table 1.

The next calculations are making with a further increase in heat flux from

$$q = 900 \text{ Wt. to } q = 1400 \text{ Wt. (with a step } \Delta q \text{ Wt.)}$$

The solution of equation (1) allowed to determine the dependence of the temperatures of the heating system on the heat flux, which is fed to the electrically

conductive grid. So, table 2 shows the results of the calculation for the road heating surface.

The calculations establish the possibility of providing at an ambient temperature of  $-20^{\circ}\text{C}$  on the surface of the road surface a positive temperature from  $+2.2^{\circ}\text{C}$  to  $+11^{\circ}\text{C}$  at a heat flux from 1000 W to 1400 W.

So, if the temperature along the thickness of the layer of fibrobetal for the pavement is maintained from  $+ (78.2-121.2)^{\circ}\text{C}$  to  $+ (30.6-54.6)^{\circ}\text{C}$ , the surface of the pavement provides the necessary thermal effect.

The heat-insulating properties and a layer of thermal insulation are checked. According to Fourier's law, the amount of heat ( $q$ , Wt), which is transferred to a layer of thermal insulation thickness  $\Delta l = 0.05\text{m}$  per plane of a standard cement concrete slab ( $s$ ) depends on the thermal conductivity of the thermal insulation material ( $\lambda$ ), temperature gradient on the surfaces of the layer for some time ( $\varnothing T$ ) for time ( $t$ ).

$$q = \lambda \frac{\Delta T}{\Delta l} st. \quad (7)$$

If we assume that the thermal insulation layer is supplied with heat of 1400 W, then from formula (7) the temperature gradient  $^{\circ}\text{C}$ .

$$\Delta T = \frac{q \Delta l}{\lambda s t} = \frac{1400 \cdot 0,05}{0,059 \cdot 18 \cdot 1} = 66$$

When the value of the temperature on the upper surface of the thermal insulation layer  $T_v = 121^{\circ}\text{C}$ , the temperature on its lower surface will be

$$T_n = T_v - \Delta T = 121 - 66 = 55^{\circ}\text{C},$$

which confirms the effectiveness of the adopted thermal insulation material.

**Conclusions.** The thermal calculation of the heated road surface according to the above method confirmed the effect of heating the road surface to a positive temperature at a negative ambient temperature. The further research in this area can be considered relevant and promising.

Table 1

The results of the calculation of the temperature field in the heater system ( $q=900\text{ Wt}$ )

Fibrobetal layer, $h = 0,05\text{ m}$ ( $\lambda_z^{(l)} = 0,84\text{ Wt/m}^{\circ}\text{C}$ ; $c_z^{(l)} = 0,47\text{ kDg/kg}^{\circ}\text{C}$ )											
$h_k, \text{m}$	0,000	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,045	0,050
$T, ^{\circ}\text{C}$	67,38	64,10	59,81	55,53	51,26	46,96	42,67	38,38	34,10	29,81	24,60
Surface SHMA, $h = 0,06\text{ m}$ ( $\lambda_z^{(n)} = 1,68\text{ Wt/m}^{\circ}\text{C}$ ; $c_z^{(n)} = 1,05\text{ kDg/kg}^{\circ}\text{C}$ )											
$h_k, \text{m}$	0,050	0,056	0,062	0,068	0,074	0,080	0,086	0,092	0,098	0,104	0,110
$T, ^{\circ}\text{C}$	24,60	22,97	20,42	17,87	15,31	12,76	10,21	7,65	5,10	2,55	+0,00

Table 2

Dependence of pavement temperatures on heat flow

Heat flow, Wt	The temperature of the lower surface of the fibrobetal, $^{\circ}\text{C}$	$\varnothing$ , $^{\circ}\text{C}$	Fibrobetal boundary surface temperature, $^{\circ}\text{C}$	$\varnothing$ , $^{\circ}\text{C}$	Coating surface temperature, $^{\circ}\text{C}$	$\varnothing$ , $^{\circ}\text{C}$
900	+67,4	10,8	+24,6	6	0,00	2,2
1000	+78,2	10,8	+30,6	6	+2,2	2,2
1100	+89,0	10,8	+36,6	6	+4,4	2,2
1200	+99,7	10,8	+42,6	6	+6,6	2,2
1300	+110,4	10,8	+48,6	6	+8,8	2,2
1400	+121,2	10,8	+54,6	6	+11,0	2,2

### References:

1. Гончаренко Ф.П. Теоретичні основи та практичні методи підвищення безпеки руху при експлуатації автомобільних доріг : монографія. Київ, 2000. 352 с.
2. Prasolenko O., Lobashov O., Galkin A. The Human Factor in Road Traffic Citi. *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*. 2015. Vol. 1. № 3. P. 77–84.
3. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-p>. (дата звернення: 09.11.2021).
4. Степура В.С., Белятинський А.О., Кужель Н.В. Основи експлуатації автомобільних доріг і аеродромів : навчальний посібник. Київ : НАУ, 2013. 204 с.



5. Володько О.В., Піскунов В.Г. Проектування дорожніх нагрівних покриттів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. № 26. С. 443–448.
6. Володько О.В. Проектування інноваційного дорожнього покриття для транспортної інфраструктури туристичної галузі. *Сталий розвиток туризму на засадах партнерства: освіта, наука, практика* : матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (27–29 жовтня 2021 р.). Львів : ЛТЕУ, 2021. С. 133–137.
7. Володько О.В. Дослідження механічних та електричних характеристик нових резистивних матеріалів. *Вісник Полтавського університету економіки і торівлі*. Полтава, 2015. № 1 (73). С. 140–146.
8. Piskunov V.G., Volodko O.V., Porkhunov A.I. Composite materials for building of heated highway and airport runway coating. *Mechanics of composite materials*. Riga, 2008. Vol. 44. № 3. P. 317–326.
9. Гамеляк І.П., Якименко Я.М. Дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетону в залежності від температури і швидкості деформування. *Автошляховик України*. 2009. № 6. С. 12–15.
10. Пискунов В.С. Сипетов В.С. Расчет слоистых пологих оболочек из анизотропных композиционных материалов на статическое и температурное воздействие. *Проблемы прочности*. 1987. № 10. С. 79–82.
11. Старовойтов Э.И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости : учебник для студ. строит. специальностей. Гомель : БелГУТ, 2001. 344 с.
12. Пискунов В.Г., Сипетов В.С. Уточненная модель распределения температурного поля для решения задач термоупругости слоистых систем. *Доклады Академии Наук УССР*. 1987. № 5. С. 48–51.
13. Демчук О.Н. Сравнение приближенных уточненных трехмерных решений задачи термоупругости слоистых анизотропных пластин. *Механика композитных материалов*. Рига, 1995. Т. 31. № 2. С. 216–226.
14. ДСТУ Б В.2.7–127:2015. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетони щебенево-мастикові. Технічні умови. Київ : Мінбуд України, 2015. 28 с.

#### **Володько О.В., Рогова Н.В. МЕТОДИКА ТЕПЛООВОГО РОЗРАХУНКУ НАГРІВНОГО ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ**

*Безпечно утримання автомобільних доріг, особливо в зимовий період експлуатації, є актуальним питанням сьогодення. Серед різноманітних традиційних способів боротьби зі снігом та ожеледицею на покритті існує і альтернативний спосіб, зокрема використання нагрівних конструкцій покриттів. Розроблено методику теплового розрахунку екологічно безпечного нагрівного дорожнього покриття, а саме вирішено задачу теплопровідності при заданих певних теплових граничних умовах та умовах контакту шарів. Нагрівна система покриття складається із щебенево-мастикового асфальтобетону, шару електропровідного бетону (фібробетону), вуглецевої сітки для подачі струму та прошарку термоізоляції. Для розв'язання теплової задачі використана гіпотеза розподілу температури в прошарках нагрівного покриття по товщині системи. Задані фізико-механічні та теплофізичні характеристики шарів та граничні умови на їхні поверхні. Крізь нижню поверхню діє тепловий потік заданої потужності. Перенос тепла відбувається від нижньої поверхні до верхньої – перпендикулярно пакету шарів, що робить задачу теплопереносу одновимірною та стаціонарною. За заданих теплових умов стаціонарне одновимірне температурне поле для шару  $k=1.2...n$  описується диференціальним рівнянням теплопровідності. Точність розв'язання задачі пов'язана з апроксимацією розподілу температури в шарах. Зі зменшенням товщини шарів точність зростає, а неперервні функції змінюються на ступеневі. З метою досягнення необхідної точності кожен із двох шарів дорожнього покриття (фібробетон, щебенево-мастиковий асфальтобетон) розподіляється на декілька підшарів із постійними тепловими характеристиками. Отримано стаціонарні температури на границях підшарів за заданого теплового потоку. Визначено залежність температур нагрівної системи від теплового потоку, який подається на електропровідну сітку, та можливість забезпечення додатної температури на поверхні покриття за від'ємної температури зовнішнього середовища. Перевірені теплоізоляційні властивості шару термоізоляції (насипного піноскла «Піноситал») та підтверджено ефективність його використання в конструкції.*

**Ключові слова:** фіброелектробетон, дорожнє покриття, щебенево-мастиковий асфальтобетон, теплопровідність, граничні умови, теплофізичні характеристики, нагрівна система, тепловий потік, диференціальне рівняння теплопровідності.

## **ЕЛЕКТРОНІКА**

---

УДК 621.3.049

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.6/44>

**Олішевський Ю.С.**

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

**Яма О.С.**

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

**Колесник О.Ю.**

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

**Хохлов І.В.**

Рочестерський технологічний інститут

**Хохлов Ю.В.**

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

**Ямненко Ю.С.**

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

**Мороз А.В.**

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

**Леон Резник**

Рочестерський технологічний інститут

## **ЗАХИСТ МІКРОКОНТРОЛЕРА ВІД ЗЧИТУВАННЯ**

*Стаття надає уявлення, що частина апаратного забезпечення, або, точніше, мікросхема, споживає різну кількість енергії залежно від того, які операції виконуються. Також розкриває терміни і поняття, що пов'язані з витоком даних через побічні джерела, пояснює, що таке аналіз потужності. Наведено схеми підключення шунтуючих резисторів, для знімання осцилограм струму споживання мікроконтролера. Побудовано реальний стенд і знято осцилограми струму споживання тестової програми, яку виконує Atmega 328P. В результаті вимірювання справдилися наступні твердження: програма виконується циклічно, тому профіль струму споживання носить циклічний характер. Важливо підкреслити, при виконанні коду, деякі частини коду або змінні виконуються кілька раз за цикл, тому форма споживаного струму також однакова. Сьогодні машинне навчання прогресує від дослідження до основного і є мотиваційним стимулом в епоху інновацій. Сьогодні галузям необхідно подумати про те, як машинне навчання може допомогти їм створити конкурентну перевагу. Мало хто може використовувати дані, щоб визначити тенденції у продуктивності співробітників або їх ринкових продуктах.*

**Ключові слова:** мікроконтролер, аналіз потужності, атака методом побічних джерел, споживаний струм, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** Мікроконтролер вразливий навіть коли просто виконує певні операції – додавання або віднімання або виконує криптографічні операції. Вже навіть просто спостереження за ним може бути дуже інформативним. Наприклад, через зміни миттєвого споживання електроенергії. Зловмисники можуть перехопити дані та розшифрувати їх багатьма методами. Одним із таких є аналіз миттєвої потужності споживання.

Аналіз потужності споживання – це різновид атак на побічні джерела інформації. У цьому випадку побічним джерелом є характер змін миттєвого споживання енергії. В електронних обчислювальних машинах на залежність миттєвої споживаної потужності від часу впливають дані, які обробляє машина, а також від операцій, які виконує вона виконує [2]. Мікроконтролери як різновид ЕОМ також демонструють такий ефект. Аналізуючи характер змін миттєвої потужності споживання під час виконання криптографічних операцій можна навіть визначити криптографічний ключ.

На рис. 1 комп'ютер вводить набір відомих відкритих текстів у криптографічний пристрій, який виконує шифрування. Поки пристрій виконує шифрування, осцилограф вимірює споживану потужність. Для кількох сотень зразків простого тексту отримують так звані відбитки потужності, а потім їх аналізують на комп'ютері за допомогою такого алгоритму, як Простий аналіз потужності (англ.-Simple Power Analysis (SPA)), Диференціальний аналіз потужності (англ.-Differential Power Analysis (DPA)) [3] або Кореляційний аналіз потужності (англ.-Correlation Power Analysis (CPA)) [4] щоб отримати секретний ключ системи. Оскільки звичайний текст у цьому випадку відомий зловмиснику, це відомі атаки із відкритим текстом.

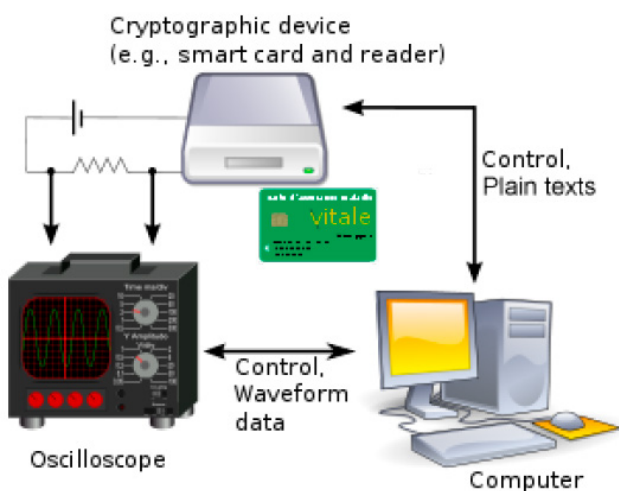


Рис. 1. Атака за допомогою аналізу потужності

Розглянемо рис. 1.1. Звичайний текст подається як вхід до системи, і система запускає шифрування для виведення зашифрованого тексту. Ключ, який використовується в системі, невідомий на зовні, але система ненавмисно розкриває інформацію різними бічними каналами. Ці дані бічного каналу збираються та аналізуються разом із вхідними даними для отримання секретного ключа. Цей же процес можна виконати і в операції дешифрування, де тепер вхідним буде зашифрований текст, а виведенням буде звичайний текст.

**Постановка завдання.** Мета статті – пояснити, що таке аналіз потужності, а також показати, підготовку плати *Arduino Uno Rev.3* для виконання цього дослідження. Надати іншим дослідниками уявлення, що частина апаратного забезпечення, або, точніше, мікросхема, споживає різну кількість енергії залежно від того, які операції виконуються.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**  
**1. Схеми вимірювання потужності.** Дослідження вимагає вимірювання потужності, спожитої під час виконання операцій мікроконтролером. На перший погляд здається, простим рішенням було б розрізати USB-кабель і вставити резистор в лінію живлення, але це не спрацює. Перш за все, так буде виміряна вся потужність, що споживається, включаючи таку, що споживають світлодіоди та інший мікросхеми, наприклад, USB-UART. Буде отримано занадто багато шуму. Необхідно вимірювати якомога ближче до мікроконтролера. Резистор необхідно розташувати безпосередньо в лінії живлення мікросхеми. Оскільки можливості для безпосереднього вимірювання енергоспоживання пристрою недоступні, виникає необхідність непрямого методу. Отже, фактично, штифт мікросхеми буде піднято вгору, щоб було змога розташувати резистор між мікроконтролером і друкованою платою.

На рис. 2 показано просте налаштування мікроконтролера, підключеного до джерела живлення.

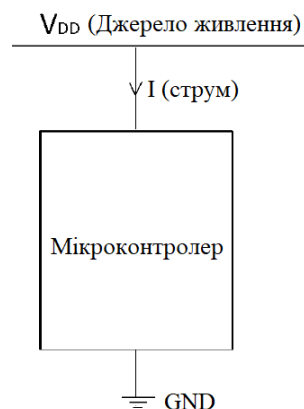


Рис. 2. Струм, що споживається мікроконтролером

Споживання потужності мікроконтролера у цьому випадку визначається рівнянням:

$$P = V_{DD}I,$$

де  $I$  – миттєвий струм,  $V_{DD}$  – напруга живлення. Оскільки  $V_{DD}$  постійна, струм  $I$  прямо пропорційний потужності  $P$ . Тому потужність можна визначити, вимірявши силу струму, але для вимірювання струму потрібен пристрій, який називається струмовим зондом, який є дорогим. Тому метод, за допомогою якого можна використовувати осцилограф, є кращим, але осцилографи вимірюють напругу, а не струм. Пропонується дві методики, які дозволяють використовувати осцилограф для вимірювання потужності.

*1.1. Метод заземлюючого резистора для вимірювання потужності.* Перший метод полягає в тому, щоб підключити резистор в ланці, в якій мікроконтролер заземлений, як показано на рис. 3. Тепер падіння напруги на резисторі визначається як  $V = IR$ , де  $R$  - опір. Оскільки опір можна вважати константою, вимірюючи напругу, ми можемо вивести струм, який, у свою чергу, можна використовувати для виведення потужності. Тому, підключивши осцилограф через резистор, потужність можна виміряти, як на рис. 3.

За допомогою цього методу можна отримано шукану потужність, однак за цим методом не всі експерименти успішні. Авторами з'ясувалося[1], що на неправильні результати вплинули два фактори.

1. Занадто малий опір резистора.
2. Неправильне заземлення.

У прикладі [2, с. 49–51] для своєї установки вимірювання потужності використано резистор 1 Ом. Запущений алгоритм CPA на вимірах, зібраних за допомогою резистора 1 Ом, автори не змо-

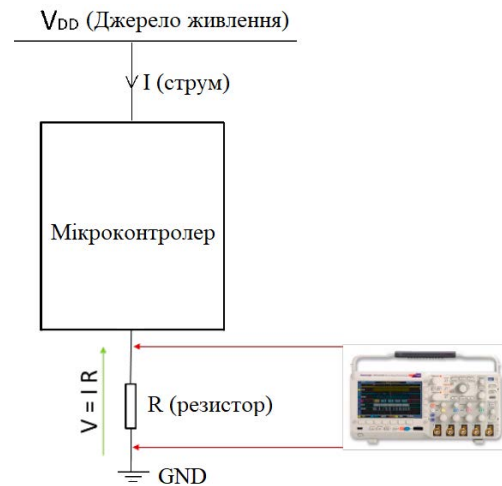


Рис. 3. Вимірювання потужності за допомогою методу заземлення

гли отримати ключ. Але пізніше з'ясувалося, що коли використовується резистор 10 Ом або вище, можна успішно отримати ключ.

Показник потужності майже дорівнював 0, що означало, неправильні вимірювання. Після дослідження виявилось, що проблема була в неправильному розміщенні проводу заземлення осцилографа. На рис.4 а) заземлення USB підключено до верхньої частини резистора, а заземлення осцилографа – до нижньої частини резистора. Оскільки обидва значення заземлення однакові, це ставить напругу на резисторі до 0. Як рішення, підключили шуп осцилографа під'єднано, як показано на рис.4 б). Тепер обидві заземлення підключені до одного місця, але траса живлення буде інвертованою, оскільки вимірюється негативна напругу по відношенню до землі осцилографа. Але в осцилографах є функції для легкого інвертування хвилі.

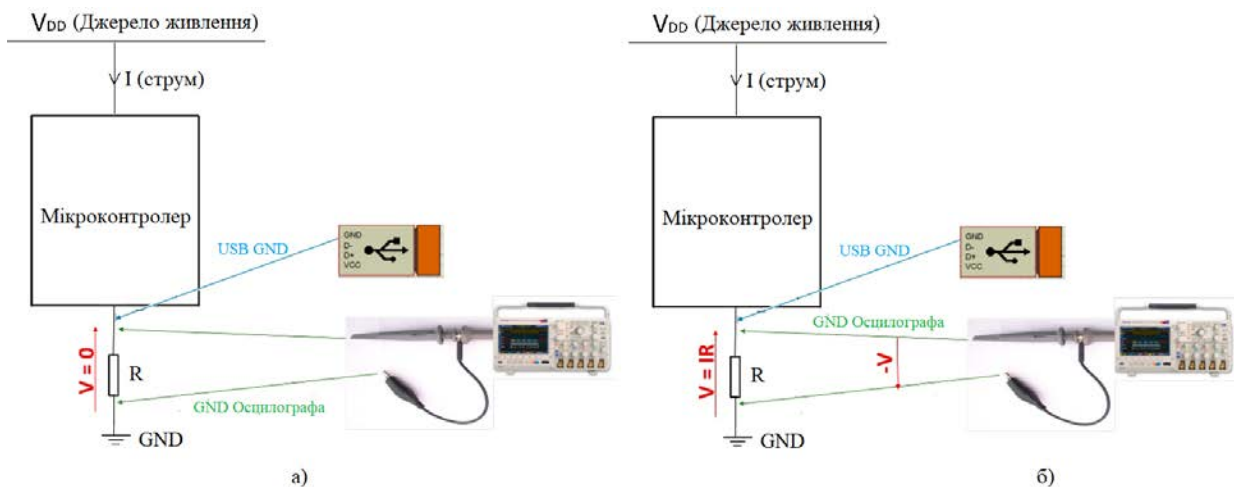


Рис. 4. а) Неправильний спосіб заземлення пробника осцилографа, б) Правильний спосіб заземлення пробника осцилографа

Після правильного підключення автори отримали правильні значення.

**1.2 Метод резистора джерела живлення для вимірювання потужності.** Іншим методом є розміщення резистора на ланці від джерела живлення, як показано на рис.5. Концепція подібна до попереднього методу, але тепер, якщо підключити звичайний щуп осцилографа для вимірювання напруги на точки А і В як на рис.5, резистор виходить із ладу. Причина у тому, що при підключенні заземлювального проводу щупа осцилографа до точки В ця точка заземлюється, і якщо значення резистора невелике, через неї буде протікати великий струм. Тому для вимірювання потужності на точках А та В необхідно використовувати спеціальний щуп, який називається диференціальним пробником, який є дорогим.

Як альтернатива можна використовувати два пробники осцилографа. Один щуп осцилографа можна під'єднати для вимірювання напруги між точками А та С, тоді як інший щуп можна під'єднати до точок В і С, переконавшись, що дроти заземлення обох зондів під'єднані до точки С. Тоді, віднімаючи напругу на першому щупі від напруги на другому щупі, можна отримати напругу між А і В. Однією з проблем із цим методом є непотрібні витрати на віднімання хвиль. Інша проблема полягає в тому, що більшість осцилографів зазвичай поставляються з двома щупами, і коли обидва щупи використовуються таким чином, не буде іншого щупа для використання в якості тригера.

Незважаючи на труднощі, метод  $V_{DD}$  резистора все ще є вигідним, оскільки для аналізу потрібна менша кількість вимірів потужності, що, у свою чергу, зменшить час.

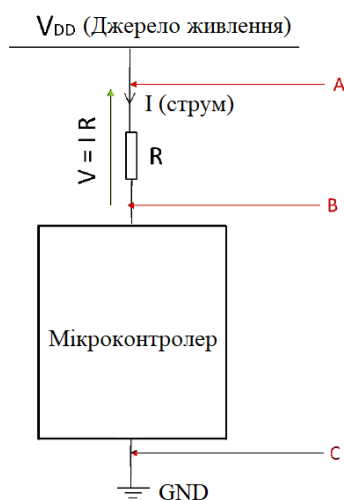


Рис. 5. Вимірювання потужності за допомогою методу резистора джерела живлення

Дещо змінивши попередній спосіб, можна використовувати лише один щуп для вимірювання потужності за допомогою методу  $V_{DD}$  резистора. Шляхом підключення щупа осцилографа між точками В і С. Тому тут вимірюється напругу на мікроконтролері, а не на резисторі. Вимірювання за допомогою цього методу дозволяє виконувати дослідження, використовуючи меншу кількість вимірів, ніж тих, що потрібні при використанні методу заземлення. Порівняння необхідної кількості проводиться в [1].

**2. Практичне дослідження аналізу потужності.** Як досліджуваний зразок обрано плату для розробки *Arduino Uno Rev.3* з мікроконтролером *Atmel Atmega328P*. Робоча частота контролера складає 16 МГц [5], тому потрібен цифровий осцилограф, яких дуже швидко зможе вимірювати невеликі відхилення. Обрано цифровий осцилограф Siglent SDS1052DL+, який може вимірювати дані з частотою до 70 МГц [6]. Зібраний за рис. 5 досліджуваний стенд зображено на рисунку нижче.

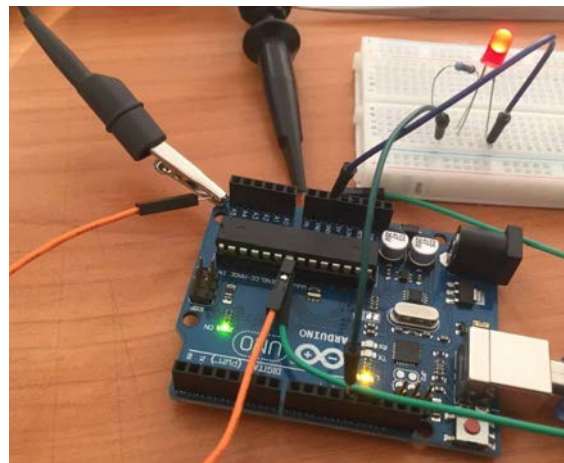


Рис. 6. Досліджувана установка

На рис. 7 зображено чотири виміри струмів під час прошивки тестової програми.

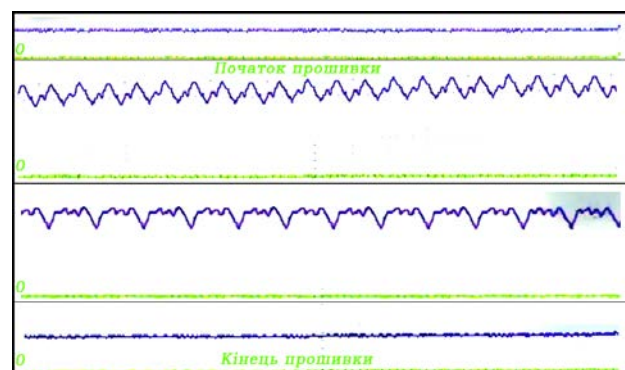


Рис. 7. Осцилограми струму при прошивці мікроконтролера

Далі була написана тестова програма мовами C++ та С++ зі вставками на Асемблері . Лістинг наведено нижче.

```

void setup() {
  DDRB = 0b00100000;
}
void loop() {
  PORTB = 0b00000000;
  delay(450);
  PORTB = 0b00100000;
  delay(50);
}

void setup() {
  asm volatile
  (
    "ldi R16, 0b00100000 \n"
    "out 0x04, R16 \n"
  );
}
void loop() {
  asm volatile
  (
    "ldi R16, 0b00000000 \n"
    "out 0x05, R16 \n"
  );
  delay(450);
  asm volatile
  (
    "ldi R16, 0b00100000 \n"
    "out 0x05, R16 \n"
  );
  delay(50);
}
    
```

Обидві програми виконують одну і ту саму функцію: вмикають та вимикають світлодіод. Але через особливості написання коду займають різну кількість пам'яті. Осцилограми споживання струму наведено нижче (рис.8). Синя – мова C++, червона – C++ зі вставками на Асемблері .

Оскільки програма виконується циклічно, профіль струму споживання носить також циклічний характер. На рис. 8 добре видно один період. Важливо підкреслити, при виконанні коду, деякі частини коду або змінні виконуються кілька раз за цикл, тому форма споживаного струму також однакова. Схожі елементи виділено на рис.8.

Подальша робота полягає в повному аналізі подібних профілей струму за допомогою методів машинного навчання (multilayer perceptron (NN), Random Forest (decision tree), J48 (decision tree)).

Публікація ґрунтується на роботі, що фінансувалась коштом гранту G-202105-67 «Security evaluation and improvement of the personal cyberinfrastructure with new tools and education development», одержаного від Фонду цивільних досліджень та розвитку США (CRDF Global). Будь-які думки, спостереження, висновки або рекомендації, викладені у цьому матеріалі, належать авторові (авторам) і можуть не віддзеркалювати поглядів CRDF Global.

**Висновки.** Стаття розкриває терміни і поняття, що пов'язані з витоком даних через побічні джерела, пояснює, що таке аналіз потужності. Наведено схеми підключення шунтуючих резисторів, для знімання осцилограм струму споживання мікроконтролера. Побудовано реальний стенд і знято осцилограми струму споживання тестової програми, яку виконує *Atmega 328P*.

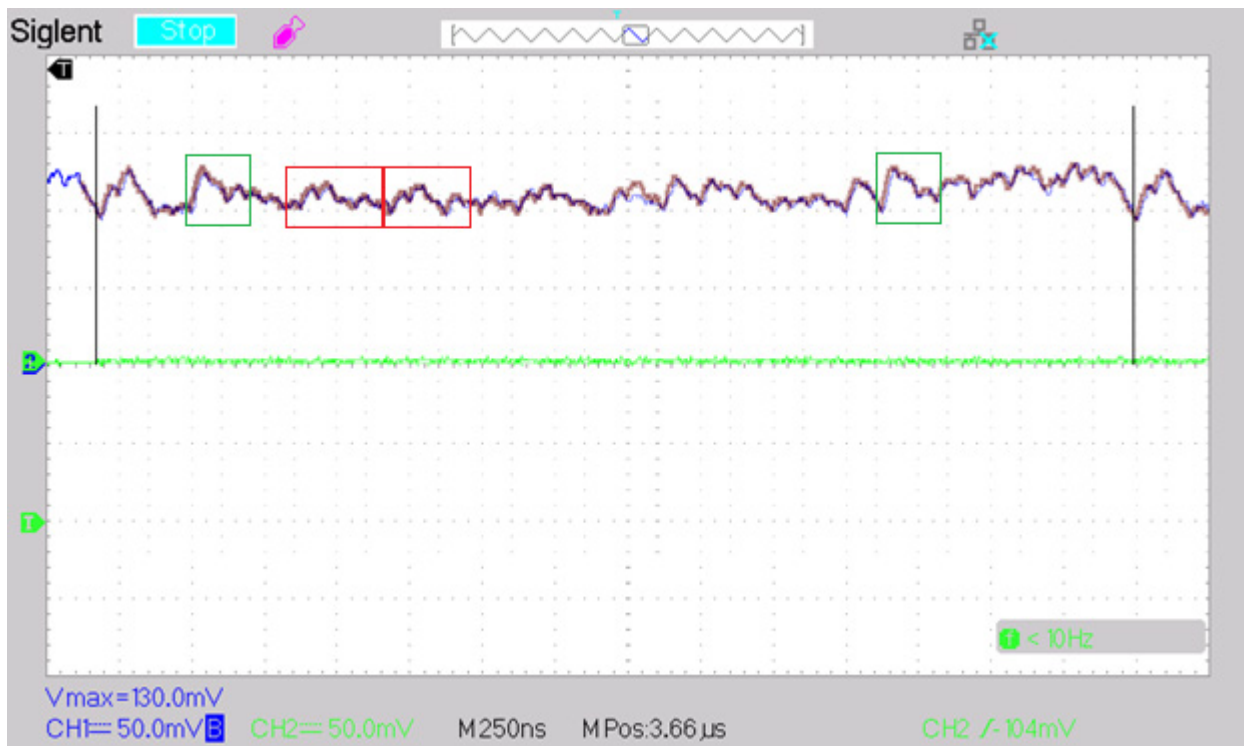


Рис. 8. Струм споживання мікроконтролера при виконанні тестової програми

## Список літератури:

1. Gamaarachchi H., Ganegoda H. Power analysis based side channel attack. arXiv preprint arXiv:1801.00932. 2018. URL: <https://arxiv.org/abs/1801.00932>
2. Mangard S. et al., Power Analysis Attacks: Revealing the Secrets of Smart Cards (Advances in Information Security). Secaucus, NJ, USA : Springer-Verlag New York, Inc., 2007. URL: [https://www.iacr.org/books/2010\\_sp\\_MangardOswaldPopp\\_DPA.pdf/](https://www.iacr.org/books/2010_sp_MangardOswaldPopp_DPA.pdf/)
3. Kocher P., Jaffe J., Jun B. (1999) Differential Power Analysis. In: Wiener M. (eds) Advances in Cryptology – CRYPTO’ 99. CRYPTO 1999. Lecture Notes in Computer Science, vol 1666. Springer, Berlin, Heidelberg. URL: [https://doi.org/10.1007/3-540-48405-1\\_25](https://doi.org/10.1007/3-540-48405-1_25)
4. E. Brier et al. Correlation power analysis with a leakage model. *Cryptographic Hardware and Embedded Systems-CHES 2004*. Springer, 2004, pp. 16–29. DOI:10.1007/978-3-540-28632-5\_2
5. Arduino Uno Rev.3 development board. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>.
6. Digital oscilloscope Siglent SDS1052DL +. URL: <https://www.siglent.eu/product/1139150/siglent-sds1052dl-50mhz-dual-channel-oscilloscope>.

**Olishevsky Y.S., Yama O.S., Kolesnik O.Y., Khokhlov I.V., Khokhlov Y.V., Yamnenko Y.S., Moroz A.V., Leon Reznik. PROTECTION OF THE MICROCONTROLLER FROM READING**

*The microcontroller is vulnerable even when it simply performs certain operations – addition or subtraction, or performs cryptographic operations. Even just watching him can be very informative. For example, due to changes in instantaneous electricity consumption. Attackers can intercept data and decrypt it in many ways. One of these is the analysis of instantaneous power consumption. This article provides an idea that part of the hardware, or, more precisely, the chip, consumes different amounts of energy depending on what operations are performed. Power consumption analysis is a type of attack on side sources of information. In this case, a side source is the nature of changes in instantaneous energy consumption. In electronic computers, the dependence of instantaneous power consumption on time is influenced by the data processed by the machine, as well as on the operations it performs. Microcontrollers, as a type of computer, also demonstrate this effect. By analyzing the nature of changes in instantaneous power consumption during cryptographic operations, you can even determine the cryptographic key. It also reveals the terms and concepts associated with data leakage through incidental sources, explains what power analysis is. The connection diagrams of shunt resistors for oscillogram of current consumption of microcontroller are given. A real stand was built and current consumption oscillograms of the test program performed by Atmega 328P were taken. The Arduino Uno Rev.3 development board with Atmel Atmega328P microcontroller was selected as the test sample. The operating frequency of the controller is 16 MHz, so you need a digital oscilloscope, which can very quickly measure small deviations. The Siglent SDS1052DL + digital oscilloscope, which can measure data up to 70 MHz, has been selected. Because the program is run cyclically, the current consumption profile is also cyclical. It is important to emphasize, when executing the code, some parts of the code or variables are executed several times per cycle, so the form of current consumption is also the same. Today, machine learning is progressing from research to basic and is a motivational stimulus in the age of innovation. Today, industries need to think about how machine learning can help them create a competitive advantage. Few can use the data to identify trends in employee productivity or their market products.*

**Key words:** microcontroller, power analysis, attack by side sources, current consumption, machine learning.

**Хижняк І.А.**

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

## ПРИСТРІЙ ЗБОРУ ДАНИХ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ НАВЧАЛЬНОЇ ЦИФРОВОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

*Потреба на використання цифрових лабораторій з кожним роком постійно зростає, оскільки такий пристрій дає змогу проводити дослідження в таких галузях, як біологія, фізика, хімія та інші природничі науки. Доведено, що використання сучасного обладнання підвищує ефективність лабораторних занять у школах та університетах. Сьогодні існує велика кількість освітніх цифрових лабораторій, які знаходять багато сфер застосування – від лабораторних робіт у школі до лабораторій в університетах. Проте наявні пристрої мають багато можливостей для покращення зручності використання під час вимірювань. Метою роботи є огляд наявних рішень, а також пошук рішень для створення вдосконаленої версії цифрових навчальних лабораторій. Основним недоліком наявних рішень є відсутність передачі даних через Wi-Fi або Bluetooth, а також підключення до комп'ютера або смартфона, що могло б значно покращити процес роботи з таким пристроєм. Одним із рішень цієї проблеми є створення цифрових навчальних лабораторій на базі мікроконтролера ESP-32. Попередній огляд наявних цифрових лабораторій показав, що ця сфера потребує вдосконалення, оскільки наявні технології дають змогу створювати набагато кращі пристрої з точки зору простоти використання, фінансово вигідніші умови створення та ширший спектр можливостей для навчальних цілей. Bluetooth і Wi-Fi є основними елементами, додавання яких значно покращить роботу цифрових лабораторій. Мікроконтролер ESP-32 включає ці модулі, а його технічні характеристики дають змогу створити пристрій, який буде одночасно збирати дані з багатьох підключених датчиків. Створення цифрової лабораторії з такими характеристиками значно покращить процес лабораторних робіт у школах та університетах, а також дасть змогу більш організованого дистанційного навчання в Інтернеті, що позитивно вплине на навчальний процес у школах та університетах.*

**Ключові слова:** цифрова лабораторія, ESP-32, пристрій збору даних, навчальна лабораторія, датчики вимірювання.

**Постановка проблеми.** Потенціал використання цифрових лабораторій з кожним роком постійно зростає, оскільки такий пристрій дає змогу проводити дослідження в таких галузях, як біологія, фізика, хімія та інші природознавчі науки. Доведено, що використання сучасного обладнання підвищує ефективність проведення лабораторних занять у школах [1]. Використання подібних технологій дає можливість проводити лабораторні також в університетах і медичних установах залежно від виду дослідів і необхідного устаткування. Важливо відмітити, що за всіх необхідних умов і наявності цифрової лабораторії можна проводити лабораторні заняття дистанційно в онлайн формі. Сьогодні це дуже важливо, оскільки існує проблема засвоєння матеріалу студентами та школярами під час дистанційних занять, особливо лабораторних. Залежно від типів датчиків, способу їх під'єднання й очікуваного результату необхідно створювати пристрій збору даних.

Огляд наявних цифрових лабораторій. До однієї з цифрових лабораторій відноситься

Einstain LabMate II, зображений на рисунку 1, який має дисплей для відображення результатів вимірювань, проте має досить нешироку низку датчиків [2]. Пристрій Einstain LabMate II володіє вбудованими сенсорами вологості, частоти серцевих скорочень, температури, барометричного тиску, рівня освітченості й ультрафіолету. Для використання цього пристрою необхідне програмне забезпечення MiLAB та MiLAB X.



Рис. 1. Пристрій Einstain LabMate II



Також цей пристрій володіє здатністю передавати інформацію за допомогою Bluetooth. Інтерфейс використання пристрою досить зручний, адже він включає різнокольорові світлодіоди, за якими можна зрозуміти стан роботи приладу. Якщо зелений індикатор постійно блимає, це вказує на те, що пристрій увімкнено, він не є парним пристроєм Bluetooth. Зі всіх цифрових лабораторій, які розглядалися, цей пристрій можна відзначити, оскільки в ньому є можливість передачі результатів вимірювань за допомогою Bluetooth, проте має досить високу ціну.

Також варто звернути увагу на спеціалізований комп'ютер NOVA 5000 компанії FOURIER на рисунку 2, який має комп'ютер у своєму комплекті, що значно збільшує ціну на такий пристрій, крім того, немає можливості передачі інформації на комп'ютер [3]. Якщо говорити про цифрові лабораторії без відображення даних, можна згадати USBLink компанії FOURIER, зображений на рисунку 3, який має можливість передачі даних тільки на комп'ютер, проте тільки дротовим шляхом [4].



Рис. 2. Спеціалізований комп'ютер NOVA 5000 компанії FOURIER



Рис. 3. USBLink компанії FOURIER

Виходячи з досліджених пристроїв, можемо зробити позитивні та негативні висновки про кожен пристрій. Також важливо відмітити всі технічні рішення, їх реалізацію та обґрунтування обраного рішення.

Для кращого розуміння всі прилади можна поділити на 3 категорії. Перша категорія – це

повноцінні комп'ютери, для яких потрібні лише окремі датчики. Друга категорія – лише ті цифрові лабораторії, для роботи яких необхідні датчики та комп'ютер з програмним забезпеченням для обробки даних і створення відповідних графіків. Третя категорія – поєднання деяких датчиків і пристрою збору даних.

Аналоги цифрових лабораторій, або пристроїв збору даних першого та третього типу є актуальними лише з навчальною метою на початкових етапах та у вузьких галузях науки. Звичайно, якщо завдання – створити таку систему, у яку будуть убудовані всі необхідні датчики та відображення результатів, то така система є досить вдалим рішенням. Проте більшість завдань можна вирішити створенням пристрою збору даних другого типу, що забезпечить низьку вартість готового виробу, буде підходити для багатьох завдань, легко масштабуватися та розширюватися, мати можливість перепрограмування, володіти можливістю передачі інформації за допомогою Wi-Fi та Bluetooth.

**Постановка завдання.** Часто необхідно, щоб датчики, які використовуються під час досліджень, працювали не окремо, а в парі або певній системі з іншими датчиками. Звісно, сигнали із цих приладів потрібно обробляти та передавати для відображення на перший пристрій, комп'ютер або смартфон. Потрібен прилад, який збирає дані зі всіх датчиків та обробляє, саме це і є головною частиною цифрової лабораторії.

Більшість наявних рішень мають власний комп'ютер, який приймає та відображає інформацію [5]. Таке рішення потребує зайвих витрат, а також має низьку ремонтпридатність у випадку поломки. Проте є досить вдалим цифрові лабораторії, які передбачають передачу інформації на комп'ютер, проте лише дротовим шляхом [6]. Такі рішення є досить вдалим, проте набагато краще мати можливість приймати інформацію бездротовим шляхом, що дасть змогу обробити й відобразити дані не тільки на комп'ютері, а й на смартфоні або планшеті.

Для зручності використання також важливо створити можливість авторозпізнавання датчиків, щоб при відображенні значень на екрані комп'ютера можна було побачити, з якого саме датчика ці дані. Це важливо для інтерфейсу, особливо коли використовується декілька датчиків одночасно.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для створення цифрової лабораторії, яка буде задовольняти всі потреби користувачів, такі як бездротова передача даних на комп'ютер, смартфон

або планшет, необхідно вдало обрати компоненти схеми майбутнього пристрою. Відповідно, необхідні Wi-Fi та Bluetooth модулі, а також мікроконтролер, який буде мати можливість приймати й передавати інформацію для подальшої обробки. Вдалим рішенням буде обрати мікроконтролер ESP-32 [7].



Рис. 4. Позначення портів на платі ESP32 Espressif ESP-WROOM-32

ESP32 (рис. 4) володіє доволі широкими технічними характеристиками. Основні з них наведені нижче [8].

- Процесор: 2-ядерний, 32-розрядний, 160/240 МГц.
- Пам'ять SRAM, 520 Кб.
- Бездротовий зв'язок: Wi-Fi, Bluetooth: 4.2.
- Периферійні інтерфейси: 12-розрядний АЦП, 18 каналів; 2 × i2s для інтерфейсів; 2 × 8-біт цапи;

- 4 × СВО;
- 3 × UART;
- 2 × I2C інтерфейси;
- SDIO/SPI підпорядкований контролер.

ESP-32 вже зарекомендував себе як мікроконтролер для систем розумного будинку, автоматизації певних процесів, створення розумних приладів і відомий серед початківців і досвідчених у сфері робототехніки.

Для під'єднання датчиків буде використовуватися роз'єм MiniDin, оскільки існує багато датчиків, які можна під'єднати за його допомогою.

На рис. 5 наведено зовнішній вигляд MiniDIN-8, нумерація його портів і їх призначення.

Реалізація можливості авторозпізнавання буде здійснюватися за допомогою так званих кодових резисторів. Кожен датчик має свій резистор, що дає змогу ідентифікувати його, подавши напругу й отримавши унікальне значення струму з кожного датчика. Проте, якщо необхідно використати датчик, у якому кодового резистору немає, у цьому не буде ніякої проблеми.

Отже, знаючи необхідні компоненти та можливості, якими буде володіти майбутній пристрій, створили таку принципову схему (рис. 6).

У таблиці нижче (таблиця 1) наведено мікросхеми, які використовуються в цій схемі. Також схема включає резистори, конденсатори, індуктивності й діоди, проте вони не наведені в таблиці, оскільки наведених даних достатньо для розуміння принципу роботи пристрою та реалізації задуманого функціоналу.

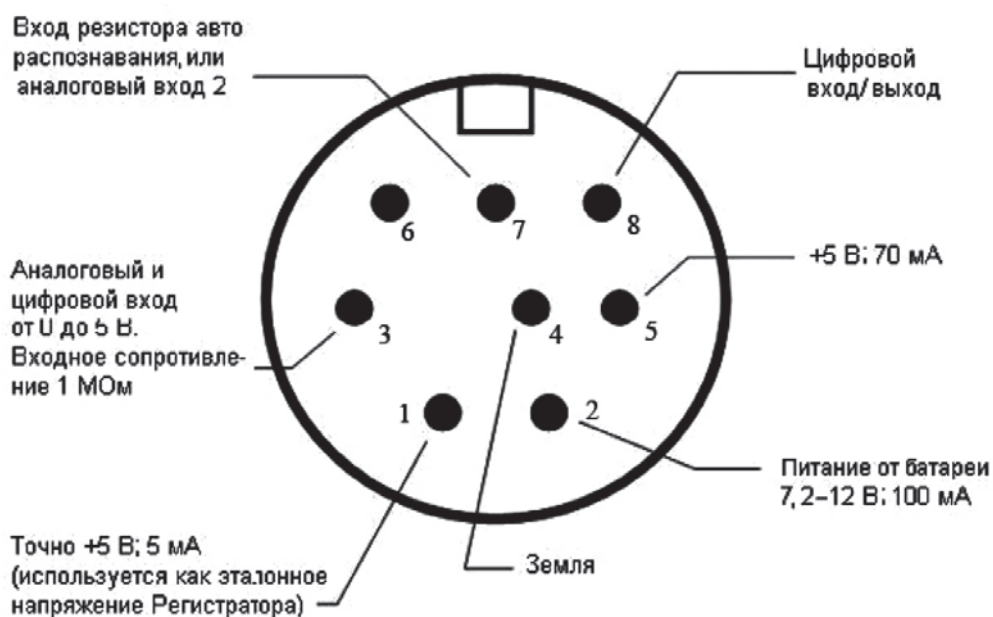


Рис. 5. Призначення контактів MiniDIN-8

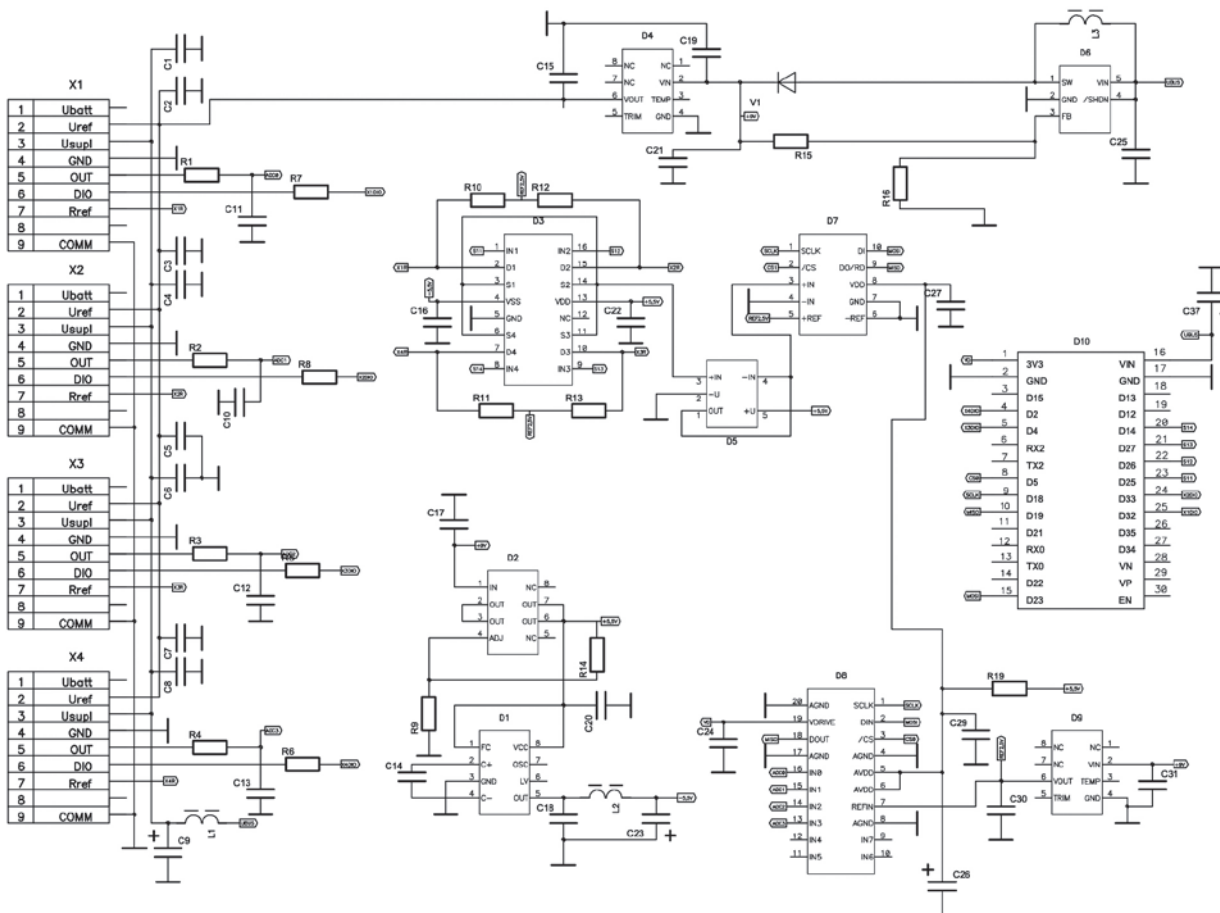


Рис. 6. Принципова схема пристрою збору даних

Таблиця 1  
Мікросхеми, які використовуються у створеній схемі

Позначення	Назва	Кількість	Примітка
D1	LM2660	1	TI
D2	LM317LD	1	TI
D3	ADG1611	1	AD
D4	ADR02	1	AD
D5		1	TI
D6	LT1615	1	LT
D7	AD7788	1	AD
D8	AD7927	1	AD
D9	ADR03	1	AD
D10	ESP32	1	ESP32

**Висновки.** У роботі були розглянуто наявні пристрої збору даних, а також наведено схему створеного пристрою збору даних на базі мікро-

контролера ESP-32. Перевагами створеного пристрою є можливість передачі вимірних даних за допомогою Wi-Fi та Bluetooth на комп'ютер або планшет. Також наведена схема дає можливість автоматичного розпізнавання під'єднаних датчиків за допомогою кодових резисторів, що позитивно впливає на зручність використання. Датчики, відповідно, можуть бути як цифрові, так й аналогові, що значно розширює спектр використання цього пристрою.

Створення пристрою збору даних для цифрової лабораторії з такими характеристиками значно покращить процес проходження лабораторних робіт у школах та університетах, а також дасть змогу більш організовано проводити заняття дистанційно в онлайн режимі, що позитивно вплине на навчальний процес у школах та університетах.

#### Список літератури:

1. Corter J.E. et al. Process and learning outcomes from remotely- operated, simulated, and hands-on student laboratories. *Computers & Education*. 2011. Vol. 57. № 3. P. 2054–2067.
2. Пристрій збору даних LabMate II від einstein. Опис, документація. URL: <http://einsteinworld.com/product/labmate-2/>.

3. Пристрій збору даних NOVA500 від Fourier. Опис, ціна, документація. URL: <https://fourieredu.com/fwp/ru/store/products/nova5000-ru/>
4. Пристрій збору даних USBLink від Fourier. Опис, ціна, документація. URL: <http://www.keepad.com/usblink.php>.
5. Samiei E., Tabrizian M., Hoorfar M. A review of digital microfluidics as portable platforms for lab-on a-chip applications. *Lab Chip. The Royal Society of Chemistry*. 2016. Vol. 16. № 13. P. 2376–2396.
6. Kim S., Mankoff J., Paulos E. Sensr: evaluating a flexible framework for authoring mobile data-collection tools for citizen science. *Proceedings of the 2013 conference on Computer supported cooperative work*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2013. P. 1453–1462.
7. Maier A., Sharp A., Vagapov Y. Comparative analysis and practical implementation of the ESP32 microcontroller module for the internet of things. *Internet Technologies and Applications (ITA)*. 2017. P. 143–148.
8. ESP-32 від espressif. Технічна документація, характеристики. URL: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf).

#### **Khyzhniak I.A. MEASUREMENT DATA COLLECTION DEVICE FOR DIGITAL LABORATORY**

*The need to use digital laboratories is constantly growing every year, as such a device allows for research in areas such as biology, physics, chemistry and other natural sciences. It is proved that the use of modern equipment increases the efficiency of laboratory classes in schools and universities. Today, there are a large number of educational digital laboratories that find many areas of application – from laboratory work at school to laboratories at universities. However, existing devices have many opportunities to improve usability during measurements. The purpose of this work is to review existing solutions, as well as to find solutions to create an improved version of digital training laboratories. The main disadvantage of existing solutions is the lack of data transfer via Wi-Fi or Bluetooth, as well as connection to a computer or smartphone, which could significantly improve the process of working with such a device. One solution to this problem is to create digital training laboratories based on the ESP-32 microcontroller. A preliminary review of existing digital laboratories has shown that this area needs to be improved, as existing technologies allow to create much better devices in terms of ease of use, more cost-effective conditions and a wider range of opportunities for educational purposes. Bluetooth and Wi-Fi are the main elements, the addition of which will significantly improve the work of digital laboratories. The ESP-32 microcontroller includes these modules, and its specifications allow you to create a device that will simultaneously collect data from many connected sensors. The creation of a digital laboratory with such characteristics will significantly improve the process of laboratory work in schools and universities, as well as allow more organized distance learning on the Internet, which will have a positive impact on the educational process in schools and universities.*

**Keywords:** digital laboratory, ESP-32, data collection device, training laboratory, sensors for measurements.

## Відомості про авторів

**Айрапетян А.Г.** – студентка 4 курсу групи ОП-403Ба факультету транспорту, менеджменту та логістики Національного авіаційного університету

**Алімов Б.О.** – молодший науковий співробітник НВЦ Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Беглов К.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Державного університету «Одеська політехніка»

**Берневек Т.І.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

**Білий В.А.** – аспірант 4-го курсу кафедри технічної експлуатації флоту Національного університету «Одеська морська академія»

**Богдан Г.А.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бойко С.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів Національного університету «Запорізька політехніка»

**Вишемірська Я.С.** – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Володько О.В.** – кандидат технічних наук, доцент ВНЗ Укоопспілки «Полтавський університет економіки і торгівлі»

**Галаган Р.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Герасіна О.В.** – кандидат технічних наук доцент, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Гешева Г.В.** – асистент кафедри Комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Гнедюк В.Л.** – головний спеціаліст Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

**Голіков В.А.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технічної експлуатації флоту Національного університету "Одеська морська академія"

**Голованов С.Л.** – викладач циклової комісії авіаційного та радіоелектронного обладнання Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ

**Горєв В.М.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Гуйда О.Г.** – кандидат наук державного управління, старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Гусарова О.В.** – викладач циклової комісії природничих дисциплін Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ

**Гусєв О.Ю.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Гуцько К.І.** – студентка кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

**Дакі О.А.** – доктор технічних наук, доцент, директор Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Дворецька М.М.** – учениця 11 класу Миколаївського муніципального колегіуму імені Володимира Дмитровича Чайки

**Дворецький М.Л.** – кандидат технічних наук, доцент (б.в.з.) кафедри інженерії програмного забезпечення Чорноморського національного університету імені Петра Могили

**Дорофєєва З.Я.** – старший викладач кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Дроботович К.Є.** – магістр кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Слатонец Д.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри хімічних та біологічних технологій Дніпровського державного технічного університету

**Жовнерчук І.В.** – магістр другого року навчання кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Жуковський В.Р.** – студент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Державного університету «Одеська політехніка»

**Завгородній В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Завгородня Г.А.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Загородня Д.С.** – аспірантка кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

**Зайченко В.В.** – студент 6 курсу групи ІТ-04мп кафедри інформатики та програмної інженерії факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Зайченко І.В.** – студент 6 курсу групи ІТ-04мп кафедри інформатики та програмної інженерії факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Защолкін К.В.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж Державного університету «Одеська політехніка»

**Зінов'єва О.Г.** – старший викладач кафедри Комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Іваненко В.В.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Іваннікова В.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

**Іванова О.М.** – старший викладач кафедри комп'ютерних систем Державного університету «Одеська політехніка»

**Іванченко А.В.** – доктор технічних наук, професор-керівник секції хімічної технології неорганічних речовин кафедри хімічних та біологічних технологій Дніпровського державного технічного університету

**Карп Г.В.** – аспірант кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету

**Ківа І.Л.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського

**Кіндзера Д.П.** – кандидат технічних наук, доцент, Інститут хімії та хімічних технологій Національного університету «Львівська Політехніка»

**Кокіза С.В.** – Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

**Колесник В.В.** – кандидат технічних наук, старший науковий винахідник, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Колесник О.Ю.** – студентка кафедри Електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Коновал В.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри цивільного та промислового будівництва Черкаського державного технологічного університету

**Корнієнко В.І.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Корчак О.В.** – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**Корякін К.С.** – старший викладач кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету

**Крутинь Я.В.** – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**Кузнєцов М.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж Державного університету «Одеська політехніка»

**Лебедев Д.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання електронно обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Лебідь І.Г.** – кандидат технічних наук, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

**Лисенко О.І.** – доктор технічних наук, професор Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Лихошерстов Д.О.** – аспірант кафедри конструювання електронно обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ліганенко В.В.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Лісовець С.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Лужанська Н.О.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

**Мазуренко О.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортні вузли Навчально-наукового інституту «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту» Українського державного університету науки і технологій

**Мальцев А.Ю.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри математичних методів системного аналізу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мацюк С.М.** – асистент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

**Мельник О.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету, капітан далекого плавання

**Мовчан К.О.** – старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби Безпеки України

**Мозговенко А.А.** – асистент кафедри Комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Момот А.С.** – кандидат технічних наук, асистент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мороз А.В.** – співробітник кафедри Електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мурасов Р.К.** – кандидат технічних наук, докторант Національного університету оборони України

**Новіков В.І.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри телекомунікаційних систем Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ножнова М.О.** – викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ

**Одарченко Д.М.** – доктор технічних наук, професор кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

**Олещенко Л.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Олійник Ю.Л.** – викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ

**Олішевський Ю.С.** – студент кафедри Електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Омецинська Н.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Павлова Н.Л.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

**Пенкіна Н.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

**Петраченко Д.О.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу інженерно-технічних досліджень Інституту луб'яних культур Національної академії аграрних наук України

**Петрик В.Ф.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Петріна Р.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології Національного університету «Львівська політехніка»

**Піріков О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

**Піцик М.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій Національного транспортного університету

**Протасов А.Г.** – д.п.н., професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ревак О.А.** – викладач вищої категорії Відокремленого структурного підрозділу «Технологічний фаховий коледж» Дніпровського державного технічного університету

**Леон Резник** – Рочестерський технологічний інститут (Rochester Institute of Technology), Рочестер, Нью-Йорк, Сполучені Штати Америки

**Решетков Д.М.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри «Експлуатація портів і технологія вантажних робіт» Одеського національного морського університету

**Резніков М.І.** – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Рогова Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент, ВНЗ Укоопспілка «Полтавський університет економіки і торгівлі»

**Рященко О.І.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Сауляк Л.В.** – асистент кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

**Свірський В.В.** – молодший науковий співробітник, НВЦ Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Семичасвський С.В.** – старший науковий співробітник, НВЦ Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Серг І.В.** – студент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Державного університету «Одеська політехніка»

**Сенін Ю.І.** – 6 студент 6 курсу групи ІТ-04мп кафедри інформатики та програмної інженерії факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Сільванська Г.Н.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету

**Скирда О.Є.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

**Сова Н.А.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрно-економічного університету

**Соколова Є.Б.** – кандидат технічних наук, кафедра торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

**Сомар Г.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент Навчально-наукового інституту деревообробних та комп'ютерних технологій і дизайну Національного лісотехнічного університету України



**Сорока О.В.** – аспірант кафедри хімічних та біологічних технологій Дніпровського державного технічного університету

**Стилик І.Г.** – начальник сектору метрології НВЦ Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Стущанський Ю.В.** – викладач циклової комісії авіаційного та радіоелектронного обладнання Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ

**Суліма Ю.Ю.** – кандидат технічних наук, завідувач відділенням комп'ютерних систем відокремленого структурного підрозділу «Одеський технічний фаховий коледж Одеської національної академії харчових технологій»

**Сушин І.О.** – аспірант кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тарасов Д.О.** – студент кафедри «Комп'ютерні технології автоматизації» Державного університету «Одеська політехніка»

**Татар Л.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи Державного біотехнологічного університету

**Тенігін О.В.** – магістр кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Тихоніна І.І.** – старший викладач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету

**Ткаченко В.В.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Ткаченко Е.Е.** – здобувач вищої освіти кафедри хімічних та біологічних технологій Дніпровського державного технічного університету

**Тришин В.В.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Трофименко І.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Турейчук А.М.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри загальновійськових дисциплін Української військово-медичної академії

**Урум Н.С.** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Устенко А.С.** – магістрант Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Устенко І.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Фаленкова М.В.** – викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Чорноморського національного університету імені Петра Могили

**Фелінський Г.С.** – доктор фізико-математичних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Хебда А.С.** – викладач циклової комісії авіаційного та радіоелектронного обладнання Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ

**Хижняк І.А.** – магістрант факультету електроніки, кафедри мікроелектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Хохлов І.В.** – постдокторський науковий співробітник Ротчерського інституту технологій (Rochester Institute of Technology), Рочестер, Нью-Йорк, Сполучені Штати Америки

**Хохлов Ю.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри Електронних приладів та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Худайбердієва К.А.** – асистент кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрно-економічного університету

**Царук В.В.** – студент 6 курсу групи ІТ-04мп кафедри інформатики та програмної інженерії факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Чумаченко С.М.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій

**Чупринов Є.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металургійних технологій Навчально-наукового технологічного інституту Державного університету економіки і технологій

**Шилко С.О.** – завідувач відділення професійної освіти Відокремленого структурного підрозділу «Професійно-педагогічний фаховий коледж Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка»

**Шматко М.М.** – магістр кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Щегельська Н.М.** – Приватне акціонерне товариство «Український інститут із проектування і розвитку інформаційно-комунікаційної інфраструктури «Діпрозв'язок»

**Юсипів Т.В.** – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Якусевич Ю.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природничо-математичних та інженерно-технічних дисциплін Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Яма О.С.** – студент кафедри Електронних пристроїв та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ямненко Ю.С.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри Електронних приладів та систем факультету Електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Яцен Т.Г.** – здобувач вищої освіти кафедри хімічних та біологічних технологій Дніпровського державного технічного університету

## НОТАТКИ

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 32 (71) № 6 2021**

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](mailto:editor@tech.vernadskyjournals.in.ua)

Сторінка журналу: [www.tech.vernadskyjournals.in.ua](http://www.tech.vernadskyjournals.in.ua)

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 26,91. Ум. друк. арк. 33,95. Зам. № 0122/002

Підписано до друку 31.01.2022. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефон +38 (048) 709 38 69,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.