

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

*Журнал заснований у 1918 році*

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 33 (72) № 1 2022**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2022

## **Головний редактор:**

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

## **Члени редакційної колегії:**

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

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

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

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

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

**Дубко Валерій Олексійович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету 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 № 12 від 18.03.2022 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, 2022

## ЗМІСТ

### ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

Борисенко В.Д., Устенко С.А., Устенко І.В., Кузьма К.Т.

МОДЕЛЮВАННЯ КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНОК ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ S-ПОДІБНОЇ ФОРМИ.....1

### ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Кузьменко Т.М.

СЕРТИФІКАЦІЯ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ В УКРАЇНІ..... 6

Рудасьов В.Б., Якубовський О.М., Головіна О.В.

СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ  
В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ.....12

### ПРИЛАДИ

Ладиженський О.В.

АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ ЗІ СКЛАДНОЮ ПОВЕРХНЕЮ.....19

Овчарук В.Т.

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ МАРКУВАННЯ  
ДЛЯ ДОСЛІДНОГО ВИРОБНИЦТВА..... 23

Скакун О.В., Воскресенський В.Б.

ПИТАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ БЮДЖЕТНОЇ МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА  
ДЛЯ ПОТРЕБ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ІСТЕ СБУ (ІЗ ДОСВІДУ ПРАКТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ), 28

### РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Валуїський С.В., Фургат О.В., Сушин І.О., Турчин Я.В.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МОБІЛЬНИХ ЕПІЗОДИЧНИХ РАДІОМЕРЕЖ  
ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА.....37

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

ТЕРАГЕРЦОВЕ ДЖЕРЕЛО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЛАЗЕРНОЇ ВКР ФОТОНІКИ.....45

### ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

Абгарян Ю.С.

REMOTE DICTIONARY SERVER ЯК ОДНА ІЗ ГОЛОВНИХ СТРУКТУР  
МЕРЕЖЕВОГО СХОВИЩА ДАНИХ..... 53

Бабчинська Т.В., Дика А.І.

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РЕСУРСІВ  
ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ..... 59

Баган Т.Г., Бунь В.П., Безуглий Р.О.

АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ.....66

Головіна К.П., Касьян К.М., Касьян М.М.

РОЗРОБКА ВЕБДОДАТКУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ІТ-КУРСІВ.....74

Долгіх А.О., Байбуз О.Г.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНСАМБЛЕВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ.....79

Жученко А.І., Ситніков О.В., Губар Б.П.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗОВНІШНЬОГО ТЕПЛООБМІНУ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ..... 87

Завгородній В.В., Завгородня Г.А., Валявська Н.О., Адаменко В.С.,

Дороговцев С.В., Несмачний П.В.

МЕТОД АВТОМАТИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ КОНТЕНТУ НА ОСНОВІ ПРОЦЕДУРНИХ АЛГОРИТМІВ....91

Кан Ю.Є., Ляшенко О.М., Киричук Д.Л.

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ПОБУДОВИ МОБІЛЬНОЇ  
ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ З РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ГРАМОТНОСТІ.....97

<b>Кваша Ю.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІЩЕННЯ ЦЕНТРУ МАС ДВОКОЛІСНОГО САМОБАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА НА ЯКІСТЬ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ.....	104
<b>Киричек Г.Г., Щегінін М.О.</b> УПРАВЛІННЯ КОНФІГУРАЦІЄЮ СЕРВЕРІВ НА ОСНОВІ ANSIBLE.....	109
<b>Климчук І.О., Потапова К.Р., Тарасенко-Клятченко О.В.</b> ПРО ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВУКОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ПОРУШЕННЯМИ МОВНОГО АПАРАТУ.....	115
<b>Кунгурцев О.Б., Новикова Н.О.</b> ПОБУДОВА МОДЕЛІ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ В ПРОЦЕСІ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	121
<b>Левкін Д.А.</b> ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ І МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	128
<b>Лисенко О.І., Турейчук А.М., Гуйда О.Г., Новіков В.І., Сушин І.О., Нідченко І.А.</b> МЕТОДОЛОГІЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СКЛАДУ СЕНСОРІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕДУР ТА АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ РОЗПОДІЛЕНОГО ТЕХНОГЕННОГО ОБ'ЄКТУ.....	133
<b>Макарова Л.М., Лаганська Л.О., Нікітін О.В., Нікітіна О.Ю.</b> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КРОС-ПЛАТФОРМНОЇ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ XAMARIN.....	150
<b>Nevliudov I.Sh., Yevsieiev V.V., Demska N.P., Valkivskiy Yu.I.</b> DEVELOPMENT OF A 3D MODEL OF A MANIPULATOR FOR MOBILE ROBOTIC PLATFORMS BASED ON UNIGRAPHICS NX.....	157
<b>Новак Д.С., Мошенський А.О., Лісовець С.М., Гуйда О.Г., Павленко Є.Є.</b> ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ, ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ Й АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ.....	165
<b>Похиленко О.А., Баклан І.В.</b> СУПРОВОДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ, ЯКІ ЕВОЛЮЦІОНУЮТЬ.....	175
<b>Прокопенко О.О., Антоненко Н.С., Гулей О.Б.</b> АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ Й НАПРЯМИ ЇХ ВИРІШЕННЯ.....	182
<b>Сікора О.В., Вдовичин Т.Я., Ших Н.В.</b> ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ БІБЛІОТЕЧНОЇ СИСТЕМИ.....	189
<b>Терейковський І.А., Кулаков Ю.О., Терейковська Л.О., Терейковський О.І.</b> ПАРАМЕТРИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСОБИ ЗА РАЙДУЖНОЮ ОБОЛОНКОЮ ТА СІТКІВКОЮ ОКА .....	195
<b>ЕНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Bednarska I.S., Sheleshei T.V., Merenher P.P., Goncharov O.V., Shakhbazov I.O.</b> CALCULATED EVALUATION OF QUANTITATIVE INDICATORS OF NITROGEN OXIDES WHEN USED AT DIFFERENT ENERGY INSTALLATIONS.....	200
<b>Беляновська О.А., Склярєнко О.І., Сухий К.М., Пустовой Г.М., Сухий М.П., Прокопенко О.М., Єрьомін О.О.</b> УТИЛІЗАЦІЯ НИЗЬКО-ПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРОВОЇ КОМПРЕСОРНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ.....	206
<b>Назарова І.О.</b> УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ У ТЕПЛООБМІННОМУ АПАРАТІ КОНТАКТНОГО ТИПУ.....	212
<b>Пуховий І.І., Назарова І.О.</b> БЕЗПОСЕРЕДНЄ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУФЕРНИХ ЗОН БУДІВЕЛЬ.....	217

<b>Тарасов Д.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ СИНТЕЗУ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ В ГРУПІ ПІДГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ.....	223
--	-----

## **РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН**

<b>Коновал В.М., Іщенко К.С.</b> ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГРАДІЄНТНОГО ВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДОГО СЕРЕДОВИЩА ПО ДОВЖИНІ ЗАРЯДУ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ.....	229
---	-----

## **ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

<b>Бакалінська О.М., Гринько А.М., Петренко Т.В., Перепелиця О.П., Петровська В.В.</b> ВЗАЄМОДІЯ ПОДВІЙНИХ МОЛБДАТІВ РЗЕ Й КУПРУМУ(I) ІЗ ГІДРОГЕН ПЕРОКСИДОМ.....	240
<b>Єфімова В.Г., Пилипенко Т.М., Матвєєва А.В.</b> РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО ПРОДУКТУ З ФІТОСТЕРОЛАМИ НА ОСНОВІ ЕМУЛЬГАТОРІВ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ.....	246

## **ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

<b>Фролова Н.Е., Макалюк К.О., Ковальова О.А., Карпенко Л.М., Залужний Т.В.</b> НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗШИРЕННЯ ПРОДУКЦІЇ РЕСТОРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗА АЮРВЕДИЧНИМИ РЕКОМЕНДАЦІЯМИ.....	251
<b>Ющенко Н.М., Маринін А.І., Чернова В.Д., Савіцька А.О., Новіков В.В., Шевченко В.Ю., Плюта В.В.</b> РОЗРОБКА РЕЦЕПТУР ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ АЮРВЕДИЧНОЇ ДІЄТОЛОГІЇ.....	257

## **ТРАНСПОРТ**

<b>Берневек Т.І., Павлова Н.Л., Тихоніна І.І.</b> НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МОРСЬКИМИ СУДНАМИ У ЧОРНОМОРСЬКОМУ РЕГІОНІ.....	264
<b>Бичковський Ю.В., Мельник О.М.</b> РОЛЬ І МІСЦЕ ЛЮДСЬКОГО ЕЛЕМЕНТУ У СИТУАЦІЇ НАВАЛУ АБО ЗІТКНЕННЯ СУДНА ІЗ ПРИЧАЛОМ.....	270
<b>Volkovska G.G., Zhukova S.O.</b> EFFICIENCY OF AVIATION TRANSPORT ENTERPRISES IN A PANDEMIC.....	277
<b>Гришук О.К., Петрик А.В., Козлов А.К., Бура О.М.</b> ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ МІЖНАРОДНОГО СПРЯМУВАННЯ.....	283
<b>Дакі О.А., Штрибець В.В., Трофименко А.О., Ліганенко В.В., Тришин В.В.</b> МЕТОДИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВОГО ВАЛОПРОВОДУ.....	289
<b>Дакі О.А., Штрибець В.В., Трофименко А.О., Ліганенко В.В., Тришин В.В.</b> МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ.....	295
<b>Кисельов В.Б., Лановий О.Т., Кошарний О.М.</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ.....	300
<b>Кужелович В.І., Мельніков С.М.</b> ЕКОНОМІЯ ПАЛИВА У РАЗІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ В ПІДРОЗДІЛАХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ ЗА РАХУНОК ВІДТВОРЕННЯ «ІДЕАЛЬНОГО» ВОДІЯ .....	308
<b>Урум Н.С., Трофименко І.В., Іваненко В.М., Федунів В.М., Бажак О.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ХВИЛЬОВИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ.....	312

<b>Фомін О.В., Ловська А.О., Фоміна А.М., Литвиненко А.С.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З КОМПОЗИТНИМИ СТІЙКАМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЛІСУ У ХЛИСТАХ.....	317
<b>Шевчук Д.О., Маляренко Д.Л.</b> АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА РЕСУРСИ АЕРОПОРТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	322
<b>БУДІВНИЦТВО</b>	
<b>Ніжник В.В., Савченко О.В., Добряк Д.О., Кравченко Н.В.</b> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ УПРАВЛІННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИМ ПОЖЕЖНИМ РИЗИКОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ.....	328
<b>ГЕОДЕЗІЯ</b>	
<b>Язлюк Б.О., Бузіна І.М., Вітровий А.О., Гуменний М.І.</b> ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ ЯК ДІЄВИЙ МЕХАНІЗМ ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ НПП «ГОМІЛЬШАНСЬКІ ЛІСИ».....	334
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	341

## CONTENTS

### APPLIED GEOMETRY, ENGINEERING GRAPHICS AND ERGONOMICS

**Borisenko V.D., Ustenko S.A., Ustenko I.V., Kuzma K.T.**

GEOMETRIC MODELING OF CURVILINEAR SECTIONS S-SHAPED RAILWAYS.....1

### INDUSTRIAL ENGINEERING

**Kuzmenko T.M.**

COLD WEAPON CERTIFICATION IN UKRAINE..... 6

**Rudasov V.B., Yakubovskiy O.M., Holovina O.V.**

CURRENT TRENDS IN THE USE OF HIGH STRENGTH STEEL IN AUTOMOBILE BUILDING.....12

### EQUIPMENT

**Ladyzhenskiy O.V.**

ULTRASONIC CONTROL OF OBJECTS WITH A COMPLEX SURFACE SHAPE.....19

**Ovcharuk V.T.**

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF INNOVATIVE LABELING TECHNOLOGIES  
FOR EXPERIMENTAL PRODUCTION..... 23

**Skakun O.V., Voskresenskiy V.B.**

THE QUESTION OF THE OPTIMAL CHOICE OF A DIGITAL OSCILLOSCOPE  
FOR THE NEEDS OF THE TEST CENTER (FROM PRACTICAL EXPERIENCE).....28

### RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

**Valyuskiy S.V., Furtat O.V., Shushin I.O., Turchyn Ya.V.**

METHOD OF INCREASING THE CONNECTION OF MANET NETWORKS WITH THE USE OF UAVS... 37

**Korchak O.V., Krutin Y.V., Reznikov M.I., Felinskiy G.S.**

TERAHERTZ RADIATION SOURCE BASED ON LASER SRS PHOTONICS.....45

### INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Abharian Yu.S.**

REMOTE DICTIONARY SERVER AS ONE OF THE MAIN STRUCTURES  
OF THE NETWORK DATA WAREHOUSE..... 53

**Babchynska T.V., Dyka A.I.**

SYSTEM ANALYSIS OF INTELLECTUAL RESOURCES FOR INFORMATION SUPPORT  
OF LEARNING ACTIVITIES..... 59

**Bahan T.H., Boun V.P., Bezuhlyj R.O.**

ADAPTIVE MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM BASED ON HEAT PUMP.....66

**Holovina K.P., Kasian K.M., Kasian M.M.**

WEB-BASED APPLICATION FOR LEARNING IT-COURSES .....74

**Dolhikh A.O., Baibuz O.G.**

INFORMATION TECHNOLOGY OF ENSEMBLES FORECASTING USING PARALLEL COMPUTING...79

**Zhuchenko A.I., Sytnikov A.V., Gubar B.P.**

MATHEMATICAL MODEL OF EXTERNAL HEAT EXCHANGE OF GLASS FURNACE..... 87

**Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Valyavska N.O., Adamenko V.S.,**

**Dorogovtsev E.V., Nesmachny P.V.**

METHOD OF AUTOMATIC CONTENT GENERATION BASED ON PROCEDURAL ALGORITHMS.....91

**Kan Yu.Ye., Liashenko O.M., Kyryichuk D.L.**

RESEARCH OF METHODS AND ALGORITHMS FOR BUILDING A MOBILE SOFTWARE SYSTEM  
FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL LITERACY.....97

**Kvasha Yu.V.**

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE DISPLACEMENT OF TWO-WHEELED  
SELF-BALANCING ROBOT'S CENTER OF MASS ON THE QUALITY OF SPEED REGULATION.....104

<b>Kirichek G.G., Shchetinin M.O.</b> ANSIBLE-BASED SERVERS CONFIGURATION MANAGEMENT .....	109
<b>Klymchuk I.O., Potapova K.R., Tarasenko-Klyatchenko O.V.</b> FEATURES OF ORGANIZATION OF SOUND INTERFACE FOR PEOPLE WITH SPEECH DEFECTS.....	115
<b>Kungurtsev O.B., Novikova N.O.</b> CONSTRUCTING OF A SUBJECT AREA MODEL IN THE PROCESS OF THE INFORMATION SYSTEM DESIGNING.....	121
<b>Levkin D.A.</b> NUMERICAL METHODS AND MATHEMATICAL MODELS OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES.....	128
<b>Lysenko O.I., Tureychuk A.N., Guida O.G., Novikov V.I., Sushin I.O., Nidchenko I.A.</b> METHODOLOGY OF SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS TO THE COMPOSITION OF THE SENSORS OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK OF INFORMATION SUPPORT OF PROCEDURES AND ALGORITHMS OF THE SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF THE DISTRIBUTED MAN-CAUSED OBJECT.....	133
<b>Makarova L.M., Latanska L.O., Nikitin O.V., Nikitina O.Yu.</b> MATHEMATICAL MODELS FOR SOFTWARE SIZE ESTIMATION FOR CROSS-PLATFORM DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATIONS USING XAMARIN PLATFORM.....	150
<b>Nevliudov I.Sh., Yevsieiev V.V., Demska N.P., Valkivskiy Yu.I.</b> DEVELOPMENT OF A 3D MODEL OF A MANIPULATOR FOR MOBILE ROBOTIC PLATFORMS BASED ON UNIGRAPHICS NX.....	157
<b>Novak D.S., Moshenskiy A.O., Lisovets S.M., Guida O.G., Pavlenko Ye.Ye.</b> INFORMATION SYSTEM FOR REMOTE EVALUATION OF TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY AND ATMOSPHERIC PRESSURE.....	165
<b>Pokhylenko O.A., Baklan I.V.</b> MAINTENANCE OF EVOLVING HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS.....	175
<b>Prokopenko O.O., Antonenko N.S., Hulei O.B.</b> TECHNICAL CONDITION OF GAS TRANSMITTING EQUIPMENT, PROBLEM ANALYSIS AND DIRECTIONS FOR SOLVING PROBLEMS.....	182
<b>Sikora O.V., Vdovychyn T.Ya., Shih N.V.</b> OBJECT-ORIENTED APPROACH TO THE ESTABLISHMENT OF ELECTRONIC LIBRARY SYSTEM ..	189
<b>Tereikovskiy I.A., Kulakov Y.O., Tereikovska L.O., Tereikovskiy O.I.</b> PARAMETERS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF PERSONALITY RECOGNIZATION BY THE IRIS AND THE RETINA OF THE EYE.....	195
<b>POWER ENGINEERING</b>	
<b>Bednarska I.S., Sheleshei T.V., Merenher P.P., Goncharov O.V., Shakhbazov I.O.</b> CALCULATED EVALUATION OF QUANTITATIVE INDICATORS OF NITROGEN OXIDES WHEN USED AT DIFFERENT ENERGY INSTALLATIONS.....	200
<b>Belyanovskaya E.A., Sklyarenko A.I., Sukhyy K.M., Pustovoy G.N., Sukhyy M.P., Prokopenko E.M., Yeromin A.O.</b> UTILIZATION OF LOW-POTENTIAL HEAT ENERGY WHEN STEAM COMPRESSOR-DRIVEN REFRIGERATION PLANT OPERATED.....	206
<b>Nazarova I.O.</b> UTILIZATION OF HEAT BOILERS EXIT GASES IN THE CONTACT HEAT EXCHANGER.....	212
<b>Pukhovyi I.I., Nazarova I.O.</b> DIRECT USE OF LOW-TEMPERATURE ENERGY SOURCES FOR HEATING THE BUFFER ZONES OF BUILDINGS.....	217
<b>Tarasov D.O.</b> STUDY OF THE SYNTHESIS OF THE AUTOMATIC LEVEL REGULATION SYSTEM IN THE GROUP OF LOW-PRESSURE HEATERS.....	223



## RESOURCE DEVELOPMENT

**Konoval V.M., Ishchenko K.S.**

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DIFFERENT-GRADE EXPLOSIVE LOAD OF SOLID ENVIRONMENT ON CHARGE LENGTH OF VARIABLE CHARGE CROSS SECTION.....229

## CHEMICAL TECHNOLOGY

**Bakalinska O.M., Hrynyk A.M., Petrenko T.V., Perepelytsia O.P., Petrovska V.V.**

INTERACTION OF DOUBLE MOLYBDATES OF REE AND COPPER(I) WITH HYDROGEN PEROXIDE.....240

**Yefimova V.G., Pilipenko T.M., Matveeva A.V.**

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF EMULSION COSMETIC PRODUCT WITH PHYTOSTEROLS BASED ON EMULSIFIERS OF NATURAL ORIGIN.....246

## TECHNOLOGY OF FOOD PROCESSING AND CONSUMER GOODS INDUSTRY

**Frolova N.E., Makaliuk K.O., Kovalova O.A., Karpenko L.M., Zaluzhnyi T.V.**

SCIENTIFIC RESEARCH OF EXPANSION OF RESTAURANT TECHNOLOGIES ACCORDING TO AYURVEDIC RECOMMENDATIONS.....251

**Yushchenko N.M., Marinin A.I., Chernova V.D., Savitskaya A.A.,**

**Novikov V.V., Shevchenko V.Yu., Plyuta V.V.**

DEVELOPMENT OF FOOD RECIPES FROM PLANT RAW MATERIALS BASED ON THE PRINCIPLES OF AYURVEDIC NUTRITION.....257

## TRANSPORT

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

DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF CARGO TRANSPORTATION BY SHIPS IN THE BLACK SEA REGION.....264

**Bychkovskiy Yu.V., Melnyk O.M.**

THE ROLE AND PLACE OF THE HUMAN ELEMENT OF THE VESSEL COLLISION SITUATION WITH THE BERTH.....270

**Volkovska G.G., Zhukova S.O.**

EFFICIENCY OF AVIATION TRANSPORT ENTERPRISES IN A PANDEMIC.....277

**Gryshchuk O.K., Petryk A.V., Kozlov A.K., Bura O.M.**

PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF INTEGRATED SYSTEMS OF MANAGEMENT OF TRANSPORT AND PRODUCTION PROCESSES OF INTERNATIONAL DIRECTION.....283

**Daki O.A., Shtrybets V.V., Trofymenko A.O., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V.**

METHODS FOR MONITORING THE STATE OF SHAFT DRIVE BEARINGS.....289

**Daki O.A., Shtrybets V.V., Trofymenko A.O., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V.**

METHODS OF INCREASING THE FUNCTIONAL INDICATORS OF MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES.....295

**Kyselov V.B., Lanovyi A.T., Kosharnyi O.M.**

MATHEMATICAL MODELING OF THE INFLUENCE OF THE FUNCTIONING OF THE ROAD NETWORK ON THE ECONOMY OF UKRAINE.....300

**Kuzhelovich V.I., Melnikov S.M.**

FUEL ECONOMY WHEN USING ARMORED VEHICLES IN UNITS AND SUBDIVISIONS OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE GUE TO THE REPRODUCTION OF THE "IDEAL" DRIVER .....308

**Urum N.S., Trofymenko I.V., Ivanenko V.M., Fedunov V.M., Bazhak O.V.**

RESEARCH OF DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF WAVE MODELS USING METEOROLOGICAL MODELS ON THE BASIS OF MACHINE LEARNING METHODS.....312

**Fomin O.V., Lovska A.O., Fomina A.M., Lytvynenko A.S.**

DETERMINATION OF STRENGTH INDICATORS OF THE MODERNIZED LOAD-BEARING STRUCTURE OF A FLATCAR WITH COMPOSITE STRUTS FOR THE TRANSPORTATION OF TIMBER IN SOLID WOOD.....317

<b>Shevchuk D.O., Maliarenko D.L.</b> ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MAIN FACTORS ON AIRPORT RESOURCES UNDER UNCERTAINTY.....	322
---	-----

## **CONSTRUCTION**

<b>Nizhnyk V.V., Savchenko O.V., Dobriak D.O., Kravchenko N.V.</b> ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF MANAGEMENT OF INDIVIDUAL FIRE RISK WITH THE USE OF FIRE PROTECTION SYSTEMS.....	328
---	-----

## **GEODESY**

<b>Yazlyuk B.O., Buzina I.M., Vitrovyi A.O., Humennyi M.I.</b> FUNCTIONAL ZONING OF TERRITORIES AS AN EFFECTIVE MECHANISM OF STUDY OF FEATURES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF NATURAL COMPLEXES OF NPP “GOMILSHANSKY FORESTS”.....	334
---	-----

<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS.....</b>	341
---------------------------------------	-----

# ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

УДК 625.113:514.18

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/01>

**Борисенко В.Д.**

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

**Устенко С.А.**

Національний університет «Одеська політехніка»

**Устенко І.В.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Кузьма К.Т.**

Миколаївський національний університет імені В.О. Сухомлинського

## МОДЕЛЮВАННЯ КРИВОЛІНІЙНИХ ДІЛЯНОК ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІЙ S-ПОДІБНОЇ ФОРМИ

*Стаття присвячена розробці методу геометричного моделювання S-подібних криволінійних ділянок залізничних колій, застосування яких зумовлюється наявністю населених пунктів, геологічних, топографічних та інших перешкод. Рух потягів на криволінійних ділянках шляху відрізняється певними особливостями, передусім пов'язаними із силовою взаємодією колісних пар рухомого складу з рейками шляху. У зв'язку з цим фахівці залізничної справи приділяють особливу увагу улаштуванню криволінійних ділянок шляху. У роботі пропонується описувати криволінійну ділянку кривою, яка визначається в натуральній параметризації із застосуванням закону розподілу кривини у вигляді полінома сьомого степеня та крайовими умовами, що забезпечують рівність нулю кривини, її першої та другої похідних від довжини власної дуги в початковій і кінцевій точках модельованої ділянки. Для однозначного визначення необхідної параметричної кривої треба мати значення восьми коефіцієнтів поліному та довжину дуги. Крайові умови зменшують кількість невідомих коефіцієнтів до п'яти й дають можливість сформулювати три алгебраїчні рівняння, до яких додається залежність кута нахилу дотичної до модельованої кривої. Послідовне розв'язання цих рівнянь відносно п'ятого коефіцієнта й довжини дуги визначає вирази для чотирьох коефіцієнтів. Останній коефіцієнт і довжина дуги знаходяться із застосуванням двох відомих із диференціальної геометрії інтегральних рівнянь, які пов'язують ортогональні координати кривої з кутом нахилу дотичної. Коефіцієнт і довжина дуги визначаються шляхом розв'язання оптимізаційної задачі, пов'язаної з доведенням проміжно отриманої кінцевої точки кривої до заданої кінцевої точки.*

*Запропонований метод геометричного моделювання криволінійних ділянок залізничного шляху реалізовано у вигляді комп'ютерного коду, який дає змогу, окрім числових результатів, отримувати графічні зображення результатів моделювання на екрані монітора комп'ютера.*

**Ключові слова:** залізнична колія, криволінійна ділянка, геометричне моделювання, кривина, чисельний метод, комп'ютерна реалізація.

**Постановка проблеми.** У багатьох країнах світу залізничний транспорт є невід'ємною частиною матеріального виробництва. Він забезпечує пасажирські, вантажні та змішані вантажно-пасажирські перевезення. Безпека руху залізничного транспорту є одним із найважливіших питань його експлуатації.

З геометричної точки зору залізнична колія не становить ніякого інтересу, оскільки має вигляд прямолінійних рейок нескінченної довжини. У сприятливих природно-географічних умовах траса залізничного шляху складається з прямолінійних рейок довжиною в десятки кілометрів. Але в дійсності колія, окрім прямолінійних, має ще й криволінійні ділянки.

Криволінійні ділянки залізниці застосовуються в тому випадку, коли необхідно обійти населені пункти, топографічні або геологічні перешкоди з метою зменшення будівельних витрат і забезпечення стійкості земельного полотна й інших залізничних споруд.

Улаштування рейкової колії на кривих ділянках має низку особливостей, зумовлених специфікою взаємодії колії й рухомого складу, змінами конфігурації колії на криволінійних ділянках, необхідністю забезпечення плавної зміни кривини в місцях з'єднання ділянок колії з різними сталими кривинами рейок.

Проектантами залізничної колії особлива увага приділяється улаштуванню криволінійних ділянок при високих швидкостях руху потягів, застосуванню колійних кривих малого радіуса при русі рухомого складу великої ваги та значної бази між колесами. У сучасних умовах, коли швидкість пасажирських потягів сягає 300 км/год. і вище, вимоги до якості криволінійних ділянок суттєво зростають, особливо коли за різних обставин рухомому складу доводиться кілька разів змінювати напрям руху. Подібні ділянки прийнято називати *S*-подібними.

Криволінійні ділянки залізничного шляху мають забезпечувати плавність зміни кривини в місцях з'єднання рейок колії з різними кривинами, рівність кутів нахилу дотичних і рівність нулю першої та другої похідних від кривини в початковій і кінцевій точках криволінійної ділянки.

Отже, усе викладене вище зумовлює актуальність проведення досліджень у напрямі розробки нових методів геометричного моделювання криволінійних ділянок залізничного шляху. Більше того, розв'язання задачі геометричного моделювання криволінійних ділянок залізничних колій є важливим науково-технічним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання вдосконалення криволінійних ділянок шляху турбує фахівців залізничної справи, мабуть, із перших років існування залізниці. Одним із перших рівнянь, які застосовувалися при описі перехідних кривих, була кубічна парабола, що пояснювалося простотою математичного виразу. Надалі для моделювання криволінійних ділянок залізничного шляху почали застосовувати спіралі, клотоїди (спіралі Корню), бісінусоїди, синусоїдальні спіралі, радіоїди, лемніскати Бернуллі та інші криві.

Так, у роботі [1] запропоновано варіант криволінійної ділянки шляху, який базується на застосуванні властивостей клотоїди та кубічної параболи. Зазначимо, що клотоїда є однією з кривих,

яка широко використовується при описі криволінійних ділянок залізничного шляху. Водночас у праці [2] відмічається недолік клотоїди, зумовлений лінійним законом розподілу кривини, і пропонується, замість клотоїди, застосовувати синусоїдальну криву.

Автори роботи [3] для опису криволінійних ділянок шляху передбачають застосовувати кубічні параболи, хоча практика свідчить, що ці криві краще використовувати на коротких ділянках шляху.

У праці [4] пропонуються криволінійні ділянки залізничного шляху, які описуються поліномами 9-го й 11-го степенів. Такої ж думки дотримується автор роботи [5]. Як показано в праці [6], поліноміальні криві можна застосовувати для моделювання *S*-подібних перехідних кривих.

Доволі популярними при описі криволінійних ділянок шляху є різноманітні спіралі [7; 8]. При цьому відмічається, що спіральним кривим не притаманні математичні особливості й екстремуми кривини, їх доцільно застосовувати для згладжування шляхів у місцях різкої зміни кривини.

У роботі [9] пропонується моделювання криволінійних ділянок шляху із застосуванням кривих із нелінійним законом розподілу кривини. Для моделювання таких же ділянок у праці [10] застосовані згладжувальні сплайни, які мають певні переваги з точки зору гладкості в кінцевих точках криволінійних ділянок шляху перед клотоїдними кривими.

Раціональні криві Безье другого порядку дали змогу за допомогою тільки однієї такої кривої побудувати перехідну криву з прийнятними характеристиками [11]. Приклад застосування синусоїдних гіперболічних функцій до побудови перехідних кривих наведено в роботі [12].

Біклотоїдне моделювання криволінійних ділянок шляху пропонується в праці [13]. Деякі питання геометричного моделювання криволінійних ділянок залізничного шляху розглянуті в монографії [14]. Зокрема, у ній пропонується моделювання *S*-подібних ділянок залізничного шляху із застосуванням кривої, що подається в натуральній параметризації із законом розподілу кривини  $k(s)$  у вигляді полінома  $p$ 'ятого степеня та наступними крайовими умовами:

$$k \Big|_{s=0}^{s=S} = 0; \quad \frac{dk}{ds} \Big|_{s=0}^{s=S} = 0,$$

де  $S$  – довжина кривої від початкової до кінцевої точки.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є розробка методу геометричного моделювання *S*-подібних криволінійних ділянок залізничного шляху із застосуванням кривих, які подаються в

натуральній параметризації із законом розподілу кривини вздовж власної дуги у вигляді полінома сьомого степеня та нульовими значеннями кривини, її першої і другої похідних у початковій і кінцевій точках криволінійної ділянки шляху.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Розглянемо геометричне моделювання  $S$ -подібної криволінійної ділянки залізничного шляху, яка влаштовується між прямими рейками, орієнтованими під деяким кутом.

Моделювання криволінійної ділянки будемо виконувати із застосуванням кривої, яка подається в натуральній параметризації та передбачає наявність певної залежності кривини кривої від довжини її власної дуги.

Нехай  $s$  – довжина шляху, яка обчислюється від початку криволінійної ділянки до поточної точки, а  $k(s)$  – кривина кривої. Крайові умови для криволінійної ділянки мають вигляд:

$$k|_{s=0}^{s=S} = 0; \quad \frac{dk}{ds}|_{s=0}^{s=S} = 0; \quad \frac{d^2k}{ds^2}|_{s=0}^{s=S} = 0,$$

де  $S$  – довжина кривої від початкової до кінцевої точки.

За заданих крайових умов кривина кривої має описуватися поліномом сьомого степеня:

$$k = as^7 + bs^6 + cs^5 + ds^4 + es^3 + fs^2 + gs + h.$$

Перша та друга похідні кривини по довжині дуги визначаються за виразами:

$$k' = 7as^6 + 6bs^5 + 5cs^4 + 4ds^3 + 3es^2 + 2fs + g;$$

$$k'' = 42as^5 + 30bs^4 + 20cs^3 + 12ds^2 + 6es + 2f.$$

Зважаючи на крайові умови, можна дійти висновку, що коефіцієнти  $h$ ,  $g$  і  $f$  дорівнюють нулю.

Тоді записані вище вирази по кривині та її похідних матимуть вигляд:

$$k = as^7 + bs^6 + cs^5 + ds^4 + es^3;$$

$$k' = 7as^6 + 6bs^5 + 5cs^4 + 4ds^3 + 3es^2;$$

$$k'' = 42as^5 + 30bs^4 + 20cs^3 + 12ds^2 + 6es.$$

При  $s = S$  ці вирази мають дорівнювати нулю, а саме:

$$aS^7 + bS^6 + cS^5 + dS^4 + eS^3 = 0;$$

$$7aS^6 + 6bS^5 + 5cS^4 + 4dS^3 + 3eS^2 = 0;$$

$$42aS^5 + 30bS^4 + 20cS^3 + 12dS^2 + 6eS = 0.$$

До цих рівнянь додаємо залежність кута нахилу дотичної до модельованої кривої:

$$\phi(s) = \phi_0 + \frac{aS^8}{8} + \frac{bS^7}{7} + \frac{cS^6}{6} + \frac{dS^5}{5} + \frac{eS^4}{4},$$

де  $\phi_0$  – кут нахилу дотичної в початковій точці кривої.

При  $s = S$  будемо мати:

$$\phi_1 = \phi_0 + \frac{aS^8}{8} + \frac{bS^7}{7} + \frac{cS^6}{6} + \frac{dS^5}{5} + \frac{eS^4}{4},$$

де  $\phi_1$  – кут нахилу дотичної в кінцевій точці кривої.

Послідовним розв'язанням цих чотирьох рівнянь знаходимо залежності для розрахунку чотирьох коефіцієнтів:

$$d = 5 \left( 7\Phi S^3 - \frac{e}{S} \right);$$

$$c = -\frac{3}{S} \left( 35\Phi S^3 - 3\frac{e}{S} \right);$$

$$b = \frac{7}{S^2} \left( 15\Phi S^3 - \frac{e}{S} \right);$$

$$a = -\frac{1}{S^3} \left( 35\Phi S^3 - 2\frac{e}{S} \right),$$

де  $\Phi = \frac{8(\phi_1 - \phi_0)}{S^8}$ .

Коефіцієнт  $e$  й довжина дуги  $S$  визначаються шляхом розв'язання оптимізаційної задачі, пов'язаної з узгодженням проміжно отриманої кінцевої точки кривої із заданою її кінцевою точкою.

За цільову функцію в оптимізаційній задачі приймається вираз:

$$\delta = \sqrt{(\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{y} - y_1)^2},$$

де  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – координати проміжної точки, визначеної з деякими значеннями невідомих параметрів, а  $x_1$ ,  $y_1$  – координати заданої кінцевої точки модельованої кривої.

Безпосередньо для розв'язання оптимізаційної задачі застосовується високоефективний алгоритм, запропонований у роботі [15].

Координати кривої, яка подається в натуральній параметризації, визначаються за такими виразами:

$$x_1 = x_0 + \int_0^s \cos \phi(s) ds;$$

$$y_1 = y_0 + \int_0^s \sin \phi(s) ds.$$

Оскільки координати кінцевої точки перехідної кривої відомі, то цих двох рівнянь достатньо для визначення двох невідомих, необхідних для моделювання потрібної кривої.

На рис. 1 наведені тестові приклади трьох  $S$ -подібних криволінійних ділянок, побудованих у прямокутнику з одиничною шириною та вдвічі більшою висотою. Усі криві починаються в точці з нульовими координатами. Наприкінці вони мають абсцису, рівну одиниці, а ордината кінцевих точок збільшується з кроком 0,2. Відрізки прямих ліній у початковій і кінцевих точках обумовлюють кути нахилу дотичних до осі  $x$ , які відповідають вихідним даним моделювання криволінійних ділянок шляху. Значимо, що в цих розрахунках кут  $\phi_0$  збільшувався від  $55^\circ$  до  $75^\circ$  з кроком  $10^\circ$ , із таким же кроком кут  $\phi_1$  зменшувався від  $30^\circ$  до  $10^\circ$ .

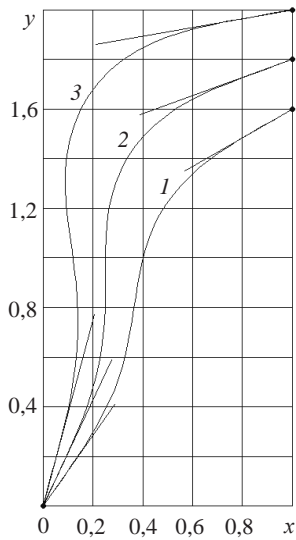


Рис. 1. Тестові S-подібні криві

Графіки розподілу кривини від відносної довжини дуги для розглянутих вище кривих наведені на рис. 2.

З розгляду графіків розподілу кривини видно, що на кінцях криволінійних ділянок кривина дорівнює нулю.

На рис. 3 і 4 показані графіки розподілу першої та другої похідних від довжини власної дуги. Похідні на кінцях криволінійних ділянок мають нульові значення, що повністю узгоджується з крайовими умовами.

Нумерація кривих на цих рисунках аналогічна нумерації кривих, показаних на рис. 1.

**Висновки.** Проведені в широкому діапазоні варіювання параметрів розрахунки дослідження підтвердили працездатність запропонованого методу геометричного моделювання S-подібних криволінійних ділянок залізничних шляхів, які

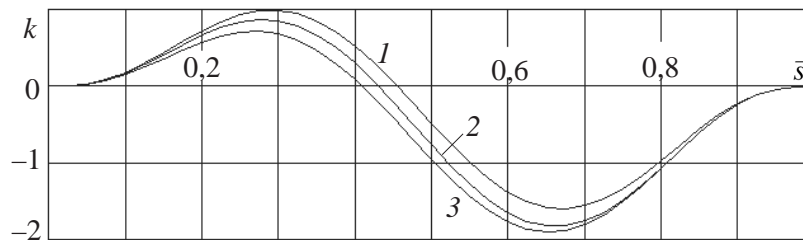


Рис. 2. Графіки розподілу кривини тестових кривих

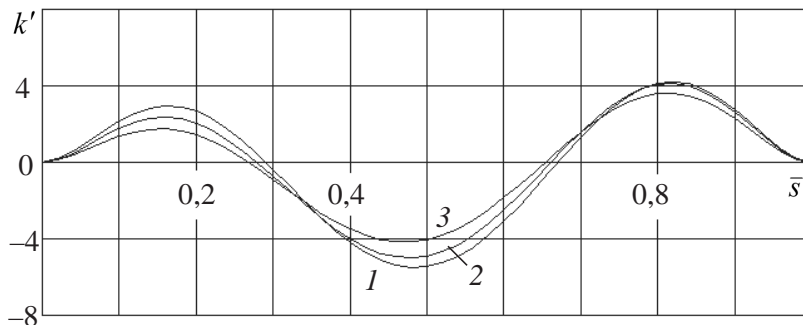


Рис. 3. Графіки розподілу першої похідної кривини

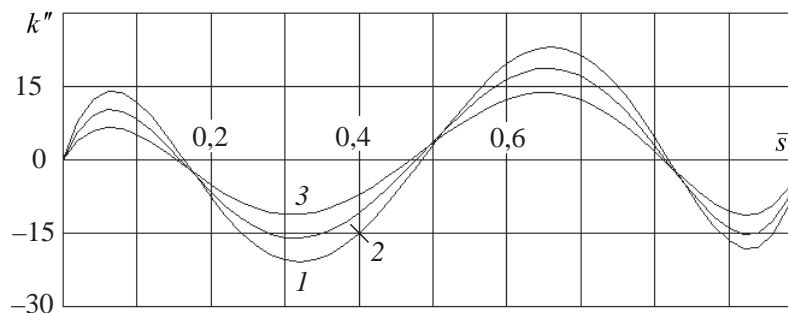


Рис. 4. Графіки розподілу другої похідної кривини

вляштовуються між прямолінійними рейками при обходженні різноманітних перешкод.

Криволінійні ділянки подаються в натуральній параметризації із законом розподілу кривини

вздовж власної дуги у вигляді полінома сьомого степеня та забезпеченням нульових значень кривини, її першої та другої похідних у початковій і кінцевій точках модельованої ділянки шляху.

#### Список літератури:

1. Eliou N., Kaliabetsos G. A new, simple and accurate transition curve type, for use in road and railway alignment design. *European Transport Research Review*. 2014. № 6. P. 171–179.
2. Pirti A., Yucel M.A., Ocalan T. Transrapid and the transition curve as sinusoid. *Tehnički Vjesnik*. 2016. № 23. P. 315–320.
3. Shen T.-I., Chang C.H., Chang, K.Y. Lu, C.C. A numerical study of cubic parabolas on railway transition curves. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2013. № 21. P. 191–197.
4. Zboinski K., Woznica P. Optimum Railway Transition Curves – Method of the Assessment and Results. *Energies*. 2021. № 14. P. 1–15.
5. Kobryn A. Polynomial Solutions of Transition Curves. *Journal of Surveying Engineering*. 2011. № 137. P. 71–80.
6. Kobryn A., Stachera, P. S-Shaped Transition Curves as an Element of Reverse Curves in Road Design. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*. 2019. № 14. P. 484–503.
7. Tari E., Bayka O.L. A new transition curve with enhanced properties. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2005. № 32. P. 913–923.
8. Levent A., Sahin B., Habib Z. Spiral transitions. *Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities*. 2018. Vol. 33. P. 468–490.
9. Koc W. Smoothed transition curve for railways. *Transportation Overview – Przegląd Komunikacyjny*. 2019. № 7. P. 19–31.
10. Brustad T.F., Dalmo R. Exploring Benefits of Using Blending Splines as Transition Curves. *Applied sciences*. 2020. № 10. 18 p.
11. Ahmad A., Ahmat N., Adnan M. Fair Transition Spiral Using a Single Rational Quadratic Bezier Curve. *Journal of Computer Science & Computational Mathematics*. 2020. Volume 10. Issue 1. P. 7–12.
12. Kisgyörgy L., Barna Z. Hyperbolic transition curve. *Periodica polytechnica, Civil Engineering*. 2014. № 58/1. P. 63–69.
13. Аккерман Г.Л., Аккерман С.Г., Кравченко О.А. Биклотоидное проектирование криволинейных участков железной дороги. *Путь и путевое хозяйство*. 2010. № 10. С. 28–30.
14. Борисенко В.Д., Устенко С.А., Устенко І.В. Геометричне моделювання кривих ліній і поверхонь у натуральній параметризації. Миколаїв : МНУ, 2018. 220 с.
15. Hooke R., Jeeves T.A. Direct search solution of numerical and statistical problems. *Journal of the ACM*. 1961. Vol. 8. № 2. P. 212–229.

#### **Borisenko V.D., Ustenko S.A., Ustenko I.V., Kuzma K.T. GEOMETRIC MODELING OF CURVILINEAR SECTIONS S-SHAPED RAILWAYS**

*The article is devoted to the development of a method of geometric modeling of S-shaped curvilinear sections of railway tracks, the construction of which is conditioned by the presence of settlements, geological, topographic and other obstacles. The movement of trains on curvilinear sections of the track differs in certain features and, first of all, related to the force interaction of wheel pairs of rolling stock with the rails of the track. Therefore, railway specialists pay special attention to the arrangement of curvilinear sections of the track. In this paper, we propose to describe the curvilinear section of the curve, which is determined in natural parameterization using the law of curvature distribution in the form of a polynomial of the seventh degree and boundary conditions that ensure zero curvature, its first and second derivatives. To unambiguously determine the required parametric curve, it is necessary to have the value of eight coefficients of the polynomial and the length of the arc. Boundary conditions reduce the number of unknown coefficients to five and make it possible to form three algebraic equations, to which is added the dependence of the angle of inclination tangent to the modeled curve. The sequential solution of these equations with respect to the fifth coefficient and the length of the arc determine the expressions for the four coefficients. The last coefficient and the length of the arc are found using two integral equations known from differential geometry, which connect the orthogonal coordinates of the curve with the angle of inclination of the tangent. The coefficient and the length of the arc are determined by solving the optimization problem associated with bringing the intermediate end point of the curve to a given end point.*

*The proposed method of geometric modeling of curvilinear sections of the railway is implemented in the form of computer code, which allows, in addition to numerical results, to obtain graphical images of the simulation results on a computer monitor screen.*

**Key words:** railway track, curvilinear section, geometric modeling, curvature, numerical method, computer implementation.

## ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 343.98

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/02>

**Кузьменко Т.М.**

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

### СЕРТИФІКАЦІЯ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ В УКРАЇНІ

У сучасних умовах потреба у спеціальних знаннях експерта з холодної зброї не обмежується тільки сферою кримінальних справ. Важливою сферою застосування експертних знань є і сертифікаційні випробування, де вирішуються питання діагностичного характеру в цілях визначення належності об'єкта до холодної зброї, та встановлення його виду та типу.

Різновид типів холодної зброї, специфіка конструкції, форми, розміри та інші характеристики кожного з них потребують спеціальних знань у галузі криміналістичної оцінки. Здебільшого ці питання можуть бути вирішені за допомогою експертизи. Багато уваги приділяється питанням, які виникають у разі розслідування злочинів із застосуванням (а також носінням, виготовленням, зберіганням, збутом, крадіжкою) вогнепальної зброї. Значно менше уваги приділено питанням, які стосуються холодної зброї. Загалом, злочинів, скоєних з використанням холодної зброї, значно менше, але не можна нехтувати питаннями, які цього стосуються.

За визначенням холодна зброя – це зброя, що призначена для ураження цілі за допомогою м'язової сили людини у разі безпосереднього контакту з об'єктом ураження. Оскільки під це визначення підпадає абсолютно все, що можна використовувати для нанесення людині шкоди шляхом удару, визначення було розширено. І з'явилися такі поняття, як «метальна зброя» та «холодна клинкова зброя». З метальною зброєю все зрозуміло, а от холодну клинкову зброю треба розглянути більш детально. До холодної клинкової зброї належать:

- мисливська та спортивна зброя, яка має типові ознаки холодної зброї;
- холодна зброя, що призначена для носіння з національними костюмами, яка не заборонена законодавством;
- стандартна клинкова зброя, яка здебільшого є бойовою.

Ніж вважається холодною зброєю, якщо має певні ознаки та критерії, визначені експертами в акредитованій експертній лабораторії. Тобто головною ціллю сертифікації є повне виявлення індивідуальних і групових ознак конструкції предмета.

Для реалізації поставленої мети у статті розглянуті такі завдання:

- теоретичний огляд холодної зброї за конструкцією та ознаками;
- вивчення особливостей холодної зброї як об'єкта випробування;
- основні проблеми довідково-інформаційного забезпечення сертифікації холодної зброї та пошук шляхів їх вирішення.

Тому розгляд, аналіз та випробування холодної зброї у лабораторіях з метою сертифікації та видачі «Висновка» не є новим питанням і потребує подальшого вивчення та удосконалення.

**Ключові слова:** холодна зброя, клинкова, метальна, сертифікація, ураження цілі.

**Постановка проблеми.** Характеристики ножа, за якими він може бути віднесений до розряду холодної зброї, може встановити лише експерт. На мисливський та бойовий ніж має бути офіційний дозвіл Національної поліції, а у магазину, який продає зброю, – ліцензія на право торгівлі мисливською та бойовою зброєю. Тобто на ніж має бути сертифікат «Висновок», який доводить (підтверджує) призначення клинків.

Отже, головним завданням сертифікації холодної зброї є визначення ознак різновиду холодної зброї для того, щоб дати висновок, чи є такий предмет холодною зброєю або він є об'єктом подарсько-побутового призначення.

**Постановка завдання.** Натепер питання стосовно законності використання, носіння, збуту та придбання ножів у нормативно-правових актах нашої країни залишається не до кінця урегульованим.



У наших магазинах, на жаль, запросто продається холодна зброя, причому часто без усіляких позначок її як такої, тому що відповідальність за придбання такої зброї несе покупець. Тому треба донести до покупця, що у разі сумнівів законності придбання певного виду ножа необхідно у продавця вимагати сертифікат на ніж. У ньому має бути вказана дата та місце проведення експертизи, модель ножа, прізвище експерта та висновок за її результатами [3]. Власне, ця стаття знайомить власників ножів з ланцюгом етапів, які необхідно пройти після придбання ножа. А також ознайомитись з ознаками, за якими ножі можуть бути віднесені до розряду холодної зброї.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі роботи, пов'язаної з аналізуванням та сертифікацією холодної зброї, розглядалися методики, наукові дослідження і теорії в галузі балістики [2; 3; 4] та нормативно-правові документи, закони і накази МВС [1; 5; 6]. У результаті опрацювання нормативної документації та проаналізувавши сучасні методики криміналістичних досліджень, зрозуміло, що висновок можуть надати лише експерти. У публікаціях більше уваги приділяється використанню та обігу вогнепальної зброї, тоді як холодна зброя, крім клинкової, описана як колекційна, експонатна, етнічна та для носіння з національними костюмами, а також мисливська і спортивна. Мало уваги приділено клинковій зброї та комбінованій холодній зброї з клинком, за володіння якою можна наражати себе на притягнення до кримінальної відповідальності. А публікацій для ознайомлення із законодавчою базою її зберігання та носіння обмаль.

#### **Виклад основного матеріалу.**

В Україні немає профільного закону про обіг зброї. Відсутність такого закону депутати Верховної Ради пояснюють тим, що суспільство не готове до вільного продажу зброї. Є лише проект «Закону про зброю» [5], де у розділі 4 «Сертифікація зброї» зазначено, що обов'язковій сертифікації підлягають моделі зброї самооборони, вироблені в Україні та ввезені на територію України. Тому холодну зброю поряд з вогнепальною необхідно реєструвати в ГУ МВС України та мати дозвіл на її зберігання та носіння.

Ножі є невід'ємними супутниками людини вже не одну сотню років. Натепер їх асортимент досить великий. Частиною з них можна вільно користуватися, а деякі належать до холодної зброї і заборонені до продажу без сертифіката «Висновок». Зазвичай буває важко виявити, який ніж є холодною зброєю.

Тобто якщо ви придбали, виготовили або отримали в подарунок ніж у разі відсутності сертифіката («Висновок»), треба звернутись в орган експертизи (науково-дослідний експертно-криміналістичний центр при ГУ МВС України) для його отримання [3]. Отримання сертифіката («Висновок») ґрунтується не тільки на індивідуальних і групових ознаках конструкції предметів, а включає у себе ще й випробування холодної зброї. Отже, визначення різновидів холодної зброї є дуже важливим питанням, яке не можна залишати без уваги.

Щоб краще орієнтуватись у поняттях пропонуємо загальний огляд теоретичних основ з формулюваннями та визначеннями основних понять.

**Холодна зброя** – предмети та пристрої, конструктивно призначені та за своїми властивостями придатні для неодноразового завдання тяжких (небезпечних для життя у момент спричинення) і смертельних тілесних ушкоджень (надалі – «ураження цілі»), дія яких заснована на використанні м'язової сили людини [1].

За конструкцією та способом нанесення тілесних ушкоджень холодна зброя розподіляється на:

- зброю безпосередньої дії (клинкову, неклинкову, комбіновану);
- зброю опосередкованої дії (метальну).

**Клинкова холодна зброя** – предмети та пристрої, уражуючим елементом яких є клинок.

**Неклинкова (ударно-дробильна) холодна зброя** – предмети та пристрої, уражуючим елементом яких є ударна частина (частини).

**Комбінована холодна зброя** – предмети та пристрої, у яких в одне конструктивне ціле поєднані уражуючі елементи, характерні для різних типів холодної зброї (наприклад, кастет-ніж з клинком та ударною частиною).

**Мисливська та спортивна зброя** має типові ознаки холодної зброї.

**Колекційна холодна зброя** призначена для носіння з національними костюмами, виставкова та музейна зброя (яка є надбанням країни).

**Метальна холодна зброя** – предмети та пристрої, які призначені для ураження цілі на відстані [1].

Холодна зброя за своїм призначенням поділяється на:

- бойову, яка використовується, як правило, в державних та приватних військових структурах;
- службову, яка використовується в правоохоронних органах;
- цивільну (для полювання, спорту і самозахисту) та національну.

Належність до холодної зброї встановлюється за наявності у предмета, що обстежується, сукупності основних ознак, які відомі з теоретичних основ визначення холодної зброї. У разі надходження на сертифікацію об'єкта проводиться огляд з метою виділення особливостей, які є індивідуальними для цього предмета, звертається увага на ознаки, які дозволяють відрізнити такий предмет від інших, подібних йому. Головним завданням сертифікації є повне виявлення індивідуальних і групових ознак конструкції предмета, проведення порівняльних випробувань та проведення випробувань за методикою згідно з ГСТУ 78-41-006-99 [1].

Для наочності визначення ознак, які характеризують предмет як холодну зброю, представлено рисунок 1, де показані всі складові частини ножа.

На жаль, в Україні на тепер немає закону про зброю. Є лише законопроект про зброю, законопроект про обіг цивільної зброї та внутрішні інструкції та матеріали МВС. Через це щодо приналежності ножів до холодної зброї чи для побутового призначення в народі ходить безліч легенд. Тому необхідно мати сертифікат, який розвіє всі сумніви.

Наказ № 749 МВС України зі змінами від 07.08.2013 говорить, що холодна зброя може придбаватися центральними органами виконавчої влади підприємствами, установами та організаціями з метою [6]:

1) озброєння особового складу охорони, а також окремих осіб, яким за родом служби, зако-

ном дозволено носіння вогнепальної зброї, пневматичної та холодної зброї, пристроїв [6, розділ II, глава 9, п. 9.1].

2) науково-дослідних потреб;

3) навчальних потреб (забезпечення спеціальної підготовки);

4) спортивних потреб, промислового та любительського полювання, захисту життя, здоров'я та майна громадян;

5) використання на зйомках кінофільмів, у сценічних постановках, циркових виставах;

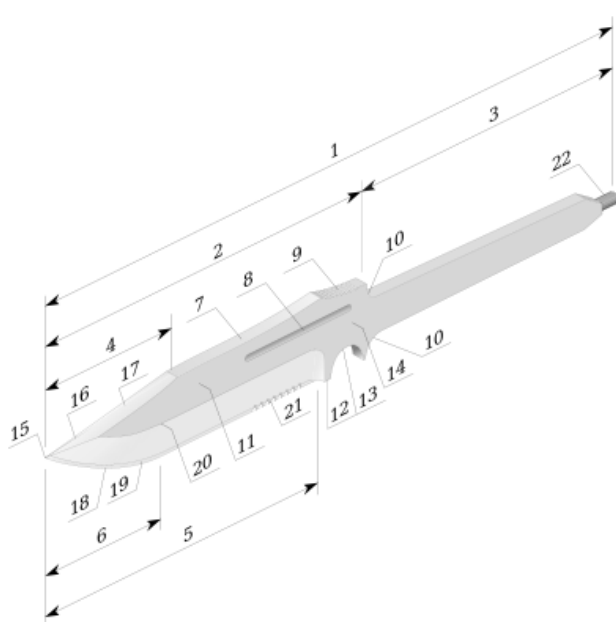
6) експонування в музеях та виставках;

7) колекціонування;

8) нагородження.

Організація проведення робіт із сертифікації цивільної зброї (пп. 2–6) та конструктивно схожих з нею виробів здійснюється ГУ МВС України. При цьому сертифікат відповідності («Висновок») є підставою для обігу цивільної холодної зброї на території України.

Організація проведення робіт із сертифікації службової та цивільної зброї (п. 1), яка передбачає оформлення сертифіката («Висновка») на холодну клинкову та металеву зброю, має видавати відповідні документи тільки за наявності результатів випробувань в акредитованій випробувальній лабораторії МВС України. Належність до холодної чи металевій зброї або до спеціальних засобів чи виробів господарсько-побутового призначення встановлюється за наявності у зразків, які випробовуються, повного виявлення індивідуальних і групових ознак конструкції предмета.



1. смуга
2. клинок
3. руків'я
4. скіс обуха
5. робоча (бойова) частина
6. підйом клинка
7. обух
8. діл
9. упор для великого пальця
10. обмежувач
11. голомінь
12. п'ята
13. підпальцевий радіус
14. п'ята
15. вістря (носок)
16. загочений скіс обуха
17. фальшлезо без загострення
18. ріжучий край (лезо)
19. підводи
20. ребро загострення (лінія спуску)
21. серейтор
22. гвинт хвостовика

Рис. 1.

Визначення комплексу ознак, які характеризують саме конкретний предмет, який надійшов на сертифікацію, проводиться за «Методикою криміналістичного дослідження холодної зброї та конструктивно схожих з нею виробів» і встановлює загальні техніко-криміналістичні вимоги [2]:

1. Клинок холодна зброя, комбінована холодна зброя з клинком (клинками):

- мінімальна довжина клинка – не менше як 90 мм;
- мінімальна товщина клинка – не менше як 2,6 мм;

- мінімальна твердість клинка, що виготовлений із вуглецевої сталі, – не менш як 50 НКС (у разі відсутності ДСТУ, ТУ, якими встановлені інші значення твердості);

- мінімальна твердість клинка, що виготовлений із корозійностійкої сталі, – не менш як 45 НКС (у разі відсутності ДСТУ, ТУ, якими встановлені інші значення твердості);

- кут загострення леза – не більше як 30 град.

**Примітка.** Довжина клинків визначається вимірюванням відстані від вістря до обмежувача (утику руків'я). Вимірювання товщини обуху проводиться у найтовщому місці клинка.

2. Неклинок (ударно-дробильна) холодна зброя:

- проста ударно-дробильна зброя (монолітні предмети – кастети, дубинки та ін.) повинні бути виготовлені з матеріалів, які забезпечують неодноразове застосування без пошкодження (руйнування) предметів;

- складена ударно-дробильна зброя (предмети та знаряддя, які складаються із різних за функціональними властивостями частин, – кістені, нунчаку та ін.) повинна бути виготовлена з матеріалів, які забезпечують неодноразове застосування без пошкодження (руйнування) предметів.

Але є і інша сторона, тобто ознаки, за якими ножі не відносять до категорії холодної зброї [3].

1. Це моделі ножів без загострення леза, на яких вістря ножа скруглено або виконано у вигляді викрутки (або чогось схожого), що унеможлиблює нанесення колючого удару.

2. Вістря розташоване на 5 мм вище обуха або обух має вигин більше, ніж 5 мм за довжини клинка 180 мм (10 мм за довжини більше 180 мм). Таким інструментом вкрай важко наносити прямі колючі удари.

3. Ніж має обух, що вигнутий на 5 мм по довжині клинка до 180 мм і на 10 мм за довжини клинка більше 180 мм.

4. Обух має крюк – суто мисливська зброя (на рисунку не показаний).

5. Клинок фіксованого ножа має розмір менше 90 мм.

6. Товщина леза від 6 мм.

7. Моделі з відсутністю заточки леза.

8. Руків'я без упору (довжиною коротше 70 мм), яке перешкоджає отриманню травми у разі колючого удару.

9. Товщина обмежувача рукояті, менша 2,5 мм, у разі довжини клинка до 150 мм.

**Примітка.** Усі вищезгадані параметри вимірюються каліброваним інструментом для вимірювання геометричних (лінійних) розмірів (вимірювальна лінійка, штангенциркуль, мікромметр або інші прилади, які забезпечують достатню точність вимірювання лінійних розмірів спеціалістами в акредитованих лабораторіях. Похибка вимірювань геометричних (лінійних) розмірів не повинна перевищувати розміри, що вказані в ГОСТ 8.051-81 [7].

Прямолінійність клинка та симетричність його стосовно руків'я перевіряють спеціальними шаблонами методом порівняння.

Лезо будь-якого ножа – основна функціональна частина його конструкції. Тому велика увага приділяється куту заточки. Для ножів універсального призначення кут ріжучої кромки повинен становити (20 ÷ 25). Саме в цьому діапазоні кута заточки ніж буде мати найкращі ріжучі властивості. Але водночас зарубіжні виробники вважають, що кут заточки може коливатися від 20° до 40° (хоча ніж заточений під кутом 40° буде різати набагато гірше ножа, що заточений під кутом 20°). Кут заточки перевіряється під мікроскопом шляхом відбитку на свинцевій або алюмінієвій пластині. Кут заточки допускається визначати з використанням стандартних і спеціально удосконалених інструментальних кутомірів з ноніусом, які забезпечують точність вимірювань кута до ± 0,2°, що повністю відповідає виробничим та дослідницьким цілям.

Є спеціальні стенди для проведення статичних випробувань, за допомогою яких визначається відповідність міцносних характеристик конструкції ножа. Перевіряються також ріжучі властивості клинків шляхом багаторазового зрізу деревини м'яких порід.

Одним із найважливіших факторів, притаманних для холодної зброї, є матеріал, з якого виготовляють ножі. Хочеться відзначити важливість пружності у разі виготовлення холодної зброї. Тому розглянемо це питання більш детально. Практично кожному добре відомо, що сталь необхідно гартувати [4]. Здатність сплаву «залізовуглець» після

відповідних термічних операцій набуває підвищеної пружності та міцності, що залежить від відсоткового складу вуглецю: чим він вищий, тим легше сталь приймає гартування. Нижній поріг лежить у межах 0,3–0,4%, після чого всі старання (підігрів, охолодження) будуть марними. Сталь набуває додаткової в'язкості і стійкості до розтріскування, збільшення корозійної інертності і т.п. Повний цикл термічної обробки включає, окрім гартування, цілу низку категорично обов'язкових процесів, кожен із яких вирішує своє завдання і є необхідним. Щодо холодної зброї такий ланцюжок виглядає таким чином: ковка – відпалювання – формування обробка (обдирка) – відпалювання – правка остаточних викривлень – гартування – відпуск. Хотілось би звернути увагу на операцію відпалювання, яка включає у себе повільне охолодження гарячої деталі, що вирівнює кристалічну структуру, знімає внутрішню напругу, зменшує зерно, усуває наслідки перегріву, покращує механічні властивості сталі. Гартування – це форсоване охолодження гарячої сталі. Подрібною структурою, підвищує пружність, зносостійкість. Відпуск виконується терміново після гартування шляхом нагріву сталі до температури 150°–550°С (залежно від марки сталі) і охолодженням на повітрі, в маслі або воді. Знімає внутрішню напругу, підвищує пластичність без помітної втрати пружності, стабілізує кристалічну структуру. Якщо ланцюжок цих операцій не проводився, то метал для ножа не може виконувати функції холодної зброї. Тому у разі сертифікації ножів матеріал леза необхідно ретельно випробовувати у спеціальній акредитованій лабораторії та перевірити пружність за методом Роквелла.

Важливим фактором є випробування міцності конструкції вузла з'єднання клинків холодної зброї з руків'ям.

Є також випробування на корозійну стійкість та на якість металевого покриття (міцність зчеплення його з основним металом). Для перевірки якості покриття проводиться операція перевірки шорсткості поверхні клинка профілометром-профілографом.

Отже, сертифікація холодної зброї – процес тривалий, складний, але необхідний для з'ясування відповідності загальних техніко-криміналістичних вимог з метою визнання ножів клинковою холодною зброєю.

**Висновки.** Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити висновок, що ця стаття дає можливість ознайомитись з інформацією стосовно того, що може бути пов'язано з поняттям «холодна зброя», взятої з відкритих джерел (нормативно-правові акти, закони та кодекси України). Знання того, який ніж у вас у руках, буває корисним не тільки професіоналам, які займаються їх виготовленням та продажем, але і простим споживачам. Відповідь на питання, якої довжини повинен бути клинок у ножа, якої товщини, форми, та багато іншого можуть дати тільки експерти, які керуються методиками та нормативно-правовими документами. Відповідно до проекту Закону України про зброю обов'язковій сертифікації підлягають моделі зброї самооборони, вироблені в Україні та ввезені на територію України. Бойова холодна зброя може реалізовуватись громадянам, які мають ліцензію на колекціонування (дозвіл на експозицію), дозвіл на зберігання та носіння зброї, та державним військовим організаціям. Організація проведення робіт із сертифікації холодної зброї, а також конструктивно схожих зі зброєю виробів реалізовується ГУ МВС України. При цьому надається сертифікат «Висновок» відповідності, який є підставою для обігу холодної зброї на території України. Висновок видається за наявності результатів випробувань в акредитованій випробувальній лабораторії. У цій лабораторії проводяться експертизи випробувань виробів на встановлення їх належності до певного виду (цивільної) бойової холодної та металеві зброї, до спеціальних засобів або виробів господарського призначення, конструктивно схожих із такою зброєю.

Належність до холодної клинкової або металеві зброї встановлюється у разі наявності у виробу, що випробовується, двох основних груп (ознак):

– групи ознак, які визначають призначення предмета для позбавлення життя або нанесення тяжких тілесних ушкоджень, небезпечних для життя та здоров'я людини, ураження тварини, а також для захисту;

– групи ознак, які визначають належність такого предмета для ураження цілі, що підтверджується його конструктивом та властивостями. У спеціальних засобів та виробів господарсько-побутового призначення, які мають схожі ознаки по зовнішній будові з холодною та металеві зброєю, вказані групи ознак частково або повністю відсутні.

#### Список літератури:

1. ГСТУ 78-41-006-99 Ножі. Холодна зброя та конструктивно схожі з нею вироби. Класифікація. Технічні вимоги. Правила приймання. Методи випробувань. © МВС України, Галузевий стандарт України.

2. Методика криміналістичного дослідження холодної зброї та конструктивно схожих з нею виробів; зі змінами та доповненнями відповідно до вказівки МВС від 21 серпня 1999 року № 19/3302 / Офіційний вебпортал ВРУ. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0002320-99>.

3. Про основні критерії визначення холодної зброї. URL: [https://zbroya.info/uk/blog/17140\\_pro-osnovni-kriteriyi-viznachennia-kholodnoyi-zbroyi/](https://zbroya.info/uk/blog/17140_pro-osnovni-kriteriyi-viznachennia-kholodnoyi-zbroyi/).

4. Що таке «Сталь для ножів» і які її різновиди? «Біла зброя». URL: <http://www.zbroja.com.ua/ukr/shcho-take-stal-dlya-nozhiv>.

5. Проект Закону України «Про обіг зброї невійськового призначення». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/view/jf1mh00b>.

6. Наказ № 749 МВС України від 07.08.2013 «Про внесення змін до наказу МВС України від 21 серпня 1998 року № 622». URL: <https://ips.ligazakon.net/document/re24015?an=1>.

7. ГОСТ 8.051-81<sup>1</sup> «Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров». URL: <http://helpnik.college.ks.ua/standart/gost/Catalog/Index/13/13590.htm>.

### **Kuzmenko T.M. COLD WEAPON CERTIFICATION IN UKRAINE**

*In modern conditions, the need for special knowledge of an expert in cold steel is not limited only to the sphere of criminal cases. An important area of application of expert knowledge is also certification tests, where diagnostic issues are resolved in order to determine the belonging of an object to cold weapons and to establish its type and type.*

*The variety of types and types of edged weapons, the specific design, shape, size and other characteristics require special knowledge in the field of its forensic assessment.*

*In many cases, these issues can be resolved with the help of cold steel expertise. Much attention is paid to issues arising in the investigation of crimes related to the use, manufacture (as well as carrying, storage, sale, manufacture, theft) of firearms. Much less attention is paid to issues related to the updated classification of knives. Although, in general, the number of crimes committed with the use of knives is much less, issues related to knives cannot be neglected. By definition, a melee weapon is a weapon designed to hit a target with the help of a person's muscular strength in direct contact with the target. Since this definition includes absolutely everything that can be used to harm a person by hitting, the definition has been expanded. And such concepts as throwing weapons and cold bladed weapons appeared. With thrown weapons, everything is clear; but cold bladed weapons are considered in more detail. Cold bladed weapons include: hunting and sporting weapons, which have the typical features of cold steel; edged weapons designed to be worn with national costumes – which are not prohibited by law. As well as a standard bladed weapon, this has clearly expressed signs and criteria for knives. A knife is considered a melee weapon if it has certain criteria that are determined by experts in an accredited expert laboratory.*

*This means that in order to achieve this goal, the article considers the following tasks:*

- theoretical overview of edged weapons for design and features;*
- study of the features of edged weapons as a test object;*
- the main problems of reference and information support for the certification of edged weapons and the search for ways to solve them.*

*Therefore, consideration, analysis and testing of melee weapons in laboratories for the purpose of certification and issuance of the “Conclusion” is not a new issue and requires further study and improvement.*

**Key words:** cold steel, bladed, metal, certification, target destruction.

<sup>1</sup> Нормативний документ скасований в Україні. Використовується як довідковий

**Рудасьов В.Б.**

Відокремлений структурний підрозділ «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Якубовський О.М.**

Відокремлений структурний підрозділ «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Головіна О.В.**

Філія Класичного приватного університету у місті Кременчук

## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАСТОСУВАННЯ СТАЛЕЙ ПІДВИЩЕНОЇ МІЦНОСТІ В АВТОМОБІЛЕБУДУВАННІ

*В огляді розглянуто сучасний стан виробництва та показано перспективу застосування листових сталей підвищеної міцності (СПМ) в автомобілебудуванні. Розглянуто етапи застосування СПМ із середини минулого століття до нашого часу. Підкреслено, що основним стимулом для розвитку нових матеріалів і марок сталей було різке зростання цін на нафту й бензин, відповідно, поставлено завдання – знизити споживання бензину за рахунок зниження маси автомобілів. Зниження маси планувалося досягти шляхом потонання листових сталей, при цьому збільшення міцності розглядалося як необхідна умова збереження безпеки автомобілів при аваріях. Відображено, як у розвитку сталей високої міцності змінювалася динаміка застосування СПМ в автомобілебудуванні. Показано, що спочатку ці сталі застосовували для виготовлення досить простих деталей, а саме: кріплення двигуна, бамперів, бічних стояків дверей, а пізніше їх почали використовувати при виробництві елементів кузова, панелей обшивки, деталей підвіски тощо. Наведено аналіз механізмів зміцнення листового прокату: зміцнення утворенням твердих розчинів, дисперсійне зміцнення, зміцнення подрібненням зерна, зміцнення другого структурного складника. Очевидно, що у високоміцних листових сталях реалізується відразу кілька механізмів зміцнення, причому одні з них можуть пригнічуватися (або посилюватися) іншими. Позначено обмеження, пов'язані з використанням листових сталей підвищеної міцності у виготовленні деталей автомобілів, але, незважаючи на перелічені недоліки, показана економічна доцільність застосування таких сталей для кузовних деталей автомобілів, що штамнуються. Установлена перевага СПМ перед іншими «легкими» матеріалами, яка полягає в тому, що для зменшення одиниці маси автомобіля вони дають змогу витратити значне менші кошти й не потребують значних змін у технології їх виробництва. Запропоновано спрямувати подальші дослідження на розробку технологічних заходів, що дадуть змогу підвищити штампування листових сталей підвищеної міцності.*

**Ключові слова:** листові сталі підвищеної міцності, автомобілебудування, штампування.

**Постановка проблеми.** Підвищення технічного рівня виробів машинобудування є найважливішим економічним завданням, вирішення якого значною мірою визначається застосуванням нових прогресивних матеріалів.

Автомобілебудування є найбільш металоємною галуззю машинобудування, де витрачається трохи менше третини всього прокату, що використовується в галузях машинобудівного комплексу. У масі сучасного легкового автомобіля сталь становить від 40 до 45%, чавун – 13–15%, пластмаси – 7–10%, цинк – до 1% залежно від класу (А клас – mini cars (мікроавтомобілі), В клас – Small cars (малі автомобілі), клас С – Medium cars (європейський «середній клас»), клас D – Larger

cars (великі сімейні автомобілі), клас E – Executive cars («бізнес-клас»). Загалом споживання сталі на один автомобіль зберігається на постійному рівні, адже з неї у світі щорічно виготовляють до 70 мільйонів кузовів лише легкових автомобілів (моделі автомобілів Polo, Jetta, Passat, Tiguan Teramont, Touareg, Mercedes, Ford, Mitsubishi тощо).

У 2020 році у світі було вироблено близько 60 мільйонів пасажирських автомобілів, що на 10 мільйонів менше, ніж у 2019 році, перед початком епідемії КОВІД [1]. Проте цілком законно припустити, що після закінчення епідемії виробництво легкових пасажирських автомобілів знову повернеться на колишній рівень у 70 мільйонів.

На цьому фоні сформувалися вимоги до виробників автомобілів, пов'язані зі зниженням матеріаломісткості, підвищенням безпеки та відповідністю екологічним нормам. Є підстави вважати, що застосування листових сталей підвищеної міцності зі спеціальними властивостями й унесення змін до технології їх штампування є одним із перспективних напрямів у вирішенні перелічених завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні питаннями застосування сталей високої міцності під час виготовлення транспортних засобів займаються багато вчених. Дослідники в роботах схиляються до висновку, що основною сучасною тенденцією в автомобілебудуванні є зниження ваги при збереженні високої безпеки. У роботі [3] подано оцінку практики та перспективи застосування високоміцних сталей в автомобільній промисловості. Авторами розглянуто марки сталей, що застосовуються, застосовність їх у виготовленні окремих деталей автомобілів і наведені шляхи зниження маси кузова. У праці [4] надано оглядову оцінку основних шляхів розвитку в галузі транспортного матеріалознавства. Авторами проведено порівняння кузовних деталей автомобіля зі сталей підвищеної міцності (далі – СПМ) з деталями з алюмінію, магнію, композиційних матеріалів і пластику. Однак у сучасній літературі недостатньо представлено наукових досліджень з глибокого аналізу та систематизації інформації щодо застосування сталей високої міцності в автомобілебудуванні, їх властивостей і способів зміцнення.

**Постановка завдання.** Мета статті – огляд і систематизація основних етапів створення тонколистових сталей в автомобілебудуванні, аналіз механізмів зміцнення листового прокату й установлення подальших напрямів використання СПМ у виготовленні деталей автомобіля.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Згідно з дослідженнями, підвищення міцності сталей для автомобілебудування від 200–250 МПа до 375 МПа дає змогу знизити масу автомобіля на 15–17%. Як показує практика, підвищення міцності листа на 30–50% дає можливість знижувати товщину кузовних деталей у діючих конструкціях, де перешкодою є втрата жорсткості, на 15–20% і в новостворених – на 20–25%. Для автомобілебудування, у структурі споживання якого четверта частина сталі припадає на холоднокатаний лист, заміна навіть його частини на лист із СПМ є суттєвим резервом економії матеріалів і можливістю зниження маси транспортного засобу. У викорис-

танні СПМ (ще ці сталі називають «високоміцні листові сталі» (ВЛС)) чітко простежується кілька етапів. Перші розробки СПМ почалися в Японії та США в другій половині 1970-х років. Основною рушійною силою цих розробок стало різке зростання нафтових цін, що призвело до формування завдання – знизити споживання палива за рахунок зниження маси транспортного засобу. Ще одним бонусом є зниження споживання палива автомобілями, а також зменшення концентрації шкідливих домішок відпрацьованих газів у навколишнє середовище, що особливо актуально для великих міст Японії та Європи, де велике скупчення транспорту. Зниження ваги планувалося досягти шляхом витончення листових сталей, що застосовуються, з обов'язковим збільшенням міцності, що є необхідною умовою для збереження безпеки автомобілів.

На першому етапі розроблялися й застосовувалися в основному мікролеговані HSLA (НЛС) з підвищеним вмістом марганцю Mn, і/або кремнію Si, і/або фосфору P плюс мікролегування ванадієм V, і/або титаном Ti, і/або ніобієм Nb. На початку ці сталі застосовували для виготовлення досить простих деталей, таких як кріплення двигуна, бампери, бічні стійки дверей. Але у 80-ті роки минулого сторіччя номенклатура деталей, що виготовляються зі СПМ, значно розширилася. СПМ почали використовувати під час виробництва елементів кузова, панелей обшивки, деталей підвіски тощо.

З кінця 1970-х у США та Японії почалися розробки із застосуванням ДФМС (двофазні феритомартенситні сталі, або DP – Dual Phase steels). Докладний аналіз цих сталей зроблено в СРСР 1986 року [10]. У чорній металургії колишнього СРСР основним виробником СПМ був Новолипецький металургійний комбінат (НЛМК), що випускав сталі 08ГСЮТ(Ф), 08ЮТР, 03ХГЮ, 06ХГЮ (останні дві з двофазною феритно-мартенситною структурою). Сталь 08ДСЮФ випускав Череповецький металургійний комбінат (ЧерМК), 07ДСЮФ – комбінат «Запоріжсталь», 10ЮТА – Магнітогорський металургійний комбінат (ММК). Водночас велося освоєння виробництва інших, більш технологічних СПМ на низці металургійних підприємств. Сталі мартенситного класу (далі – ДФМС), вироблялися на АБВ (агрегат безперервного віджигу) або САЛ (Continues Annealing Line). Перші такі лінії були побудовані в Японії та США (японською фірмою НКК). У цей час рівень міцності HSLA (НЛС) і ДФМС був мінімум 350–450–550 МПа (клас 350, 450 та 550). В основному тоді це були переважно просто холоднокатані сталі, без захисних покриттів.

На першому етапі при розробках СПМ використовувалися відомі механізми зміцнення сталі:

1. Зміцнення утворенням твердих розчинів – утворення твердих розчинів із різними металами призводить до зміцнення та деякого зниження пластичності. Твердими розчинами називають фази, у яких один із компонентів сплаву зберігає свою кристалічну решітку, а атоми інших (або іншого) компонентів розташовуються в решітці першого компонента (розчинника), змінюючи її розміри (періоди).

2. Дисперсійне зміцнення – дисперсійне твердіння – зміцнення за рахунок виділення з пересиченого твердого розчину великої кількості частинок другої (дрібнодисперсної) фази. За рахунок того, що частинки дрібнодисперсної фази перешкоджають переміщенню дефектів кристалічних ґрат (дислокацій), сплав зміцнюється.

3. Зміцнення подрібненням зерна (зернограничне зміцнення) – унікальною особливістю зернограничного зміцнення є те, що при реалізації цього механізму одночасно зі збільшенням міцності відбувається збільшення в'язкості та пластичності сталі. З подрібненням зерна знижується температура в'язкокрихкого переходу й підвищується опір крихкому руйнуванню.

4. Зміцнення другої структурної складової – мартенситом чи бейнітом. Ці структурні складові формуються в процесі безперервного віджигу сталі, який включає загартування та відпуск. Цілком очевидно, що, як правило, у ВЛС реалізується відразу кілька механізмів зміцнення, причому одні з них можуть пригнічуватись (або посилюватись) іншими.

Основні принципи, покладені в основу розробки холоднокатаних СПМ, полягали в застосуванні мікрولهгування традиційними легуючими елементами (такими як азот, фосфор, марганець, кремній, титан, ванадій тощо) у кількостях, що суттєво не впливають на вартість сталі, й у використанні звичайних металургійних агрегатів, на яких здійснювалося виробництво маловуглецевих сталей (крім виробництва д вофазної сталі). Крім того, такі методи виготовлення сталі, як контрольована прокатка або віджиг смуги, давали змогу отримати лист із високою пластичністю.

Більшість низьколегованих СПМ поставлялася у вигляді змотаної в рулон гарячекатаної смуги товщиною від 2 до 8 мм і шириною до 1500 мм. Тонкий лист товщиною від 0,5 до 2 мм отримували холоднокатаною прокаткою з

наступним віджигом у ковпакових печах для підвищення пластичності сталі перед деформацією. У ковпакових печах здійснюють віджиг змотаних або розпушених рулонів тривалістю від кількох годин до кількох діб.

Віджиг низьколегованих СПМ проводився в агрегатах безперервної дії (АБВ – агрегатах безперервного віджигу), що давало змогу варіювати властивості листа шляхом регулювання температури та швидкості нагрівання й охолодження смуги.

Зазвичай різницю між сталями прийнято показувати, використовуючи дані щодо співвідношення між міцністю (межею міцності) і пластичністю (подовженням).

На рисунку 1 представлено співвідношення між межею міцності  $\sigma_B$  та відносним подовженням  $\delta_4$  для різних холоднокатаних сталей [5].

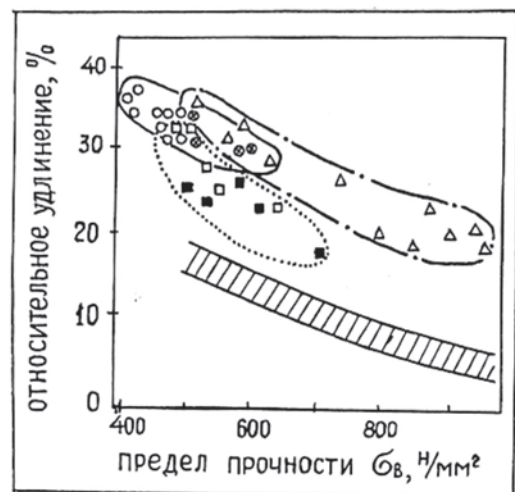


Рис. 1. Співвідношення між межею міцності  $\sigma_B$  та відносним подовженням  $\delta_4$  для різних холоднокатаних сталей

- зміцнення твердого розчину фосфором;
- зміцнення твердого розчину марганцем та кремнієм;
- зміцнення подрібненням зерна, мікрولهгування ніобієм;
- зміцнення подрібненням зерна, мікрولهгування титаном;
- ДФМС;
- зміцнення збільшенням щільності дислокацій.

Максимальна міцність до 1000 МПа належить сталям ДФМС (двофазні мікрولهговані сталі), проте основний масив даних перебуває в діапазоні міцності 400–700 МПа.

На рисунку 2 представлено співвідношення тимчасового опору розриву  $\sigma_B$  та відносного подовження  $\delta_4$  у листових сталей підвищеної міцності [6].



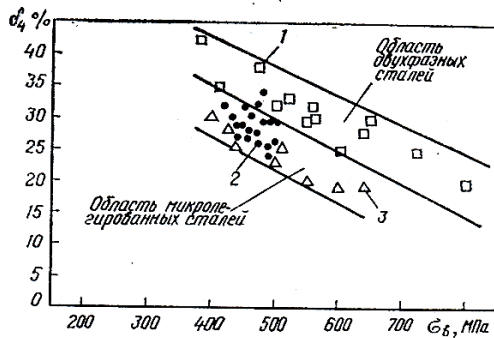


Рис. 2. Співвідношення тимчасового опору розриву  $\sigma_{0.2}$  та відносного подовження  $\delta_4$  у листових сталях підвищеної міцності:

1 – двофазні феритно-мартенситні сталі; 2 – мікролеговані сталі; 3 – дослідна сталь 08ГСЮТ (Ф)

Дані, представлені на рисунках 1 і 2, показують, що сталі ДФМС мають переваги перед іншими СПМ щодо комплексу таких властивостей, як міцність і пластичність [5; 6].

Перевагою ДФМС є не так висока міцність або пластичність (межа міцності від 450 до 1180 МПа й відносне подовження від 10 до 27%), скільки можливість отримання найбільш високого поєднання цих параметрів у порівнянні з іншими варіантами технології отримання низьколегованих сталей, що дає змогу виготовляти із цих сталей деталі складної форми.

ДФМС мають мікроструктуру, що складається з феритної матриці з включеннями мартенситу. Об'ємна частка мартенситу в мікроструктурі становить від 10 до 80% залежно від рівня міцності. Мартенсит забезпечує суттєве зміцнення сталі, тоді як присутність фериту сприяє хорошій пластичності.

У нормативних документах на ДФМС [7; 14], крім вимог до механічних характеристик – межі текучості, межі міцності й відносного подовження, висуваються також вимоги до коефіцієнта деформаційного зміцнення та величини ВН-ефекту.

ДФМС має особливість у порівнянні зі звичайними сталями – ефект термозміцнення – ВН-ефект (Bake Hardening effect, ефект зміцнення при сушінні), який виражається в збільшенні межі текучості після попередньої деформації, унесеної під час штампування, і наступного нагрівання під час сушіння лакофарбового покриття [14].

Набуття вищезгаданих властивостей СПМ відбувається під час термічної обробки, після холодної прокатки або під час загартування після гарячої прокатки.

У 2000-х роках настав другий етап застосування високоміцних сталей, коли були розро-

блені нові типи СПМ, з наступними цинковими покриттями:

- EG – електроцинкове покриття;
- GI – гаряча оцинковка;
- GA – покриття гальваніт (після гарячого цинкування сталь проходить піч для утворення дифузії між цинком та залізом).

При цьому рівень міцності нових сталей виріс. Усі ці нові марки починають називати AHSS – Advanced High Strength Steels, або передові (пронунуті) ВЛС. Загальна кількість марок листових сталей підвищеної міцності там уже вище 50.

В останні роки опубліковані дослідження, де наводяться співвідношення між міцністю й подовженням для цих «передових» ВЛЗ. На рисунках 3, 4 наводяться, наприклад, дві такі діаграми [9] – одна з публікації 2014 року, рис. 3, інша – публікації 2020 року (рис. 4 [9]).

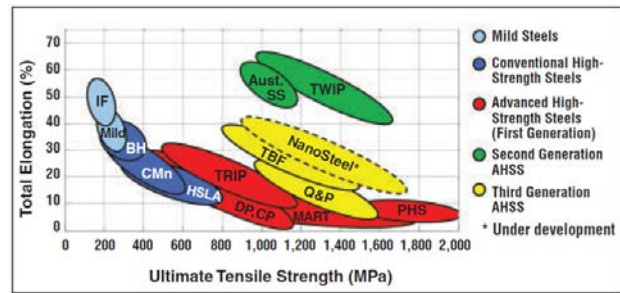


Рис. 3. Діаграма співвідношення між міцністю й подовженням для різних листових сталей

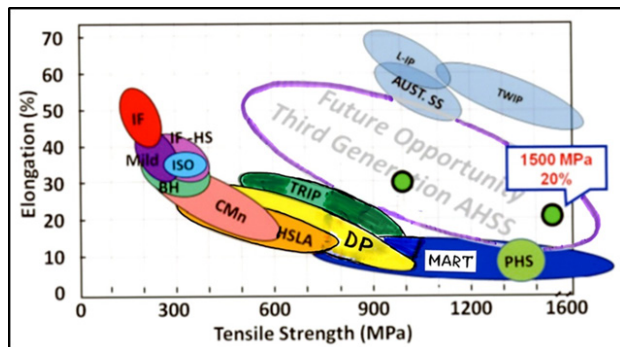


Рис. 4. Діаграма співвідношення між міцністю й подовженням для різних листових сталей

Як видно із цих діаграм, крім відомих раніше сталей, зміцнених твердим розчином (C, Mn), мікролегованих HSLA (НЛС), двофазних сталей (DP) і сталей мартенситного класу (MART), з'явилися нові класи сталей. Розглянемо ці класи сталей (при цьому необхідно уточнити, що позначення нових класів можуть відрізнятися залежно від країни, фірми виробника й інших факторів).

– TRIP (Transformation Induced Plasticity – ТРІП) сталі, де підвищена пластичність забезпечується

за рахунок перетворення залишкового аустеніту в мартенсит під час деформації при штампуванні; цей механізм досить добре відомий та обговорювався ще в 1970-х роках [10]. Основна проблема в цьому випадку полягає в тому, щоб «зберегти» залишковий аустеніт при кімнатній температурі, для цього ці сталі легуються досить великою величиною алюмінію й/або кремнію, що створює суттєві перешкоди для нанесення цинкового покриття. У зв'язку з цим виробництво та застосування цих сталей почалося лише наприкінці 1990-х – на початку 2000-х років. Ці сталі переважно вироблялися й виробляються із «середнім» рівнем міцності – клас міцності 600–800 МПа.

– TWIP (ТВІП) сталі, де підвищена пластичність забезпечується за рахунок «двійникування» в процесі деформації, у результаті створюється унікальна дислокаційна структура [13]. Як видно з рис. 3, пластичність цих сталей найвища – просто унікально висока за дуже високої міцності. Однак отримання таких унікальних властивостей можливе тільки при дуже високому вмісті марганцю (~ 15–30%), що призводить до, по-перше, високої вартості цих сталей, по-друге, серйозних технологічних проблем (наприклад, точкове зварювання); ці сталі застосовувалися в обмежених обсягах деяких фірм, проте широкого поширення вони нині не набули.

– AUST SS – високоміцні листові нержавіючі сталі. До цього часу ці сталі не знаходили практичного застосування в кузовах автомобілів масового виробництва через дуже високу ціну, проте в сьогодні Tesla продовжує працювати над «Кібертраком» (Cybertruck), кузов якого, імовірно, виготовлятиметься з високоміцної нержавіючої сталі (дивися нижче).

– PHS сталі (Press Hardening Steels) – сталі з простим хімічним складом (підвищений вуглець ~ 0,23–0,34%; марганець 0,60–1,20%; кремній 0,20–0,50%; добавка бору ~ 20–30 ppm (ppm = «кількість частинок на мільйон»), трохи хрому ~ 0,20–0,35%), що проходять через лінію гарячого алюмінію на металургійному заводі; далі в пресовому виробництві у виробника заготівлі нагріваються вище  $A_c^3$  (зазвичай вище ~ 900°C) і далі з них формують у гарячу деталі будь-якої складності, після чого різке охолодження (загартування) водою; у результаті отримують міцність деталі, як у сталі мартенситного класу. Алюміній на поверхні потрібен, щоб запобігти корозії після загартування деталі; тепер під час використання цих сталей отримують деталі двох класів міцності – 1500 і 2000 МПа.

На діаграмі рис. 4 виділена велика ділянка, позначена як Future Opportunity Third Generation of AHSS (передові ВЛЗ третього покоління в майбутньому). Поєднання високої пластичності при високій міцності в цих сталях забезпечується багатофазною мікроструктурою в поєднанні деяких марок таких сталей із дуже дрібною структурою. Структура цих сталей, як правило, включає відпущений мартенсит, бейніт і залишковий аустеніт із невеликою кількістю фериту. Відпущений мартенсит і бейніт забезпечують міцність, а залишковий аустеніт – пластичність унаслідок ефекту ТРІП при штампуванні. Іноді в цих сталях є й невідпущений мартенсит, обсяг якого, однак, повинен контролюватися, щоб не допустити падіння такого важливого для штампування параметра, як «роздача отвору». Маркування та позначення сталей, що відносяться до цієї ділянки, різні – це й HF сталі (High Formability – висока формованість), MP (Multiphase – багатофазні) сталі, CP (Complex phase) сталі, часто це маркування залежить від виробника. Сюди включають NanoSteel, рис. 3, – сталі із супердрібною структурою. Також іноді виділяють TBF сталі (рис. 3) – це ТРІП сталі з поєднанням бейніту й фериту. Для отримання оптимального поєднання вищезазначених фаз останнім часом на передових металургійних заводах у процесі безперервного віджигу використовують технологію Q&P (Quenching and Partitioning – загартування та перерозподіл). Суть цієї технології полягає в тому, що сталь після віджигу швидко охолоджується (Quenching) нижче від точки  $M_s$  (точка початку утворення мартенситу), потім нагрівається вище цієї точки й витримується при вибраній температурі (Partitioning) для перерозподілу вуглецю [14; 15]. Як видно з діаграми рис. 3, оптимальна структура таких сталей може забезпечити подовження вище 20% при міцності 1500 МПа. Назвемо ці сталі «третього покоління» як високоміцні листові сталі високої пластичності (ВЛСВП).

Накопичений досвід виробництва та застосування СПМ виявив низку обмежень, пов'язаних із їх використанням.

Головне обмеження – це знижена пластичність, включаючи подовження, що призводить до зниження штампування (зокрема роздачі отвору). Це передбачає зміну геометрії кузовних деталей, що штампуються, застосування технологічних заходів для поліпшення штамповки.

На стані гарячої прокатки можна отримати лише товстолистовий гарячекатаний прокат, а в АБВ лише тонкий холоднокатаний.

При виробництві СПМ потрібна додаткова витрата легуючих елементів; жорсткий контроль режиму прокатки й високий рівень контролю хімічного складу (локальні відхилення в умісті вуглецю та зміна режимів охолодження на вихідному рольгангу стану гарячої прокатки можуть призвести до отримання неоднорідної мікроструктури, отже, нестабільних механічних властивостей по довжині смуги).

Двофазні сталі (з певним рівнем властивостей міцності), як правило, мають більш високу вартість у порівнянні зі звичайними сталями підвищеної міцності, якщо не рахувати тих випадків, коли двофазні сталі отримують на основі маловуглецевих із використанням високих швидкостей охолодження, тоді їх вартість наближається до вартості сталей типу HSLA.

Одним із обмежень при використанні сталей підвищеної міцності (високоміцних сталей) як заміників звичайних сталей у конструкції кузова автомобіля є зниження жорсткості, пов'язане зі зменшенням геометричних розмірів деталей.

Іншою проблемою є корозійна стійкість. Уважається, що агресивна дія навколишнього середовища при експлуатації автомобіля однакова як для звичайних, так і для СПМ.

Незважаючи на зазначені недоліки, застосування високоміцних сталей з точки зору економічності доцільності має перевагу над іншими «легкими» матеріалами, наприклад, перед алюмінієвими сплавами та пластичними масами. По-перше, вони дають змогу витратити мінімальні кошти для зменшення одиниці маси автомобіля. За оцінками американських фахівців, деформовані алюмінієві сплави можуть дати зменшення маси деталей одного автомобіля на 50%, проте при цьому витрати становитимуть понад 1 долар США на фунт (одиниця виміру маси в системі англійських заходів – 1 фунт = 0,45359237 кг) «зеконормованої» маси [17]. При використанні для

цих цілей високоміцних сталей зниження маси становить 10–15% на один автомобіль (залежно від необхідного рівня міцності), а витрати на «зеконормований» фунт маси не перевищать 25 відсотків.

Саме тому в США відсоток високоміцних сталей, що застосовуються в автомобілебудуванні, з 1985 року збільшився приблизно в 2 рази й до 2000 року досяг 20% від загальної маси автомобіля, а в Японії виробництво високоміцних сталей до 2010 року доведено до 70%.

Друга важлива перевага високоміцних сталей, завдяки чому вони ширше впроваджуються в автомобільне виробництво, полягає в тому, що вони не вимагають значних змін технології їх виробництва та заміни обладнання.

**Висновки.** Проведений аналіз показав, що, незважаючи на перелічені недоліки, перспектива використання сталей підвищеної міцності в автомобілебудуванні очевидна, що підтверджується зростанням їх споживання. Так, у період 1995–2013 років використання листових холоднокатаних сталей підвищеної міцності в галузі зросло в США у 2,4 рази, Японії – у 4,6 рази.

Використання СПМ дає змогу знизити собівартість продукції, збільшити довговічність деталей автомобілів і, як наслідок, зменшити витрати на ремонт.

Очевидно, що без СПМ неможливо виконати сучасні вимоги до пробігу автомобілів на одиницю об'єму палива, які постійно посилюються (наприклад, якщо в Америці зараз ця вимога 40 миль на галон, то у 2026 році планується 52 миль на галон).

У роботі встановлено, що на сьогоднішньому етапі розвитку виробництва поєднувати високу пластичність сталі з підвищенням міцності навряд чи можливо, тому подальші дослідження пропонується направити на розробку технологічних заходів, які дадуть змогу підвищити штампування листових сталей підвищеної міцності.

#### Список літератури:

1. ACEA Report of February 1, 2021. URL: <https://www.acea.auto/cv-registrations/commercial-vehicle-registrations-3-3-first-two-months-of-2021-1-2-in-february> (дата звернення: 10.12.2021).
2. World Steel Association. “Steel in Automotive”. Accessed June 13, 2020.
3. Филиппов М.А., Ямщиков А.В. Новые материалы и технологии для автомобилестроения. *Композитный мир*. 2015. № 3. С. 263–268.
4. Гаврилова В.Г., Помазков М.В., Караваева Н.Е. Анализ возможности применения различных материалов для изготовления деталей кузовов в практике автомобилестроения. *Вестник Приазовского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2015. № 31. С. 42–50.
5. Якубовский О.Н. Технологические и эксплуатационные свойства листовых сталей повышенной прочности и их внедрение в автомобилестроении : дисс. ... канд. тех. наук : 05.16.01. Москва, 1989. 212 с.
6. Технологические свойства тонколистовой стали повышенной прочности / В.К. Белосевич, М.Л. Дробинский, В.Б. Рудасёв, О.Н. Якубовский. *Технология автомобилестроения*. 1983. № 2. С. 7–9.

7. Голованенко С.А., Фонштейн Н.М. Двухфазные низколегированные стали. Москва : Металлургия, 1986. 207 с.
8. CAFÉ (Corporate Average Fuel Economy) standard, USA. URL: <https://www.nhtsa.gov/laws-regulations/corporate-average-fuel-economy/> (дата звернення: 10.12.2021).
9. Demeni M.Y. Advanced High Strength Steels: Science, Technology, and Applications. ASM International, USA, 2013.
10. Fonstein N. Effects of Microstructure Refinement and Retained Austenite Stability on Properties of AHSS. MS&T20 Conference, Pittsburgh, USA, October 4–8, 2020.
11. Olson G.B., Azrin M. Transformation Behavior of TRIP steels. *Metallurgical Transaction A*. 1978. Volume 9A.
12. Bruno C. De Cooman, Yuri Estrin. Sung KyuKimd. Twinning-induced plasticity (TWIP) steels. *Acta Materialia*. 2018. Volume 142. P. 283–362.
13. Beardmore P. The potential for high strength steels in the U.S. automotive industry. *Material in Engineering*. 1981. Volume 2. № 5. P. 250–259.
14. Austenite Formation and Decomposition (Q&P) / J.G. Speer, A.M. Streicher, D.K. Matlock, F.C. Rizzo, G. Krauss ; E.B. Damm and M. Merwin, eds. TMS/ISS, Warrendale, PA, 2003. P. 505–522.
15. Santofimia M.J., Zhao L., Sietsma J. Overview of Mechanisms Involved During the Quenching and Partitioning Process in Steels. *Metallurgical and materials transactions a*. 2011. Volume 42a.
16. Беньковський М.А., Масленников В.А. Автомобильная связь и тонкий лист. Череповец : Издательский дом «Череповец», 2007. С. 454–461.
17. Demeni M. Y. Advanced High Strength Steels: Science, Technology, and Applications, ASM International, 2013.
18. Nina Samodajev (MSc Materials Science). Advanced High Strength Steel (AHSS) for Stronger, Lighter and Safer Cars, Blog Matmatch, June 3, 2019.
19. Miklós Tisza. Development of Lightweight Steels for Automotive Applications. Grant No. AutoTech-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0029, Published : February, 14th 2020.
20. Bachman K., Lightweighting still dominates, Great Designs in Steel seminar, March 2018.
21. EN 10346-2009 Continuously hot-dip coated steel flat products. Technical delivery conditions, 2013. P. 37.

#### **Rudasov V.B., Yakubovskiy O.M., Holovina O.V. CURRENT TRENDS IN THE USE OF HIGH STRENGTH STEEL IN AUTOMOBILE BUILDING**

*The paper discusses the current status of production and application of sheet High Strength Steels (HSS) in automobile industry. Different stages of HSS development and application can be seen starting as early as 1970s up to current days. The major reason of HSS application is to achieve cars weight reduction by using sheet steel with lighter gauge, and the increase in strength is important to guarantee safety of the vehicles during car accidents. While the sharp increase in gasoline cost was the major driving force of the cars weight reduction in 1970s, the importance of car pollution reduction by car weight reduction has been constantly increasing. The constant fight to increase the plasticity (elongation) of the steel at constantly increased strength resulted in significant increase in HSS application in recent years. While HSS was used to manufacture mostly simple car parts in the beginning of HSS development, they have been used today for much more complicated car body parts. The different strengthening mechanisms which can be used in the sheet steel are discussed, in particular: solid solution strengthening; precipitation hardening; structure refinement (grain sizes of ferrite and/or martensite); addition of the second phase – martensite or bainite. It is obvious that several different strengthening mechanisms are typically used in HSS simultaneously, and some of them can be enhanced or suppressed by others. While some limits and disadvantages in HSS applications are shown, nevertheless HSS application is the best and cheapest way to guarantee car safety in combination with the weight reduction. The application of HSS in comparison with other “light” materials such as aluminum and plastic is cheaper and doesn't require significant changes in the car manufacturing technology. It is proposed to focus on improvements in forming and stamping processing of HSS in future investigations.*

**Key words:** High Strength Steels, automobile industry, stamping processing.

## ПРИЛАДИ

УДК 681.5

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/04>**Ладженський О.В.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ ЗІ СКЛАДНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

У статті розглянуто проблему ультразвукового контролю об'єктів зі складною формою поверхні. На поточний момент акустичний неруйнівний контроль таких об'єктів ускладнений через проблему щільного прилягання перетворювача, отже, неможливості правильно локалізувати положення дефектів. У статті запропоновано методику визначення форми поверхні та ультразвукового перетворювача для коректного визначення параметрів збудження і прийому ультразвукових коливань. Показано можливість розробки гнучкого ультразвукового перетворювача, який може змінювати кривизну робочої поверхні. Такий тип перетворювачів може бути застосований для контролю об'єктів зі складним профілем поверхні. Це забезпечить кращий акустичний контакт між датчиком та об'єктом контролю, що значно підвищить вірогідність та продуктивність контролю. Крім того, це відкриває можливість для ультразвукового контролю об'єктів, які раніше не підлягали ультразвуковому контролю. Запропоновано алгоритм визначення координат градієнтів густини в матеріалі, що контролюється, який базується на визначенні координат елементів датчика. Проведено аналіз працездатності алгоритму. Показано можливість створення акустичної системи контролю з гнучким перетворювачем.

**Ключові слова:** неруйнівний контроль, акустичний контроль, ультразвук, складна поверхня, гнучкий ультразвуковий перетворювач.

**Постановка проблеми.** Акустичний метод неруйнівного контролю, спрямований на виявлення неоднорідностей у структурі матеріалу, набув поряд з іншими методами неруйнівного контролю широкого розвитку завдяки можливості досягнення високої роздільної здатності і незалежності від агрегатного стану контрольованого матеріалу та відсутності шкідливого впливу на людський організм.

Особливі переваги акустичного методу контролю пов'язані з розвитком автоматизованих систем на основі використання дискретних фазокерованих акустичних перетворювачів (ФАП) з двомірним панорамним відображенням розташування неоднорідностей (градієнтів густини) контрольованого матеріалу типу В-скан.

Проте недоліком подібних систем контролю, якщо йдеться про їх універсальне призначення, є необхідність індивідуального пристосування форми перетворювача до форми поверхні об'єкта дослідження для забезпечення можливості вводу-виводу коливань. Плоска поверхня перетворювача вимагає такої ж плоскої поверхні об'єкта контролю [1].

**Постановка завдання.** Ця робота спрямована на подолання вказаного недоліку і реалізацію

можливості забезпечення в автоматичному режимі виконувати контроль і панорамне відображення внутрішньої структури матеріалу твердотільних виробів зі складною формою поверхні за параметрами просторово-часових координат луносигналів.

Принцип роботи системи ґрунтується на допущенні незалежності швидкості хвилі поздовжніх коливань у контрольованому матеріалі від напрямку їх поширення. Конструкція ФАП відрізняється відсутністю жорсткого з'єднання елементів між собою, що дозволяє положенням елементів повторювати профіль поверхні об'єкта контролю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для можливості однозначного визначення координат просторового розташування градієнтів густини контрольованого середовища діаграма направленості ультразвукових коливань, якими виконується зондування такого середовища, має бути стаціонарною. Це виключає можливість використання одночасного збудження коливань усіх елементів ФАП, враховуючи їх довільне в певних межах взаємне просторове положення. Знаючи априорі координатне розташування елементів перетворювача та регулюючи відповідно момент збудження та прийому коливань для кожного елементу перетворювача

можемо локалізувати координати інформативних акустичних сигналів (луносигналів), відбитих від дефектів [2]. Можемо також виконати фокусування коливань у заданій точці контрольованого середовища з метою забезпечення високої роздільної здатності контролю [3]. Основна проблемність у реалізації автоматизованої системи такого контролю полягає у необхідності врахування просторових координат положення елементів ФАП у разі визначення координат місця положення градієнтів густини контрольованого матеріалу за результатами вимірювання часового запізнення луносигналів, прийнятих елементами перетворювача [5].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Визначення координат положення елементів ФАП відносно положення центрального елемента після притискання перетворювача до поверхні об'єкта контролю виконаємо для випадку, коли відмінність такої поверхні від площини описується повільною функцією (рис. 1). Враховуючи розмір ширини елемента ФАП рівний, наприклад  $\lambda/2$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі коливань до матеріалу об'єкта контролю, координати  $n$ -ного відносно центру перетворювача елемента можемо визначити, якщо виміряємо величину відстані  $\Delta h_n$  – зміщення положення елемента відносно горизонталі:

$$\begin{aligned} x_n &= \sqrt{\left(n \frac{\lambda}{2}\right)^2 - \Delta h_n^2} \\ z_n &= \Delta h_n \end{aligned} \quad (1)$$

Величина зміщення положення  $n$ -ного елемента перетворювача відносно горизонтального положення центрального елемента може бути визначена шляхом попереднього вимірювання величини нерівностей поверхні об'єкта контролю з допомогою мікропрофілометра і відповідного перерахування з відносно позиції такого елемента у складі перетворювача [4].

Розглянемо можливість визначення просторових координат градієнтів густини (дефектів внутрішньої структури контрольованого матеріалу) за величиною часового запізнення надходження луносигналів у випадку збудження зонduючого коливання центральним елементом ФАП. Час запізнення надходження луносигналу ( $\tau_0$ ) до центрального і  $n$ -ного ( $\tau_n$ ) елементів лінійно залежить від відстаней елементів перетворювача до місця розташування градієнта густини:

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \frac{2L_0}{C} \\ \tau_n &= \frac{L_0 + L_n}{C} \end{aligned} \quad (2)$$

Отже, відстані від елементів перетворювача до місця відбиття ультразвуку (місця розташування дефекту) становлять:

$$\begin{aligned} L_0 &= \frac{\tau_0 C}{2} \\ L_n &= \left(\frac{\tau_0}{2} - \tau_n\right) C \end{aligned} \quad (3)$$

Відповідно до рис. 1 градієнт густини матеріалу контролю (дефект) розташований у точці перетину кіл радіусом  $L_0$  з центром у початку координат та радіусом  $L_n$  з центром у точці з координатами  $x_n, z_n$ :

$$\begin{aligned} L_0 &= \sqrt{x_d^2 + z_d^2} \\ L_n &= \sqrt{(x_d - x_n)^2 + (z_d - z_n)^2} \end{aligned} \quad (4)$$

Виходячи з (4), отримуємо вирази для обчислення координат просторового розташування градієнта густини (дефекту):

$$\begin{aligned} z_d &= 2 \frac{Az_n \pm \sqrt{A^2 z_n^2 + 4n^2 \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 x_n^2 L_0^2}}{n^2 \lambda^2} \\ x_d &= \sqrt{L_0^2 - z_d^2} \end{aligned} \quad (5)$$

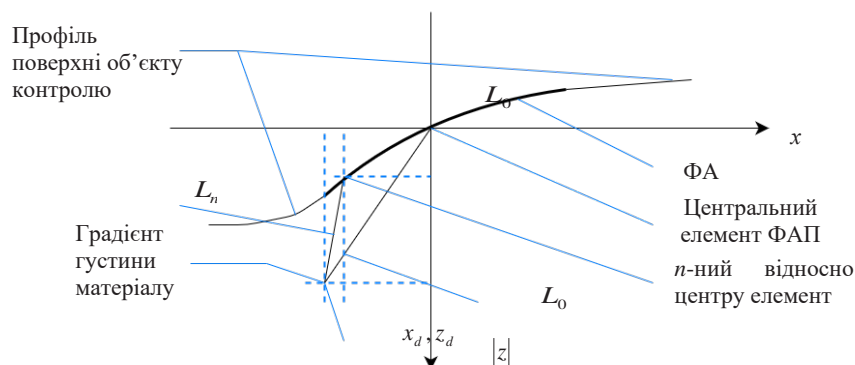


Рис. 1. Визначення координат положення градієнта густини (дефекту контрольованого матеріалу)

де  $A = L_0^2 - L_n^2 + n^2 \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2$ .

Підвищення роздільної здатності адаптивної до якості поверхні системи контролю можемо досягти за рахунок фокусування ультразвуку. Будова такої системи контролю відрізняється меншою складністю, особливо якщо задаватися глибиною розташування фокусної зони коливань, яка має, наприклад, співпадати з умовною віссю перетворювача. Знаючи координати кожного елемента ФАП та координати фокусної зони (фокусна відстань  $F$ ) відносно центрального елемента перетворювача необхідно визначити відстані до неї відносно кожного іншого елемента  $L_n$  (рис. 2).

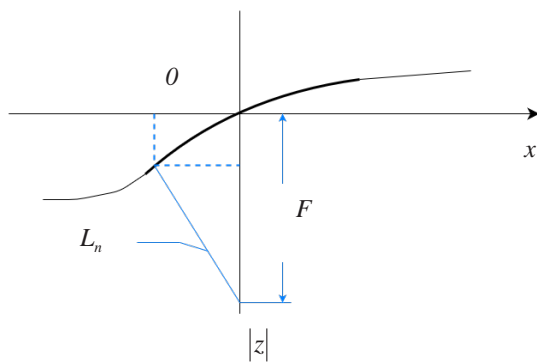


Рис. 2. Фокусування ультразвукових коливань

Для  $n$ -ного елемента величина такої відстані становитиме:

$$L_n = \sqrt{(F - z_n)^2 + x_n^2} \quad (6)$$

Фокусування ультразвукових коливань вимагає співпадіння фаз у разі їх надходження у фокусну зону від кожного елемента перетворювача [3; 4]. Знаючи відстань кожного з них до зони фокусування, маємо визначити затримки чи упередження моментів збудження коливань кожним п'єзоелектричним елементом перетворювача та відповідно моментів вимірювання їх рівня у разі прийому луносигналів. Так, для  $n$ -ного елемента відносно центру перетворювача величина затримки збудження відносно моменту збудження центрального елемента має становити

$$\Delta\tau_n = \frac{L_n - F}{C} \quad (7)$$

Час затримки моменту вимірювання рівня луносигналу, який приймається  $n$ -ним елементом перетворювача, повинен бути також регламентованим і становити  $\tau_n = 2L_n/C$  [1].

Якщо положення фокусної зони задається координатами  $x_F, z_F$ , що не співпадають з віссю перетворювача, величина затримки моменту збу-

дження кожного  $n$ -ного елемента з координатами  $x_n, z_n$  відносно моменту збудження коливань центрального елемента становить:

$$\Delta\tau_n = \frac{\sqrt{(x_n - x_F)^2 + (z_n - z_F)^2} - \sqrt{x_F^2 + z_F^2}}{C} \quad (8)$$

Незважаючи на великий обсяг вимірювань і обчислень, це є чи не єдина можливість реалізації адаптивної до складної будови поверхні контрольованого об'єкта системи автоматичного ультразвукового контролю.

Точність необхідних для реалізації системи вимірювань, а відповідно і рівень вірогідності контролю, залежить насамперед від точності визначення координат просторового розташування елементів перетворювача на поверхні об'єкта контролю.

Іншим фактором, який не меншою мірою може впливати на результат контролю, є співвідношення нерівностей поверхні та розмірів п'єзоелектричних елементів ультразвукового перетворювача. Це вкрай важливо для можливості використання лінійних ФАП, довжина елементів якого становить шість і більше довжин хвиль коливань у середовищі контрольованого матеріалу. Така невідповідність розмірів елементів і нерівностей (каверн) на поверхні матеріалу може впливати на якість акустичного контакту частини перетворювача з цим матеріалом та можуть виникати інші небажані явища на границі розділу середовищ, що обов'язково приведе до спотворення результату контролю. Використання ж ФАП з двомірним розділенням елементів взагалі нами не розглядається як надто складне для реалізації рішення.

Конструктивно вимірювальний перетворювач ФАП повністю повторює конфігурацію лінійного фазо-керуваного перетворювача [2; 3], виконаного у вигляді послідовного набору п'єзоелектричних елементів шириною  $\lambda/2$ , де  $\lambda$  – довжина хвилі коливань у контрольованому середовищі товщиною  $\lambda_k/4$ , виходячи з умови механічного резонансу на частоті ультразвукового коливання (тут  $\lambda_k$  – довжина хвилі коливань у матеріалі п'єзокераміки) та довжиною не менш за  $6\lambda$ . Відмінність полягає лише в тому, що елементи перетворювача приєднані (приклеєні) до гнучкої основи – наприклад по вініловій плівці, яка є стороною замкнутого простору – коробу, заповненого повітрям. У разі встановлення такої конструкції на поверхню об'єкта контролю гнучка сторона разом з приєднаними п'єзоелектричними елементами приймає форму цієї поверхні.

У середині експериментальної конструкції коробка-перетворювача використовується вимірювальна частина стандартного профілометра для вимірювання вертикальних координат елементів перетворювача, які своїм положенням повторюють профіль поверхні контролюваного об'єкта. Для можливості контролювати процес визначення координат елементів ФАП короб конструкції перетворювача виконується з прозорої пластмаси.

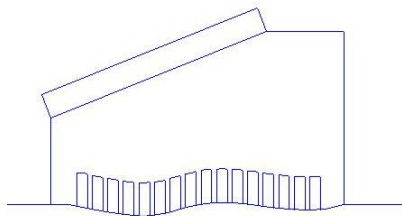


Рис. 3. ФАП з гнучкою поверхнею

#### Висновки.

Дискретний ультразвуковий перетворювач типу “Phased array” виконаний на гнучкій основі

для можливості вертикального зміщення елементів відповідно до профілю неплоскої поверхні контролюваного об'єкта дозволив реалізувати систему контролю з відображенням двовимірного розподілу типу В-скан градієнтів густини (дефектів) структури такого матеріалу.

Адаптація до фактичного профілю поверхні контролюваного матеріалу в місці встановлення ФАП виконується шляхом вимірювання взаємного вертикального зміщення елементів перетворювача з допомогою стандартного профілометра. Визначені таким чином двовірні координати елементів ФАП та виміряні часові запізнення моментів надходження луносигналів до кожного з елементів перетворювача забезпечують відповідно до розроблених алгоритмів визначення двовірних координат розташування градієнтів густини. Розглянута також можливість реалізації високої роздільної здатності контролю матеріалу зі складною конфігурацією поверхні шляхом фокусування ультразвуку в наперед заданих просторових координатах середовища контролюваного матеріалу.

#### Список літератури:

1. Roy O., Chatillon S., Mahaut S. Ultrasonic inspection of specimen with complex geometry using a flexible smart contact transducer. *Proc. of the 2nd Inter. Conf. on NDE in Relation to struct. Integ. for Nuclear and Pressurised Components*, 2000, p. 411.
2. Mahaut S., Roy O., Casula O., Cattiaux G. Pipe Inspection using UT Smart flexible Transducer. *8th ECNDT, Barcelona proceedings*. 2002.
3. Масевський С.М. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю : навчальний посібник. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 288 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25091>.
4. Pan T., Pharr M., Ma Y., Ning R., Yan Z., Xu R., Feng X., Huang Y., Rogers J.A. Experimental and theoretical studies of serpentine interconnects on ultrathin elastomers for stretchable electronics. *Adv. Funct. Mater.* 27, 1702589, 2017.
5. Zhou W. Ultrasonic Phased Array Post-processing Imaging Techniques: A Review. *Journal of Mechanical Engineering*. 2016. No. 52. Pp. 1–11. 10.3901/JME.2016.06.001.

#### Ladyzhenskyi O.V. ULTRASONIC CONTROL OF OBJECTS WITH A COMPLEX SURFACE SHAPE

The article considers the problem of ultrasonic control of objects with a complex surface shape. At present, acoustic non-destructive testing of such objects is complicated by the problem of tight fit of the transducer and, therefore, the inability to correctly locate the position of the defects. The article proposes a method for determining the shape of the surface and the ultrasonic transducer for the correct determination of the parameters of excitation and receiving of ultrasonic waves and, accordingly, the correct localization of discontinuities. The acoustic testing system with the formation of a two-dimensional reflection of the type of B-scan on the basis of the use of a converter of type “Phased array”, which differs in the placement of elements on a flexible basis in order to repeat their spatial placement of the surface shape of the control object, is considered. The design of the transducer is characterized by the lack of rigid connection of the elements. In addition, it opens up opportunities for ultrasonic inspection of objects that were not previously subject to ultrasonic inspection. Adaptation to the actual surface profile of the material at the installation site of the transducer is performed by measuring the mutual vertical displacement of the transducer elements. The algorithms of calculation of coordinates of gradients of density of controlled material on the basis of preliminary determination of coordinates of acoustic converter elements and time parameters are given. The proposed algorithm does not require complex calculations and is therefore suitable for real-time calculations. The possibility of building an acoustic control system for materials with a complex surface based on oscillation focus at the specified points of the environment of this material is also shown.

**Key words:** NDT, acoustic testing, ultrasound, complex surface, flexible transducer.



**Овчарук В. Т.**

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

**ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
МАРКУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДНОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Пошук шляхів розвитку та підвищення ефективності виробництва тісно пов'язаний із необхідністю впровадження нових технологій, що вимагає певних капіталовкладень на придбання й установку обладнання, витрат на амортизацію і поточних експлуатаційних витрат (таких як заробітна плата операторів, вартість електроенергії, витрат на обслуговування, ремонт).*

*Плануючи конкретні заходи, доцільно брати до уваги як необхідність удосконалення та розвитку організаційно-технічного забезпечення виробництва, так і фінансові можливості підприємства для реалізації цих заходів. Тому актуальним є питання проведення економічного оцінювання цих заходів.*

*У статті розглянуто питання дослідження і розрахунку кількісних показників підвищення економічної ефективності від впровадження сучасної технології лазерного маркування на дослідному виробництві приладобудування.*

*Проведено відпрацювання методики розрахунку економічної ефективності на конкретному прикладі – впровадження технологічного процесу лазерного маркування (гравірування) порівняно із базовою технологією, з використанням фрезерувально-гравірувального верстата моделі NF-2. Розроблено алгоритм аналізу економічної ефективності впровадження технологічного процесу лазерного маркування.*

*Розглянуто окремі показники технологічності виробів і їх складники – технологічну трудомісткість і собівартість. Обчислена трудомісткість і собівартість виробів і їхні складові частини за новим і базовим технологічними процесами. Проведено розрахунок коефіцієнтів технологічності за трудомісткістю і собівартістю.*

*Розглянуті поняття економічної ефективності і окупності та виконані відповідні розрахунки з аналізом ефективності використання капітальних витрат на придбання обладнання лазерного маркування.*

*На основі проведених розрахунків і аналізу кількісних показників технологічності процесу маркування виробів підтверджено правильність та обґрунтованість рішення щодо впровадження сучасної технології лазерного маркування, яке відповідає потребам дослідного виробництва приладобудування.*

**Ключові слова:** дослідне виробництво, економічна ефективність, техніко-економічні показники, технологічність, капітальні витрати, технологічна собівартість.

**Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями.** Сьогодні майже в усіх галузях промисловості продукція підлягає маркуванню – нанесенню на продукцію різноманітних відомостей: товарних, екологічних, попереджувальних, знаків відповідності, штрих кодів та ін. Впровадження сучасних технологій маркування значною мірою підвищує техніко-економічні показники готових виробів, покращує технологічність виробництва загалом.

Зростанню ефективності роботи на дослідному виробництві сприяє впровадження інноваційних проектів (застосування сучасних обладнання і технологій), що підвищують продуктивність праці виробничого персоналу, покращують якість виробів. Практика показує, що там, де проводиться модернізація технологічної бази, впровадження сучасних пристроїв, інструментів, реконструкція виробничих дільниць, роботи здійснюються у

стислі терміни та з високою якістю й ефективністю, однак впровадження у дослідному виробництві сучасних технологічних засобів, котрі підвищують продуктивність праці, потребує певних фінансових витрат. Ця обставина часто стримується через необхідність проведення техніко-економічних розрахунків, на основі яких можна оцінити ефективність витрат на будь-яке проектне рішення. Поряд із цим на виробництвах, де вже впроваджено інноваційні проекти, існує нагальна потреба у кількісній оцінці ефективності проведених заходів.

Тому пропонується вивчити питання підвищення економічної ефективності від впровадження сучасних технологій маркування на дослідному виробництві, а саме технологічного процесу гравірування (маркування) на лазерному маркувальнику мод. GCC Stellar Mark порівняно із класичною технологією маркування різцями на фрезерувально-гравірувальному верстаті моделі NF.

Серед актуальних завдань можна виділити такі: розглянути проведені заходи як елемент підвищення технологічності предмету праці загалом, оцінити кількісні показники технологічності, провести розрахунок економічної ефективності від впровадження сучасних технологій лазерного маркування виробів шляхом впровадження нового перспективного обладнання.

**Аналіз досліджень і публікацій.** За результатами раніше проведених досліджень із якісного оцінювання технологічності [5] встановлено, що серед технологій маркування (гравіювання) найбільш оптимальною й універсальною за своїми технічними параметрами є технологія лазерного маркування. Враховуючи актуальність питання впровадження сучасних технологій маркування, вважаємо за доцільне надалі провести дослідження кількісної оцінки технологічності процесу лазерного маркування порівняно із базовим традиційним процесом маркування на фрезерувально-гравірувальному верстаті типу NF.

Теоретичною та методологічною основою дослідження послужили роботи вітчизняних і зарубіжних авторів у галузі оцінки економічної ефективності використання нової техніки, обладнання, типові та більш сучасні нові методики у машино- і приладобудуванні. Досить глибоко питання оцінки економічної ефективності досліджено у роботах К.М. Веліканова [2], С.В. Козаченка [4] та багатьох інших.

Теорією та практикою запропоновано різні показники й методики визначення економічної ефективності заходів, що потребують оцінки використання капітальних витрат на оновлення виробничої бази підприємств. Переважна їх більшість розроблена у минулі роки. Усі вони докладно розглядаються в економічній літературі. Для вирішення завдання із дослідження та розрахунку показників підвищення ефективності впровадження нових технологій (обладнання) необхідно спиратися на опрацьовані методики і підходи з огляду на специфіку конкретного дослідного виробництва і технологічних процесів на ньому й окремих складових величин, на основі яких і проводиться така оцінка.

Основний зміст цього підходу полягає у формулюванні певного алгоритму досліджень і розрахунку кількісних показників для вирішення завдання з оцінки техніко-економічної оцінки ефективності впровадження інноваційних технологій маркування на виробництві.

Перш ніж перейти до розгляду основного матеріалу, уточнимо основні поняття й терміни.

**Дослідне виробництво** – тип виробничої діяльності, спрямований на забезпечення результатів науково-дослідних робіт і впровадження прогресивних технологічних процесів на виробництві. Дослідне виробництво призначене для виготовлення, випробування та доведення до серійного виробництва дослідних зразків відповідно до техніко-економічних характеристик [5]. Всі об'єкти, які є предметом виробництва, відносять до виробів.

**Економічна ефективність** – результативність економічної системи, виражена у співвідношенні корисних кінцевих результатів її функціонування до витрачених ресурсів.

**Техніко-економічні показники** – величини, які характеризують матеріально-виробничу базу підприємств, використання знарядь праці, організацію виробництва, затрати на виробництво продукції.

**Технологічність** – це сукупність властивостей виробу, які виявляються у можливості витрат матеріалів, праці, засобів і часу при технічній підготовці його виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті [6].

**Капітальні витрати** – частина інвестицій, спрямована на відтворення основних засобів виробничого і невиробничого призначення, на створення нових, реконструкцію і розвиток наявних основних засобів.

**Технологічна собівартість** – сума витрат певних ресурсів за окремими статтями на виготовлення одиниці виробів.

**Викладення матеріалу та результати.** З метою підвищення технічного рівня й ефективності окремих ділянок дослідного виробництва, вдосконалення організації праці технологами було запропоновано замінити технологічний процес гравірування одноразових заготовок на фрезерувально-гравірувальному верстаті моделі NF на сучасний процес гравірування за технологією лазерного маркування (гравірування) на лазерному маркувальнику типу GCC Stellar Mark.

Метод кількісного оцінювання ефективності впровадження сучасної технології лазерного маркування (гравірування) в умовах дослідного виробництва реалізовано при виготовленні дослідної партії умовного виробу X, для виготовлення якого необхідно було виконати гравірування маркувальних написів на одноразових заготовках із габаритними розмірами 2x16x116мм у кількості по 60 штук 20 різних типів. Як основа одноразової заготовки, яка підлягає маркуванню, використані заготовки з латуні марки ДПРНТ ЛС59-1 (ДСТУ ГОСТ 2208:2008).

На поверхню одноразової заготовки наносили маркування (гравірування) у вигляді окремих літер (цифр), всього 7 знаків із висотою шрифту 7 мм.

Слід зазначити, що процес гравірування при виготовленні одноразових заготовок займає значну частину трудомісткості виготовлення самої одноразової заготовки.

Реалізація принципів оцінки ефективності впровадження лазерного маркування виконується на основі методики розрахунку окремих параметрів технологічності виробів.

У загальному визначенні технологічність конструкції (процесу) – це сукупність властивостей, що проявляється у можливості оптимальних витрат праці, засобів виробництва, виготовленні, експлуатації, ремонті порівняно із відповідними показниками однотипних конструкцій (процесів), при забезпеченні встановлених значень якості виробу.

Технологічність можна оцінювати двома способами: кількісно і якісно.

Якісна оцінка технологічності процесу маркування – це словесне обґрунтування рівня конструкції (процесу). Вона виконується під час проектування чи передує впровадженню технології (обладнання).

Кількісна оцінка технологічності проводиться за допомогою показників, значення яких дає уявлення про ступінь задоволення вимог до технологічності та виконується шляхом розрахунку за допомогою математичних формул показників технологічності.

Використання кількісної оцінки передбачає наявність значення показника для базового виробу та значення цього ж показника, що досягнуте при впровадженні нової технології (обладнання). На підставі порівняння показників і визначають рівень технологічності. Кількість таких показників повинна бути мінімальною але достатньою для її оцінки.

Технологічність – складна комплексна характеристика виробу, що базується на взаємозв'язку витрат праці, матеріалів, часу і загальної ефективності процесу виготовлення на всіх його стадіях. Для кількісного оцінювання впровадження сучасної технології лазерного маркування доцільно використовувати методику, що дозволяє проаналізувати експлуатаційні витрати за різними статтями дослідним шляхом на основі порівняння даних технологічного процесу маркування на фрезерувально-гравірувальному і лазерному верстатах. За цією методикою (внаслідок аналізу) повинні визначитися питомі показники технологічності, а також річний економічний ефект. Крім

того, можливо розрахувати строк окупності впровадженого обладнання.

Для оцінки технологічності доцільно виконати такий алгоритм дій:

- встановити вхідні дані номенклатури виробів, їх річний обсяг;
- провести аналіз вхідних даних із метою визначення технічних вимог, доцільності впровадження нових технологій;
- визначити номенклатуру оптимальних показників технологічності.

Відповідно до Держстандарту 14.201-83 «ЕСТПП. Забезпечення технологічності конструкції виробів» розрізняють такі основні показники технологічності – трудомісткість і собівартість.

Абсолютна трудомісткість виготовлення визначається як сума нормо-годин, які витрачаються на виготовлення по базовому варіанту.

Рівень технологічності за трудомісткістю визначається за формулою:

$$K_{\text{рт}} = T_2 \setminus T_1, \quad (1)$$

де  $K_{\text{рт}}$  – коефіцієнт рівня технологічності за трудомісткістю;

$T_1 \setminus T_2$  – відповідно трудомісткість існуюча (базова) і нова.

Собівартість визначається як сума видатків коштів на заробітну плату виробничого персоналу з нарахуваннями, видатки на матеріали, спожиту енергію, ремонт і амортизацію обладнання, та ін.

Рівень технологічності за собівартістю визначається за формулою:

$$K_{\text{pc}} = S_2 \setminus S_1, \quad (2)$$

де:  $K_{\text{pc}}$  – коефіцієнт рівня технологічності за собівартістю;

$S_1(S_2)$  – технологічна собівартість базова і нова.

$$S_2(S_1) = (3 \cdot q_{\text{шт}} + M \cdot q_m + E \cdot q_e + A \cdot K) \cdot B, \quad (3)$$

де: 3 – основна і додаткова погодинна зарплата оператора;

$q_{\text{шт}}$  – норма штучного часу;

M – вартість металу на одну одноразову заготовку;

$q_m$  – вартість 1 кг металу;

E – кількість електричної енергії, що витрачається на одну деталь;

B – загальна програма виконання обсягу робіт.

Витрати на електроенергію, що витрачаються у процесі гравірування, визначається за формулою:

$$E = q_e \cdot P_o \cdot t^* \quad (4)$$

де:  $q_e$  – вартість 1 квт електроенергії;

$P_o$  – потужність обладнання, кВт;

t – тривалість роботи обладнання.

A – частка амортизаційних відрахувань;

Амортизаційні відрахування на реновацію і капітальний ремонт визначається за формулою:

$$A = K \cdot H_b / 100\%, \quad (5)$$

де:  $K$  – вартість обладнання;

$H_b$  – норма амортизації, ( $H_b = 6,7\%$ );

Кількісні показники рівня технологічності за трудомісткістю і собівартістю нового і базового технологічного процесів визначено шляхом проведення хронометражу фактичної трудомісткості окремих технологічних операцій і відповідних розрахунків відповідно до формул (1–5). Після отримання відповідних даних результати розрахунків по існуючому і новому варіантах наведені у таблиці 1.

Економічну ефективність впровадженого технологічного процесу (обладнання) лазерного маркування можливо визначити шляхом порівняння показників річної економії за витратами впровадженого сучасного технологічного процесу та наявного базового. Цей показник розраховуємо у такий спосіб:

$$E_{\text{еф}} = [(S_1 + E_n \cdot K_1 / B_1) - (S_2 + E_n \cdot K_2 / B_2)] \cdot B_2, \quad (6)$$

де:  $E_{\text{еф}}$  – річний економічний ефект від впровадження заходу;

$S_1(S_2)$  – собівартість річного обсягу продукції виготовленої відповідно до базового та нового обладнання;

$K_1(K_2)$  – капітальні вкладення у виробничі фонди (основні й оборотні) до впровадження нового обладнання й у нових умовах;

$E_n$  – галузевий нормативний коефіцієнт еко-

номічної ефективності капітальних вкладень ( $E_n = 0,15$  для приладобудування);

$B_1, (B_2)$  – річний обсяг продукції за існуючим і новим варіантом у натуральних вимірниках ( $B_1=B_2$ ).

Строк окупності витрат обчислюється за формулою:

$$F_{\text{ок}} = K / E_{\text{еф}}, \quad (7)$$

На підставі вхідної інформації (таблиця 2) необхідно визначити річний економічний ефект і строк окупності капітальних вкладень на впровадження сучасного технологічного процесу гравірування на лазерному маркувальнику за формулою (6):

$$\begin{aligned} E_{\text{еф}} &= [(S_1 + E_n \cdot K_1 / B_1) - (S_2 + E_n \cdot K_2 / B_2)] \cdot B_2 = \\ &= [(62091,6 + 0,15 \cdot 113272 / 1200) - (20162 + 0,15 \cdot 104000 / 1200)] \cdot 1200 = 43320 \end{aligned}$$

2. Визначаємо строк окупності обладнання за формулою (7):

$$F_{\text{ок}} = K / E_{\text{еф}} = 104000 / 43320 = 2,4$$

**Висновки.** Узагальнюючи дослідні матеріали роботи та результати кількісного оцінювання технологічності, встановлено:

- економічну доцільність заміни наявної технології гравірування традиційним методом за допомогою різців на технологію лазерного маркування, оскільки річний економічний ефект за приведеними витратами становитиме 43320 грн;
- строк окупності капітальних витрат на його придбання – 2,4 роки за нормативного його значення 6,7 року.

Таблиця 1

**Кількісні показники рівня технологічності при порівнянні технологій гравірування одноразових заготовок на фрезерувально-гравірувальному верстаті моделі NF і лазерному маркувальнику моделі GCC Stellar Mark**

Показники	Трудомісткість год.	Заробітна плата оператора, грн. (89,28)	Витрати на матеріал, грн.	Витрати на ел. енергію, грн. (4,69)	Технологічна собівартість, грн.	Рівень технологічності за трудомісткістю	Рівень технологічності за собівартістю
Верстат мод. NF (2 квт)	580	51782,4	450	2720,2	62091,6	0,25	0,32
Верстат мод. GCC Stellar Mark (0,5 квт)	144	12856,3	450	337,7	20162,0		

Таблиця 2

**Вхідні дані для розрахунку економічного ефекту від впровадження лазерного маркувальника**

Найменування обладнання	Технологічна собівартість ( $S_1, S_2$ )	Вартість обладнання ( $K_1, K_2$ )	Річний обсяг виробництва ( $B_1, B_2$ )	Нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_n$ )
Верстат мод. NF	62091,6	113272,0	1200	0,15
Верстат мод. GCC Stellar Mark	20162,0	104000,0	1200	0,15

Вважається за доцільне зазначити, що у разі наявного фрезерувально-гравірувального верстата моделі NF, враховуючи його працездатність, обладнання може і надалі бути використане у випадках, де його застосування регламентується окремими технічними документами.

Застосування технології лазерного маркування істотно скорочує час виконання операції та зумовлює ріст продуктивності праці, зменшує заробітну плату та інші статті технологічної собівартості продукції, покращує організацію праці.

#### Список літератури:

1. Ананьев С.Л., Елизаветин М.А., Жих В.А. Технологичность конструкций. Библиотека конструктора / под ред. Ананьева С.Л., Купровича В.П. Москва, 1969. 424 с.
2. Великанов К.М. Расчеты экономической эффективности новой техники : справочник / под ред. К.М. Великанова. Ленинград, 1975. 432 с.
3. ГОСТ 14.205-83. Обеспечение технологичности изделий. Общие требования. С. 2
4. Козаченко С.В. Інвестиційний аналіз проєктів техніки / за ред. С.В. Козаченка, В.Я. Нусинова. Кривий Ріг, 1997. 191 с.
5. Овчарук В.Т. Запровадження сучасних технологій маркування для підвищення технологічності дослідного виробництва. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Т. 32 (71). № 3. С. 36.
6. Савченко О.В. Дослідне виробництво. *Енциклопедія Сучасної України* / редколегія : Дзюба І.М., Жуковський А.І., Железняк М.Г. та ін.; НАН України, НТШ. Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2008. URL: [http://esu.com.ua/search\\_articles.php?id=21110](http://esu.com.ua/search_articles.php?id=21110).

#### **Ovcharuk V.T. TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF INNOVATIVE LABELING TECHNOLOGIES FOR EXPERIMENTAL PRODUCTION**

*Finding ways to develop and improve production efficiency is closely linked to the need for new technologies that require certain investments in the purchase and installation of equipment (wages of operators, cost, electricity, maintenance costs, repair, etc.).*

*When planning specific activities, it is advisable to take into account the need to improve and develop organizational and technical support of production and financial enterprises to implement these measures.*

*The method of calculating economic on a specific example – the introduction of the technological processes of laser marking (engraving) in comparison with the basic technology using milling – engraving machine model NF–2 was tested. Algorithm for analyzing the economic efficiency of the technological processes of laser marking (engraving) developed.*

*Some indicators of manufacturability of products and their components – technological complexity and cost are considered. Labor intensity and cost of products and their components for a new and basic technological process are calculated.*

*The concepts of economic efficiency and payback are considered, and the corresponding is calculations with the analysis of efficiency of use of capital expenses for acquisition of the equipment of laser marking are executed.*

*On the basis of calculations and analysis of quantitative indicators of the manufacturability of the product labeling process, confirmed the correctness and validity of the decision to implement modern laser labeling technology, which in full meets the needs of experimental production of instrumentation.*

**Key words:** *research production, economic efficiency, technical and economic indicators, manufacturability, capital expenditures, technological cost.*

**Скакун О.В.**

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

**Воскресенський В.Б.**

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

## ПИТАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ БЮДЖЕТНОЇ МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА ДЛЯ ПОТРЕБ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ІСТЕ СБУ (ІЗ ДОСВІДУ ПРАКТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ)

*Стаття присвячена аналізу оптимального вибору осцилографа цифрового для потреб Випробувального центру Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз СБ України. Наведений перелік видів випробувань, послуги з яких надає Випробувальний центр, використовуючи певні засоби вимірювальної техніки. Виконаний аналіз останніх публікацій з актуальних питань щодо аргументацій вибору засобів вимірювальної техніки та рекомендацій з їх використання під час виконання вимірювань.*

*У статті розглядається завдання дооснащення Випробувального центру Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз СБ України сучасними засобами вимірювальної техніки універсального призначення виробництва провідних світових компаній – цифровими запам'ятовуючими осцилографами – для забезпечення точності, правильності, відтворюваності та збіжності вимірювань у разі випробувань. Вибір приладів пропонується виконувати за критерієм «ціна/якість» та за градацією «універсальне призначення/вузькоспеціалізоване призначення». Наданий опис найбільш пріоритетних критеріїв, якими потрібно керуватися у разі вибору цифрових осцилографів. Наведені загальні теоретичні положення щодо специфіки функціонування цифрових засобів вимірювальної техніки. Подані визначення осцилографа та класифікація видів осцилографів, спрощена функціональна схема побудови цифрового осцилографа. Розглянуто переваги та недоліки сучасних моделей цифрових осцилографів.*

*Також з метою реалізації оптимального вибору бюджетної моделі цифрового осцилографа у статті виконано порівняння основних функціональних можливостей моделей осцилографів RTH1022 від Rohde&Schwarz (Німеччина), UTD4202C виробництва корпорації UNI-Trend Technology Limited (Китай) та SDS1202X+, що випускається фірмою Siglent Technologies Co., Ltd (Китай).*

**Ключові слова:** цифрові вимірювальні прилади, квантування (дискретизація), осцилограф цифровий, бюджетна модель, переваги та недоліки цифрових осцилографів, виробники цифрових осцилографів, смуга пропускання, кількість каналів, частота дискретизації.

**Постановка проблеми.** Автори статті в публікації [1] вже акцентували увагу на тому, що Випробувальний центр Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України (ВЦ ІСТЕ СБУ) акредитований Національним агентством з акредитації України як єдиний орган з оцінки відповідності (ООВ) у структурі Служби безпеки України, рівень розвитку якого забезпечує оцінювання відповідності продукції за нормами стандартів Європи. Окрім того, діяльність ВЦ ІСТЕ СБУ відповідає вимогам Закону України від 15.01.2015 № 124-VIII «Про технічні регламенти та оцінку відповідності». Станом на гру-

день 2021 року ВЦ ІСТЕ СБУ проводить такі види випробувань, як:

– оцінка відповідності функції законного перехоплення інформації з телекомунікаційних мереж із комутацією каналів/пакетів; оцінка відповідності функції блокування доступу до визначеного (ідентифікованого) інформаційного ресурсу (сервісу) в телекомунікаційних мережах; блокування протоколів, додатків та URL-адрес; доступ до визначеного (ідентифікованого) інформаційного ресурсу (сервісу) з шифруванням та за максимальної кількості ознак; ідентифікація потоків даних на основі застосування сигнатур; локальна фіксація пошкодження технічних засобів для блокування доступу до визначеного (іден-

тифікованого) інформаційного ресурсу (сервісу) в телекомунікаційних мережах; *відсутність ознак* об'єктів блокування доступу у разі аварійної зупинки мережних комплектів технічних засобів для блокування доступу до визначеного (ідентифікованого) інформаційного ресурсу (сервісу) в телекомунікаційних мережах; *перезавантаження* в автоматичному режимі програмного забезпечення мережних комплектів технічних засобів для блокування доступу до визначеного (ідентифікованого) інформаційного ресурсу (сервісу) в телекомунікаційних мережах;

– *стійкість продукції* до дії підвищеної та зниженої температури; *стійкість продукції* до дії підвищеної відносної вологості; *міцність продукції* під час транспортування; *безпека використання продукції* (вимірювання значення напруги пробую та опору ізоляції).

Точність, правильність, відтворюваність та збіжність вимірювань під час випробувань забезпечуються застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). На жаль, ВЦ ІСТЕ СБУ ще неповною мірою укомплектований такими засобами. З метою поліпшення якісних показників вимірювань під час випробувань шляхом отримання, запам'ятовування та оброблення додаткових результатів, одержаних від приладів (також аналітичних) із розширеними (інколи унікальними) функціональними можливостями, необхідне подальше оснащення ВЦ ІСТЕ СБУ сучасними та надсучасними ЗВТ, які виготовлені провідними світовими компаніями.

У разі певних обмежень у фінансуванні найбільш оптимальними критеріями вибору сучасних ЗВТ є: «ціна/якість» та «універсальне призначення/вузькоспеціалізоване призначення». Виконуючи процедури закупівель ЗВТ перевагу потрібно віддавати приладам універсального призначення. Аргументами щодо закупівлі та застосування вузькоспеціалізованих ЗВТ є унікальність їх параметрів. Концепція розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року [2] в питаннях вибору ЗВТ рекомендує спиратись на системний підхід.

З метою ефективного розвитку ВЦ ІСТЕ СБУ щодо виконання завдань вимірювань технічних параметрів продукції, яка проходить випробування, опрацьовується питання його додаткового оснащення найбільш сучасними ЗВТ універсального призначення виробництва провідних світових виробників. Одним з актуальних завдань є максимально оптимізований вибір бюджетної

моделі лабораторного цифрового осцилографа зі смугою пропускання 200 МГц [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемні питання вибору та застосування сучасних моделей осцилографів досліджували такі вітчизняні науковці, як Ю. Бобало, Л. Недоступ, М. Кіселичник, О. Надобко [4], Д. Нестерчук, С. Квітка, С. Галько [5], Ю. Гнусов, В. Тулупов, В. Пересічанський [6], М. Тимчук [7], В. Яковлев [8] та інші. Вагомий внесок у розроблення методів та шляхів оптимального застосування ЗВТ (також і осцилографів) зробили зарубіжні вчені. Заслужують на увагу ґрунтовні праці В. Дьяконова [3], А. Афонського та В. Дьяконова [9; 10], А. Дедюхіна [11], В. Терешкова, Ф. Цветкова, А. Лабинцева [12] та В. Чінкова [13]. Наявний великий обсяг інших публікацій, які мають інформаційно-довідковий та рекламний характер. Як правило, вони розміщені на електронних ресурсах провідних компаній різних країн, що спеціалізуються на наукових дослідженнях, розробці, випробуванні, виробництві та (або) постачанні різноманітних ЗВТ, також і цифрових осцилографів [14; 15; 16; 17].

**Постановка завдання.** Мета статті – створити лаконічні описи та надати ґрунтовні рекомендації щодо аналізу та критеріїв вибору бюджетної моделі цифрового осцилографа для потреб ВЦ ІСТЕ СБУ.

**Виклад основного матеріалу.** Термін «осцилограф» утворений від визначень «осциллум» – коливання та «графо» – пишу. Звідси походить і призначення цього ЗВТ – відтворювати на екрані приладу характеристики, що відображають форми різноманітних коливань.

Осцилограф – один із найпоширеніших вимірювальних приладів, що використовується в багатьох галузях науки, промисловості та надання послуг. Це пояснюється тим, що візуальне спостереження процесів на екрані приладу дає досліднику великий обсяг корисної інформації. Останні двадцять років стали етапом інтенсивного розвитку осцилографів. Із засобів для спостереження і якісного дослідження процесів вони перетворилися на засоби вимірювань з високими метрологічними характеристиками.

Ці багатофункціональні ЗВТ стали справді масовими приладами, які широко використовуються в багатьох сферах діяльності суспільства. Приклад класифікації видів осцилографів наданий на рис. 1.

**Загальні принципи побудови цифрових осцилографів.** Функціонування більшості цифрових

вимірювальних приладів базується на перетворенні безперервної (аналогової) вимірювальної величини в дискретну (цифрову). Виняток становлять прилади, які призначені для вимірювання дискретних величин (лічильники числа імпульсів, лічильники ядерних частинок та ін.). Процес цифрового кодування безперервної величини є сукупністю квантування (дискретизації) цієї величини за рівнем і за часом.

У цифрових вимірювальних приладах відбувається автоматичне перетворення вхідної вимірювальної величини у цифровий код. Автоматизм перетворення вимірювальної величини у цифровий код є визначальною ознакою таких засобів вимірювальної техніки.

Спрощена функціональна схема побудови цифрового осцилографа показана на рис 2. Досліджуваний сигнал, пройшовши дільник (Д) і аналоговий підсилювач з малою вихідною напругою (А), надходить на схему вибірки (СВ) і аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Для цього сигнал  $u(t)$  представляється рядом рівномірно розподілених у часі вибірок  $u_1, u_2, \dots, u_N$ , які представляються у цифровій формі і розміщуються в пристрої пам'яті цифрового осцилографа. Такий осцилограф є запам'ятовуючим. Такі прилади часто називають цифровими запам'ятовуючими осцилографами (ЦЗО).

На схемі вказані такі позначення: Д – дільник; А – аналоговий підсилювач; СВ – схема

вибірки; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; ЗП – запам'ятовуючий пристрій; ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач; РКІ – рідкокристалічний індикатор; Ліч – лічильник імпульсів; ГТІ – генератор тактових імпульсів.

Важливим параметром цифрового осцилографа є об'єм пам'яті. Цифрові дані із пам'яті можуть бути записані на магнітні диски у вигляді файлів, зберігатись на них необмежено довгий час і використовуватись у мірі необхідності. Цифрові дані, які вилучаються із пам'яті, подаються на цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) і можуть знову бути перетворені в аналоговий сигнал, але трансформований у часі. Він відображається на електроннопроменевої трубі (ЕПТ) або рідкокристалічному індикаторі (РКІ). У разі застосування цифрового РКІ, ЦАП може і не знадобитись. Для створення розгортки зазвичай використовують тактовий генератор і лічильник імпульсів. Останній керує адресами вибірки цифрових даних із пам'яті.

Іншим важливим параметром АЦП є частота його роботи (частота вибірки). У разі складних форм досліджуваних сигналів вона повинна бути в десятки або і у сотні разів вищою за частоти повторення періодичного сигналу.

**Параметри цифрових запам'ятовуючих осцилографів.** Розглянемо переваги та недоліки сучасних моделей ЦЗО, які відображені в таблиці 1.

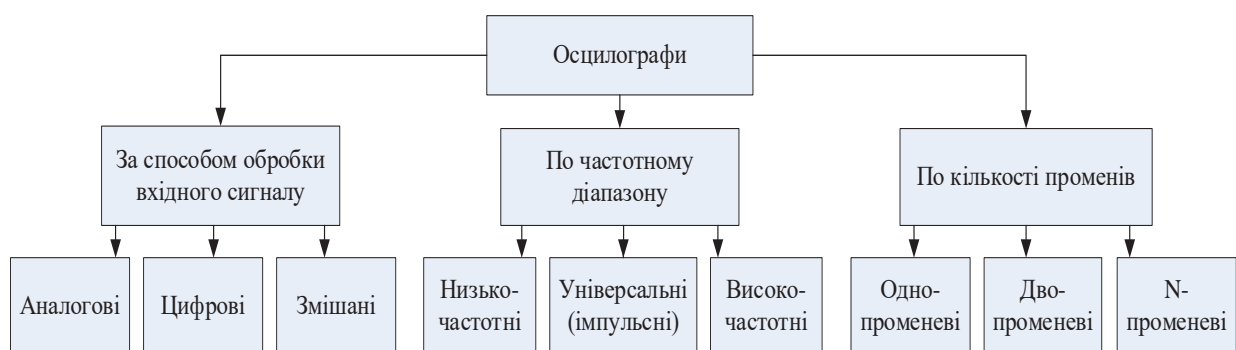


Рис. 1. Приклад класифікації осцилографів

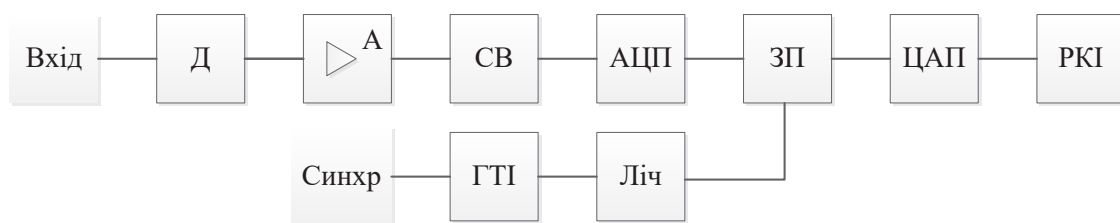


Рис. 2. Спрощена функціональна схема ЦЗО



Натепер ринок сучасних цифрових осцилографів пропонує велику кількість приладів від різноманітних виробників з широким спектром можливостей, тому вибір навіть такого відомого кожному інженеру приладу виявляється непростим, тривалим і трудомістким завданням.

Найбільш важливою характеристикою, яку необхідно враховувати, є смуга пропускання, оскільки саме вона визначає діапазон сигналів, які зможе відобразити осцилограф.

Необхідна смуга пропускання визначається в основному швидкістю наростання фронтів сигналу, який потрібно дослідити. Інженерам не часто доводиться досліджувати чисто синусоїдальні сигнали, а навпаки, доводиться працювати із сигналами, які містять вищі гармоніки, частота яких перевищує частоту основної гармоніки сигналу. Таким чином, якщо осцилограф не буде забезпечувати достатню смугу пропускання, то замість чітких та крутих фронтів будуть простежуватись сильно округлені перепади сигналу. А це, своєю чергою, негативно відобразиться на точності та достовірності вимірювань.

Частотний діапазон, в якому знаходяться досліджувані сигнали, також зумовлює смугу пропускання осцилографа, але меншою мірою, ніж тривалість фронтів. У сучасних цифрових осцилографах максимальна частота, яку вони можуть відобразити, визначається тактовою частотою системи. Якщо сигнали мають «пологі» фронти (від 500 пікосекунд та більше), то для нормального відображення таких сигналів осцилограф повинен мати смугу пропускання, як мінімум, у 2–3 рази вищу, ніж частота сигналу. Для більш «крутих» фронтів частота сигналу менше впливає на вимоги до смуги пропускання осцилографа.

Окрім цього, визначаючись зі смугою пропускання, треба враховувати й можливі майбутні вимоги до приладу. Але перед тим, як придбати осцилограф, необхідно ретельно проаналізувати характер майбутньої діяльності, щоб визначитись, які функції він повинен буде виконувати, та зупинитись на тій оптимальній моделі, яка дозволить вимірювати ефективніше і точніше.

**Провідні виробники сучасних цифрових осцилографів.** Одними з провідних виробників

Таблиця 1

### Переваги та недоліки сучасних ЦЗО

№ з/п	Параметри цифрових запам'ятовуючих осцилографів	
	Переваги цифрових осцилографів	Недоліки цифрових осцилографів
1	Малий коефіцієнт підсилення вхідних підсилювачів, їх мала вихідна напруга	Відсутній
2	Широка смуга пропускання вхідних підсилювачів	Чутливість до імпульсних та високочастотних наведень (характерна також і для аналогових осцилографів)
3	Цифрова форма подання сигналу	Наявність шумів квантування, втрата інформації між вибірками
4	Застосування замість електронно-променевої трубки (ЕПТ) плоского рідкокристалічного індикатора (РКІ) з точковою побудовою зображень	Кінцева геометрична роздільна здатність і відносно висока вартість РКІ, спостереження осцилограм з дрібними сходишками
5	Перетворення часового масштабу у разі відображення сигналу і відсутність високошвидкісної аналогової розгортки	Втрата інформації про значну частину сигналу і необхідність у спеціальних рішеннях для усунення цього недоліку
6	Отримання осцилограм як після нульового відліку часу, так і до нього	Відсутній
7	Запам'ятовування осцилограм після їх побудови і направлення (вивід) на РКІ	Відсутній
8	Програмна реалізація низки функцій, наприклад, функції спектрального аналізу	Відсутній
9	Автоматизація налагодження осцилографа, зберігання декількох налаштувань	Відсутній
10	Автоматизоване вимірювання великої кількості параметрів сигналів	Відсутній
11	Підключення до комп'ютера, можливість керування осцилографом від комп'ютера, запис у файл осцилограм	Відсутній
12	Зменшення габаритів і ваги внаслідок відмови від громіздкої ЕПТ та високовольних джерел живлення	Відсутній

сучасних ЗВТ, у тому числі ЦЗО, є такі фірми, як Rohde&Schwarz, Tektronix&Keithley Inc., Keysight Technologies, Teledyne LeCroy тощо. Найвищий ціновий сегмент цих осцилографів передбачає максимальні можливості щодо розширеного діапазону частот, підвищеної розрядності, зниження за рахунок цього рівня квантування, збільшення чіткості та точності, наявність сенсорного керування, портативність тощо. Але від цього великою мірою залежить і їхня вартість.

Оптимальною альтернативою є бюджетний сегмент цифрових лабораторних осцилографів, який передбачає діапазон частот до 200 МГц як вищеназаних виробників, так і інших, наприклад GW INSTEK, SIGLENT Technologies Co. Ltd, Uni-Trend Technology Limited, які доволі успішно конкурують зі світовими брендами і не поступаються ані якістю виконання, ані надійністю, ані функціоналом, проте вигідно відрізняються власною вартістю. Приклад класифікації виробників цифрових осцилографів поданий у таблиці 2.

**Класифікація цифрових осцилографів.** Осцилограф завжди був основним робочим приладом для тих, хто займається розробкою, виготовленням або ремонтом електронного обладнання. ЦЗО захоплює, зберігає та відображає сигнали. Він може відображати високошвидкісні періодичні або неперіодичні сигнали, що надходять на кілька вхідних каналів, щоб відшукати короточасні глітчї або перехідні процеси.

Осцилограф може виміряти частоту сигналу; спотворення, що вносяться несправним компонентом, рівень шумів, зміну шуму в часі і безліч

інших параметрів. Приклад класифікації видів цифрових осцилографів поданий на рис. 3.

**Критерії вибору цифрових осцилографів.**

Автори пропонують розглянути найбільш важливі та доцільні критерії вибору [18].

1. *Смуга пропускання.* Системна смуга пропускання визначає головну здатність осцилографа вимірювати аналоговий сигнал – максимальний діапазон частот, в якому забезпечується точне вимірювання. *Вибираючи смугу пропускання, необхідно керуватися «правилом п'ятикратного перевищення».*

2. *Час наростання.* Для точного захоплення швидких перехідних процесів осцилограф повинен бути швидкодіючим. Чим менше час наростання осцилографа, тим точніше він передає тонкі деталі швидких перепадів. *Час наростання осцилографа повинен бути у 5 разів меншим за мінімальну тривалість фронту досліджуваного сигналу.*

3. *Узгоджені пробники.* Вибір пробників залежить від пристроїв і сигналів, з якими працюють. Смуга пропускання пробника повинна відповідати смузі пропускання осцилографа, і при цьому пробник не повинен створювати зайве навантаження на ланцюги пристрою, який тестується. *Доцільно використовувати пробники і осцилографи одного виробника. Осцилографи середнього цінового діапазону повинні мати вхідну ємність не більше 10 пФ.*

4. *Якісні вхідні канали.* Цифрові осцилографи оцифровують сигнал, який надходить на вхідні аналогові канали, а потім зберігають і відображають отримані значення. Два або чотири аналогові канали дозволяють вимірювати і порівнювати часові

Таблиця 2

**Приклад класифікації виробників цифрових осцилографів**

Виробники цифрових осцилографів		
Фірми країн Європи	Компанії США	Фірми країн Азії
Rohde&Schwarz (Німеччина)	Tektronix&Keithley Inc.	Good Will Instek (Тайвань)
CHAUVIN ARNOUX (Metrix) (Франція)	Fluke Corporation	EZ Digital (Південна Корея)
Velleman Instruments (Бельгія)	Keysight Technologies Inc.	Hitachi (Японія)
АКИП (Росія)	Teledyne LeCroy	Yokogawa Electric Corporation (Японія)
АКТАКОМ (Росія)		OWON (Китай)
ELTESTA (Литва)		Hantek Electric Co., Ltd (Китай)
		Uni-Trend Technology Limited (Китай)
		RIGOL Technologies, Inc. (Китай)
		Siglent Technologies Co., Ltd (Китай)

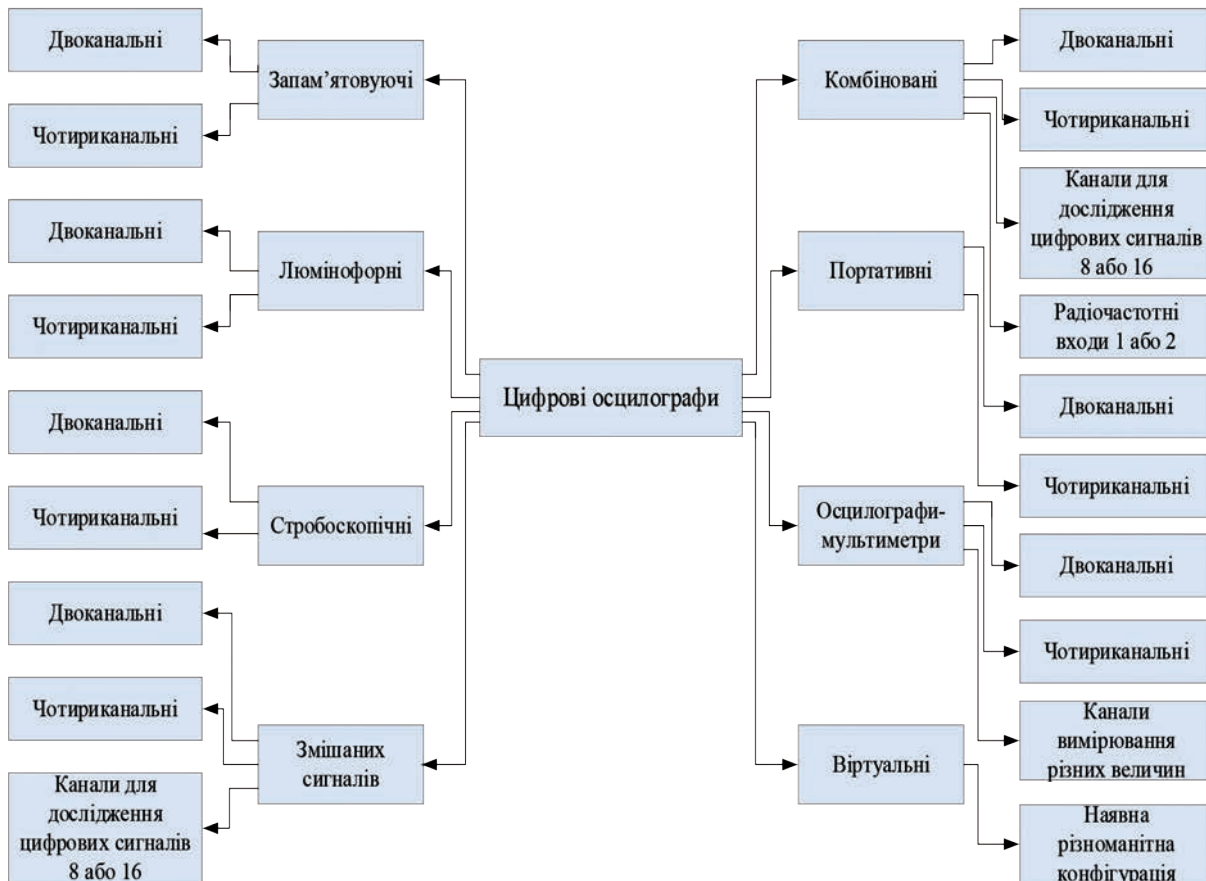


Рис. 3. Приклад класифікації цифрових осцилографів

характеристики сигналів аналогових пристроїв, тоді як для налагодження цифрової системи, яка використовує паралельну передачу даних, може знадобитись 8, 16, а можливо, й більше додаткових каналів. Осцилографи змішаних сигналів пропонують додаткові цифрові канали, які відображають тільки два логічних рівня і можуть представляти їх у вигляді сигналу шини. Комбіновані осцилографи (MDO) мають окремий РЧ вхід для виконання високочастотних вимірювань у частотній області.

5. Велика частота дискретизації. Точність відображення сигналу залежить від частоти дискретизації і від методу інтерполяції, який використовується. Частота дискретизації (число вибірок за секунду) визначає кількість дрібних деталей сигналу, які може захопити і відобразити осцилограф. Частота дискретизації повинна не менше ніж у 5 разів перевищувати найвищий частотний складник вимірюваного сигналу.

6. Гнучка система запуску. Система запуску забезпечує зображення і дозволяє виділяти конкретні фрагменти складних сигналів. Запуск дозволяє почати горизонтальну розгортку з потрібної

точки сигналу. Під час однократного запуску відбувається захоплення по всіх каналах одночасно. Всі осцилографи забезпечують запуск по фронту, і більшість – по тривалості імпульсу. Чим ширший вибір умов запуску, тим вища гнучкість використання осцилографа. Запуск по заданих умовах дозволяє виділити певну ділянку осцилограма і виявити аномалії.

7. Велика довжина запису. Довжина запису – це число точок, з яких складається зареєстрована осцилограма. Осцилограф має обмежений об'єм пам'яті для запису вибірок. Сучасні осцилографи дозволяють вибирати довжину запису, оптимізувати рівень деталізації. Осцилограф загального призначення може зберігати більше 2000 точок. Але для пошуку причин аномалій у складних послідовних потоках даних краще використовувати осцилограф з цифровим люмінофором (DPO) з довжиною запису 1 млн точок або більше. Для реєстрації перехідних процесів або пошуку неперіодичних сигналів треба вибирати осцилограф, який поєднує велику довжину запису з високою швидкістю поновлення осцилограм.

8. Потужна система навігації і аналізу. Осцилографи з довжиною запису у мільйони точок

## Приклад порівняння основних характеристик бюджетних моделей цифрових осцилографів

№ з/п	Фірма та країна виробник	Модель	Смуга пропускання, МГц	Максимальна частота дискретизації, Гвиб/с	Кількість каналів	Орієнтовна вартість, грн
1	Rohde & Schwarz (Німеччина)	RTH1022	200	1 (в реальному часі)	2	184 000,00 (повна комплектація)
2	Uni-Trend Technology Limited (Китай)	UTD4202C	200	1 (в реальному часі)	2	44 400,00 (повна комплектація)
3	Siglent Technologies Co., Ltd (Китай)	SDS1202X+	200	1 (в реальному часі)	2	25 000,00 (повна комплектація)

можуть виконувати захоплення протягом тривалого часу, що дуже важливо для дослідження складних сигналів. **Функція масштабування і панорамування** дозволяє розтягувати потрібну ділянку осцилограми та переміщувати вікно огляду назад і вперед по шкалі часу. **Функція відтворення і паузи** автоматично переміщує вікно огляду по осцилограмі. **Маркери** дозволяють позначати конкретні події. **Функція пошуку і маркування** дозволяє переглядати всю захоплену осцилограму і автоматично відзначати появу певних подій. **Розширений пошук** дозволяє визначати різні критерії, що аналогічні умовам запуску, у відповідності до яких будуть автоматично виявлятися і позначатися події у захопленому сигналі.

9. **Автоматичні вимірювання сигналу.** Автоматичні вимірювання спрощують отримання точних чисельних значень параметрів сигналу. **Результати автоматичних вимірювань виводяться на екран у вигляді чисельних значень і мають більшу точність, ніж безпосередні вимірювання по координатній сітці.** Можна також написати власні формули для виконання математичних операцій.

10. **Розширена підтримка додатків.** Найкращі осцилографи мають прикладне програмне забезпечення для діагностики оптичних і електричних схем та тестувань на відповідність стандартам.

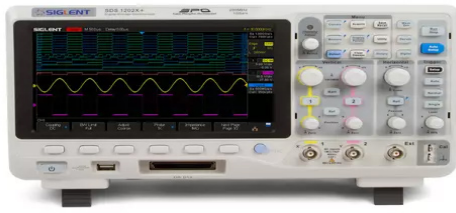
11. **Просте керування з чітким відкликом.** Осцилографи повинні бути прості в керуванні навіть для недосвідчених користувачів. **Інтерфейс користувача дає істотний внесок під час рішення інженерних задач.** Функції, які часто використовуються, повинні мати окремі органи керування. **Осцилограф повинен мати швидкий і чіткий відклик на органи керування, надавати декілька способів керування.** Вбудована довідкова система повинна дати зручні підказки, а інте-

лектуальна система меню забезпечити простий доступ до функцій і контекстних команд.

12. **Інтерфейси та можливості розширення.** Підключення осцилографа до комп'ютера або передача даних через змінні носії дозволяє виконувати розширений аналіз, спрощує документування і обмін результатами вимірювань. **Порти дисплея, принтера і LAN дозволяють інтегрувати осцилограф у вимірювальну систему: порт Ethernet для підключення до локальної мережі і відповідне програмне забезпечення дозволяють робити знімки екрана, реєструвати осцилограми і результати вимірювань; через хост-порт USB можливе швидке та просте збереження даних, роздруківка результатів вимірювань або підключення USB-клавіатури; порт пристрою USB забезпечує просте підключення до ПК або безпосередню роздруківку на принтері; порт VGA дозволяє виводити зображення екрана осцилографа на монітор або проектор.**

З метою реалізації оптимального вибору бюджетної моделі цифрового осцилографа виконаємо порівняння їх основних функціональних можливостей згідно з таблицею 3.

Найвищий ціновий сегмент осцилографів передбачає максимальні можливості щодо розширеного діапазону частот, підвищення розрядності, зниження за рахунок цього рівня квантування, підвищення чіткості та точності, наявність сенсорного керування, портативність тощо. Але від цього великою мірою залежить і їхня вартість. Оптимальною альтернативою, протестованою на практиці, є бюджетний сегмент цифрових лабораторних осцилографів, який передбачає діапазон частот до 200 МГц. Наприклад, SIGLENT SDS1202X+ успішно конкурує зі світовими брендами; не поступається ні якістю виконання, ні надійністю, проте вигідно відрізняється власною вартістю.



Цифровий осцилограф SDS1202X+

SDS1202X+ [17] є подальшим розвитком високоефективних осцилографів серії SDS1000X, модернізація яких торкнулася як апаратної частини, так і програмного забезпечення, результатом якої став ще більш функціонально досконалий осцилограф.

Для користувачів, яким важлива наявність вбудованих логічного аналізатора (16 каналів) та функціонального генератора (до 25 МГц), найкращим рішенням буде модель SDS1202X+.

SDS1202X+ – цифровий осцилограф з технологією SPO (суперфосфор), має смугу пропускання 2 x 200 МГц, швидкість вибірки 1 ГВ/с, об'єм пам'яті 14 млн точок/канал (у разі роботи 2-х каналів), швидкість захоплення осцилограм: 100 тис. форм/с (звичайний режим) / 400 тис. форм/с (режим сегментованої вибірки – важливий параметр, що підвищує ймовірність захоплення швидких сплесків (викидів) і так званих ілюзор-

них сигналів з низькою ймовірністю повторення), розширеною системою синхронізації, декодуванням IIC, SPI, UART, CAN, LIN, RS232, колірною градацією частоти повторення осцилограм, високою чутливістю 500 мкВ/поділ., функція швидкого перетворення Фур'є дозволяє обробляти до 1 млн точок. І все це у стандартній комплектації без необхідності закупівлі опцій. Для виконання вимірювальних завдань, які вимагають гальванічної розв'язки каналів, пропонується опція ISFE.

**Висновки.** На базі аналізу викладеного матеріалу можна зробити такі висновки: 1) лише оптимальний вибір бюджетної моделі цифрового осцилографа дозволить коректно виконати завдання додаткового оснащення сучасним приладом ВЦ ІСТЕ СБУ; 2) у разі вибору цифрового осцилографа доцільно керуватися 12 критеріями, викладеними у статті; 3) рекомендується використовувати бюджетні моделі ЗВТ виробництва провідних компаній країн Азії; 4) бажано мати можливість оновлення та розширення функцій цифрового осцилографа, що дозволить ініціювати його нові функціональні можливості.

Отже, з урахуванням викладених у статті матеріалів цифровий осцилограф моделі SDS1202X+ виробництва фірми Siglent Technologies Co. Ltd. (Китай) може бути рекомендований для дооснащення ВЦ ІСТЕ СБУ.

#### Список літератури:

1. Скакун О.В., Воскресенський В.Б., Сивобородько А.В. Питання оптимального вибору мультиметра цифрового для потреб випробувального центру (з досвіду практичної діяльності). *«Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського»*. Серія «Технічні науки». Том 32 (71). № 4, 2021, с. 32–39.
2. Концепція розвитку системи метрологічного забезпечення у сфері оборони на період до 2015 року та на перспективу до 2025 року : затверджена наказом Міністра оборони України від 18.01.2010 № 12.
3. Дьяконов В.П. Современная осциллография и осциллографы. *Серия «Библиотека инженера»*. Москва : СОЛОН-Пресс, 2010. 320 с.: ил.
4. Бобало Ю.Я., Недоступ Л.А., Киселичник М.Д., Надобко О.В. Осциллографы та методи вимірювання радіотехнічних величин : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. 88 с.
5. Нестерчук Д.М., Квітка С.О., Галько С.В. Основи метрології та засоби вимірювань : навчальний посібник. Мелітополь : Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. 256 с.
6. Гнусов Ю.В., Тулупов В.В., Пересічанський В.М. Метрологія та вимірювання : навчальний посібник. Харківський національний університет внутрішніх справ, 2019. 125 с.
7. Тимчук Н.Н. Цифровые запоминающие осциллографы серии DSO5000В от Hantek. *Радиокомпоненты. Для практического использования*. № 3 (61), 2011, с. 38–39.
8. Яковлев В.А. Осциллографы. Основные принципы измерений. Часть 4. *Измерительные приборы и системы*. № 4, 2008, С. 54–60.
9. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. Москва : Солон-Пресс, 2007. 544 с.
10. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Электронные измерения в нанотехнологиях и микроэлектронике / под ред. проф. В.П. Дьяконова. Москва : ДМК Пресс, 2011. 688 с.
11. Дедюхин А.А. Цифровые осциллографы компании Good Will Instruments Co. Ltd. *Метрология и измерительная техника в связи*, № 3, 2003.

12. Терешков В.В., Цветков Ф.А., Лабынцев А.В. Цифровые осциллографы: теоретические основы применения : учебное пособие / Под ред. В.В. Терешкова. Таганрог : Изд-во ЮФУ, 2013. 84 с.
13. Чинков В.Н. Цифровые измерительные приборы : учебник. Москва : МО, 1992. 506 с.
14. Контрольно-измерительное оборудование. Каталог 2016/2017. URL: <http://www.rohde-schwarz.ru>.
15. Електронний ресурс компанії "VD MAIS". URL: <http://www.vdmais.ua>.
16. Електронний ресурс фірми «Еталон-Прибор». URL: <http://www.etalonpribor.com.ua>.
17. Електронний каталог продукції Siglent Technologies Co., Ltd. URL: <http://www.gtest.com.ua>.
18. URL: <https://oscillograf.com.ua>.

**Skakun O.V., Voskresenskiy V.B. THE QUESTION OF THE OPTIMAL CHOICE OF A DIGITAL OSCILLOSCOPE FOR THE NEEDS OF THE TEST CENTER (FROM PRACTICAL EXPERIENCE)**

*The article is devoted to the analysis of the optimal choice of digital oscilloscope for the needs of the Testing Center of the Ukrainian Research Institute of Special Equipment and Forensic Science of Ukraine. The list of types of tests, the services of which are provided by the Test Center, using certain means of measuring equipment. The analysis of the last publications on actual questions concerning arguments of a choice of means of measuring equipment and recommendations concerning their use at performance of measurements is executed.*

*The article considers the task of equipping the Test Center of the Ukrainian Research Institute of Special Equipment and Forensic Science of Ukraine with modern measuring instruments of universal purpose, manufactured by leading world companies – digital storage oscilloscopes, to ensure accuracy, correctness, reproducibility and convergence of measurements. The choice of devices is proposed to be performed according to the criterion "price/quality" and according to the gradation "universal purpose/highly specialized purpose". The description of the most priority criteria which should be guided at a choice of digital oscilloscopes is given. The general theoretical provisions concerning specificity of functioning of digital means of measuring equipment are resulted. Definitions of the oscilloscope and classification of types of oscilloscopes, the simplified functional scheme of construction of the digital oscilloscope are given. The advantages and disadvantages of modern models of digital oscilloscopes are considered.*

*Also, in order to implement the optimal choice of budget model of digital oscilloscope, the article compares the main functionality of oscilloscope models RTH1022 from Rohde & Schwarz (Germany), UTD4202C manufactured by UNI-Trend Technology Limited (China) and SDS1202X+, manufactured by Siglent Technologies Co. Ltd (China).*

**Key words:** digital measuring instruments, quantization (sampling), digital oscilloscope, budget model, advantages and disadvantages of digital oscilloscopes, manufacturers of digital oscilloscopes, bandwidth, number of channels, sampling frequency.

# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.396.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/07>**Валуйський С.В.**

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

**Фуртат О.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Сушин І.О.**

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

**Турчин Я.В.**

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

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ МОБІЛЬНИХ ЕПІЗОДИЧНИХ РАДІОМЕРЕЖ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БПЛА

*У статті досліджено проблему поєднання управління рухом наявних БПЛА та розгортання нових БПЛА, щоб кількість нових розгорнутих БПЛА для підтримки зв'язку наземних абонентів могла бути мінімізована. Ця проблема сформульована як проблема мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі.*

*Запропоновано метод, який включає три евристичні алгоритми розміщення нових БПЛА з урахуванням переміщення наявних БПЛА для задачі МДШ з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі: алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА, переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА й розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА.*

*Два алгоритми: розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА й переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА розділяють проблему та вирішують проблему розгортання, переміщення одна за одною, тоді як алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА оптимізує проблему розгортання й керування рухом поперек і вирішує ці дві проблеми одночасно.*

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат, мобільна епізодична радіомережа, алгоритм, топологія, розміщення.

**Постановка проблеми.** Рух наземних мобільних абонентів призводить до швидкої й непередбачуваної зміни топології епізодичних радіомереж, що може зумовлювати порушення зв'язності мережі й втрати зв'язку між деякими абонентами. Підвищення зв'язності таких мереж можливо шляхом введення нових додаткових вузлів повітряного базування (далі – БПЛА), що мають більшу зону радіопокриття й можуть поєднувати роз'єднані ділянки мережі. Сьогодні недостатньо вирішеною є проблема оптимального управління положенням таких БПЛА, а саме проблема поєд-

нання управління рухом наявних БПЛА та розгортання нових БПЛА, щоб кількість нових розгорнутих БПЛА для підтримки зв'язку наземних абонентів могла бути мінімізована.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи О.І. Лисенка, В.А. Романюка, С.М. Чумаченка, С.В. Валуйського присвячені теоретичним і практичним дослідженням методом підвищення пропускної здатності епізодичних радіомереж з управлінням положенням телекомунікаційних аероплатформ [1–3]. У роботі [4] автори також досліджують проблему підвищення зв'язності

мобільних епізодичних радіомереж за рахунок розміщення нових і переміщення наявних БПЛА, але математична модель не враховує дальність зв'язку повітря-повітря, що буде враховано в роботі.

**Постановка завдання.** Завдання полягає в удосконаленні математичної моделі забезпечення зв'язності епізодичних радіомереж із використанням БПЛА, також алгоритмів забезпечення зв'язності епізодичних радіомереж із використанням БПЛА.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Практична цінність БПЛА.**

БПЛА мають кілька унікальних характеристик, придатних для забезпечення ретрансляції пакетів у мобільних епізодичних радіомережах.

По-перше, гнучкість руху БПЛА може розширити сферу застосування наземних мереж особливо в сценаріях із перешкодами.

По-друге, БПЛА можуть взаємодіяти з наземними вузлами в прямій видимості, що може поліпшити зв'язність пропускну здатність між наземними вузлами.

Й останнє, але не менш важливе: БПЛА інтегровані із системою зв'язку, обчислення та управління, різними датчиками, можуть досліджувати навколишнє середовище й адаптивно керувати їх рухом. Адаптивність БПЛА робить їх придатними для надання ретрансляційних послуг для мобільних епізодичних радіомереж, які мають динамічну топологію мережі.

**Проблема розгортання нових БПЛА.** У наявних роботах при розгортанні БПЛА не враховано ситуацію, що деякі БПЛА вже були розгорнуті на

місцях. Переміщення наземних мобільних абонентів епізодичних радіомереж може призвести до того, що наявні БПЛА не забезпечувати зв'язність усіх наземні вузлів. Отже, необхідно вивести нові БПЛА, щоб підтримувати зв'язок наземних абонентів. Але, щоб мінімізувати кількість нових доданих БПЛА, необхідно враховувати як переміщення наявних БПЛА, так і розгортання нових БПЛА. Це спільне завдання оптимізації, яка оптимізує як розгортання, так і керування рухом кількох БПЛА.

Розглянемо можливість використання наявних БПЛА, переміщаючи їх у відповідні положення, щоб можна було зменшити кількість нових необхідних БПЛА. Наявні БПЛА мають обмежений діапазон руху, який залежить від швидкості БПЛА й заряду акумуляторної батареї. Для підтримки двонаправленого зв'язку між БПЛА та наземними вузлами ми припускаємо, що БПЛА мають той самий діапазон зв'язку, що й наземні вузли. На рис. 1. показаний приклад того, як керування рухом наявних БПЛА може зменшити кількість необхідних нових БПЛА. Припустимо, що в польових умовах розгорнуті два наземні вузли і два наявні БПЛА. Оскільки відстань між двома наземними вузлами більше, ніж їх діапазон зв'язку  $r$ , наземна мобільна епізодична радіомережа розділена на дві частини, що показано на рис. 1 (а).

Щоб підтримувати зв'язок наземних абонентів мобільних епізодичних радіомереж, наявні методи, які не враховують наявні БПЛА, додадуть нові БПЛА для з'єднання розділених частин, як показано на рис. 1 (б). Тут додається новий БПЛА й розгортається всередині двох наземних вузлів.

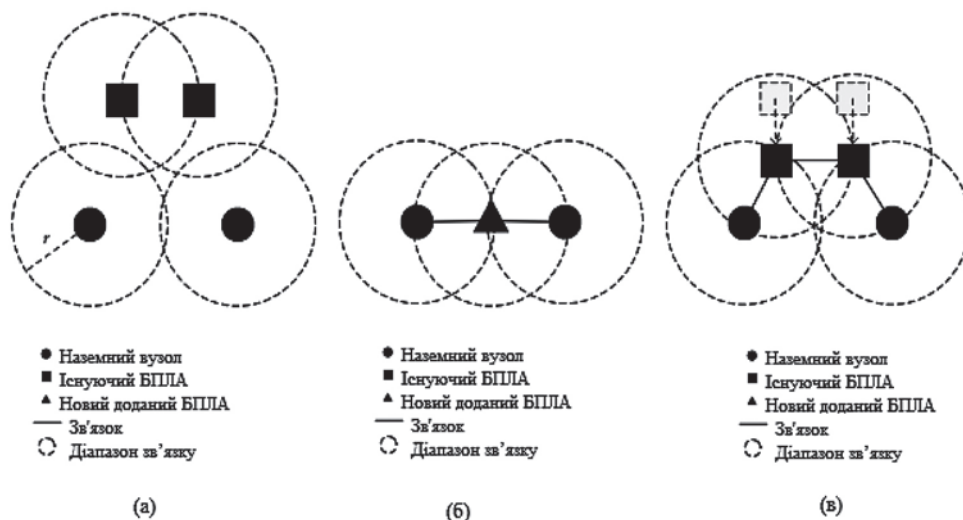


Рис. 1. Приклад, який ілюструє важливість наявних БПЛА в підтримці зв'язку наземних мобільних епізодичних радіомереж



Тому ці два наземні вузли тепер можуть зв'язатися один із одним за допомогою нового БПЛА. Якщо ми не розглядаємо наявні БПЛА, необхідно розгорнути принаймні один додатковий БПЛА, щоб підтримувати зв'язок наземних БПЛА.

Щоб зменшити капітальні витрати, доцільно намагатися зменшити кількість нових доданих БПЛА. Іншими словами, використовувати наявні БПЛА, замість того щоб їх ігнорувати. Переміщення наявних БПЛА у відповідне положення й використання наявних БПЛА як ретрансляторів, можна покращити зв'язність наземних БПЛА. На рис. 1 (в) показано переміщення двох наявних БПЛА безпосередньо до лінії, яка складається з двох наземних вузлів, доки відстань між наявними БПЛА й одним наземним вузлом не стане меншою за діапазон зв'язку  $r$ . Потім між двома наземними вузлами встановлюється зв'язок. Таким чином, підтримується зв'язок наземних абонентів і для розгортання нових БПЛА не потрібно.

У статті розглянуто проблему оптимізації розгортання та керування рухом кількох БПЛА за критерієм мінімізації кількості нових доданих БПЛА, що утворюють зв'язну мережу. Спочатку сформульовано цю проблему, як проблему мінімального дерева Штейнера (МДШ) з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням по довжині ребер графу мережі. Розглянемо наявний алгоритм розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА, запропонований у роботі С.В. Валуйського [1] і запропоновано три нові алгоритми розміщення як нових, так і наявних БПЛА:

- Розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА;
- Переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА;
- Розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА.

Перші два алгоритми розділяють спільну проблему на проблему розгортання нових БПЛА та проблему керування рухом наявних БПЛА. Алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА оптимізує розгортання нових БПЛА перед переміщенням наявних БПЛА, а алгоритм переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА вирішує проблему навпаки. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА – це змішаний алгоритм, який перехресно вирішує проблему переміщення та розгортання. Імітаційні експерименти показують, що всі алгоритми розміщення нових БПЛА з урахуванням переміщення

наявних БПЛА мають кращу продуктивність з точки зору кількості нових БПЛА, ніж алгоритми без урахування переміщення наявних БПЛА. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА завжди кращий за алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА й переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА, може підвищити продуктивність максимум до 70% порівняно з алгоритмом розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА.

У статті припускається, що всі поточні положення наземних вузлів і наявних БПЛА відомі. Також припускається, що немає фізичних перешкод, які впливають на мобільність БПЛА або радіоканали. Цю проблему можна описати так: урахувуючи набір наземних вузлів і набір наявних БПЛА, знайти нові позиції для наявних БПЛА й позиції для нових доданих БПЛА, щоб сформувати дерево, що охоплює всі наземні вузли, щоб кількість нових доданих БПЛА зведено до мінімуму.

У цій проблемі є два обмеження. Одним із них є відстань між новим положенням і поточним положенням кожного наявного БПЛА, яка не перевищує заданий діапазон руху. Інше полягає в тому, що довжина кожного ребра в дереві не перевищує заданий діапазон зв'язку.

**Математична постановка задачі мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі.** Оскільки ця задача подібна до задачі дерева Штейнера з мінімальною кількістю точок Штейнера, сформульовано цю задачу як задачу мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням по довжині ребер графу мережі. Точки Штейнера тут означають БПЛА, а обмеження по довжині ребер графу мережі – це діапазон максимальної дальності зв'язку вузла мережі, що визначається енергетикою радіолінії (потужністю передавача, чутливістю приймача, характеристиками антени тощо), місцевістю й різними завадами [8].

Формальне визначення проблеми мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі показано таким чином.

Нехай існує набір наземних вузлів  $P$ , що характеризується поточною позицією кожного вузла  $p$ , набір наявних БПЛА  $Q$ , що характеризується поточною позицією кожного наявного БПЛА, діапазон руху БПЛА  $l$ , дальність зв'язку наземного вузла  $r$ , дальність зв'язку земля-повітря  $R$  і дальність зв'язку повітря-повітря  $D$ .

Таким чином,  $r < R$ ,

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad (1)$$

$$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_m\},$$

де  $n$  – кількість наземних вузлів,  $m$  – кількість наявних БПЛА.

Нові позиції наявних БПЛА становитимуть множину  $U$ , позиції нових доданих БПЛА –  $S$ , а дерево графу мережі  $T$  складатиметься із сукупного набору вузлів ( $P$ ,  $U$  та  $S$ ) і набору ребер  $E$ :

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\},$$

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\} \quad (2)$$

$$T = \{P \cup U \cup S, E\}.$$

Тоді математичну постановку задачі можна сформулювати таким чином: знайти мінімальну кількість  $k$  нових доданих БПЛА, розміщення яких забезпечить зв'язність епізодичної радіомережі

$$\min(k). \quad (3)$$

При виконанні таких обмежень і збереження цілісності мережі:

$$\Omega_1: |e_{ij}| \leq r, (e_{ij} \in E, i, j \in P),$$

$$\Omega_2: |e_{ij}| \leq R, (e_{ij} \in E, i \in P, j \in U \cup S), \quad (4)$$

$$\Omega_3: |e_{ij}| \leq D, (e_{ij} \in E, i, j \in U \cup S),$$

$$|u_i - q_i| \leq l, 1 \leq i \leq m,$$

де  $|e_{ij}|$  – довжина ребра графу мережі між вузлами  $i$  та  $j$ .

Під цілісністю мережі розуміється наявність лише одної компоненти зв'язності графу мережі. Перевірка цілісності мережі можлива шляхом побудови мінімального дерева Штейнера (далі – МДШ) графу (наприклад, згідно з алгоритмом Пріма) та перевірка кожного ребра дерева на виконання умови  $\Omega_1$ ,  $\Omega_2$ ,  $\Omega_3$ . Якщо умови виконуються, то мережа є структурно зв'язаною на момент часу  $t$ , інкше необхідне певне управлінське рішення (наприклад, вивід нового (переміщення наявного) БПЛА).

**Алгоритм розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА.** Сьогодні вже існує евристичний алгоритм на основі МДШ для задачі мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера, коефіцієнт апроксимації якого в найгіршому випадку дорівнює 4 [7; 8]. Потім він ділить кожне ребро  $e$  в дереві на маленькі шматки довжиною не більше ніж  $R$ , уставляючи точки Штейнера кількістю  $[l(e)/R] - 1$ , так що всі частини в ребрі  $e$  мають однакову довжину. Тут  $l(e)$  – евклідова довжина ребра  $e$ .

Оскільки мобільні точки Штейнера не враховуються, евристичний алгоритм МДШ не може бути

використаний безпосередньо для задачі мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі. Тут просто беруться методи Лін і Сюе як порівняльний метод. Оскільки цей метод не враховує наявні БПЛА, ми називаємо цей метод алгоритмом розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА. Цей алгоритм обчислює мінімальну кількість нових БПЛА, необхідну для підключення всіх наземних вузлів. Жоден із наявних БПЛА не буде повторно використаний для підключення наземних мобільних епізодичних радіомереж. Таким чином, кількість необхідних нових БПЛА, обчислена цим алгоритмом, має бути верхньою межею інших алгоритмів, що враховують розміщення (переміщення) наявних БПЛА. Цей алгоритм показаний на рис. 2.

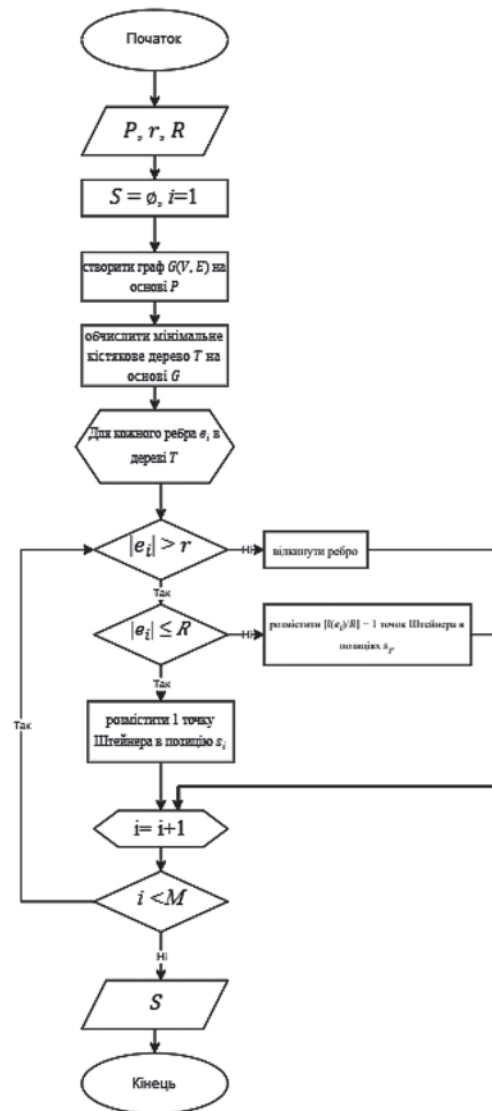


Рис. 2. Блок-схема наявного алгоритму розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА

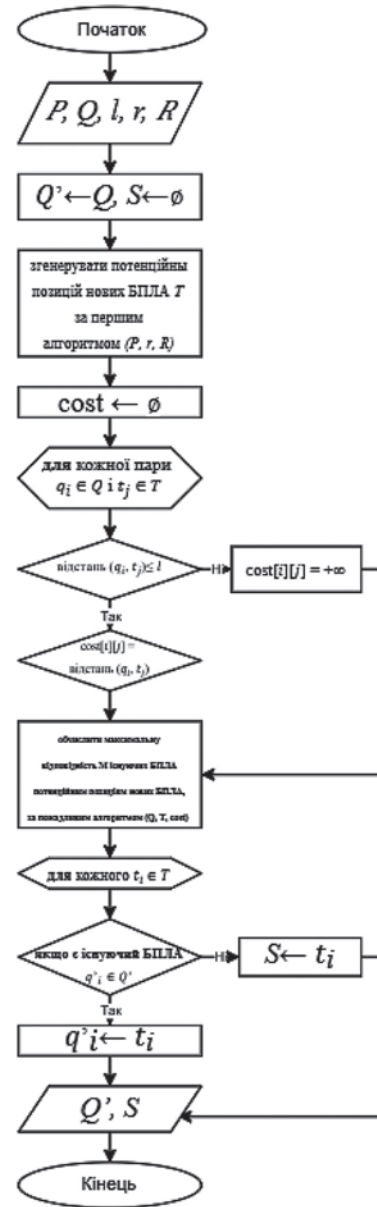
**Алгоритм алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА.**

Перший запропонований алгоритм – це алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА, який спочатку оптимізує розгортання нових БПЛА, а потім оптимізує керування переміщенням наявних БПЛА (алгоритм 1).

Основна ідея алгоритму розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА показана таким чином. По-перше, використовується алгоритм розміщення нових БПЛА без урахування переміщення наявних БПЛА для створення кандидатських позицій нових доданих БПЛА без урахування наявних БПЛА. Потім ми порівнюємо наявні БПЛА з кандидатами на новододані БПЛА. Збіг між наявним БПЛА та позицією-кандидатом нового доданого БПЛА означає, що новий доданий БПЛА буде замінено наявним БПЛА шляхом переміщення цього наявного БПЛА на позицію кандидата. Оскільки діапазон руху наявних БПЛА обмежений, кількість збігів також обмежена. Тут ми використовуємо алгоритм алгоритми розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА (DBM), щоб знайти максимальні збіги, щоб можна було мінімізувати кількість необхідних нових БПЛА. Алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА показаний на рис. 3.

Алгоритм переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА (алгоритм 2). Основна ідея алгоритму переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА полягає в такому. По-перше, використовується евристична функція для створення нових позицій наявних БПЛА  $Q'$ . Потім об'єднується набір наземних вузлів  $Q$  і набір наявних БПЛА з новими позиціями  $Q'$  у великий набір вузлів  $P \cup Q'$ . Після цього ми генеруємо мінімальне охоплююче дерево  $T$  над набором  $P \cup Q'$ , а потім процес відкидання наявних БПЛА буде використовуватися для вирізання всіх наявних БПЛА під 1 градус у дереві  $T$ , поки всі наявні БПЛА в дереві не матимуть принаймні два сусідні вузли. Для решти піддерева  $T$  з  $T$  нові БПЛА будуть додані до країв  $T$ , довжина яких перевищує  $r$ .

**Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА.** Основна ідея алгоритму розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА полягає в такому (алгоритм 3). Спочатку генерується повний граф  $G(V, E)$  на базових вузлах і сортуємо всі ребра  $e_{ij}$  в порядку збільшення довжини. Тоді розглянемо всі ребра  $e_{ij}$  у множині  $E$ , довжина ребра не більше  $r$ , а вер-



**Рис. 3. Блок-схема запропонованого алгоритму розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА (алгоритм 1)**

шини ребра належать різним компонентам. Після цього кроку ми отримуємо кілька компонентів, які складаються з підключених заземлюючих вузлів. Тепер будемо рекурсивно переміщати наявні БПЛА й додавати нові БПЛА для з'єднання розділених компонентів, доки всі розділені компоненти не будуть з'єднані в один компонент. У кожному циклі ми спробуємо з'єднати всі пари вершин  $V_i$  і  $V_j$ , які належать різним компонентам, за допомогою двох різних методів. Один із методів використовує наявні БПЛА для встановлення ланцюга зв'язку між  $V_i$  і  $V_j$  шляхом переміщення БПЛА на певні позиції. Нові БПЛА будуть додані до

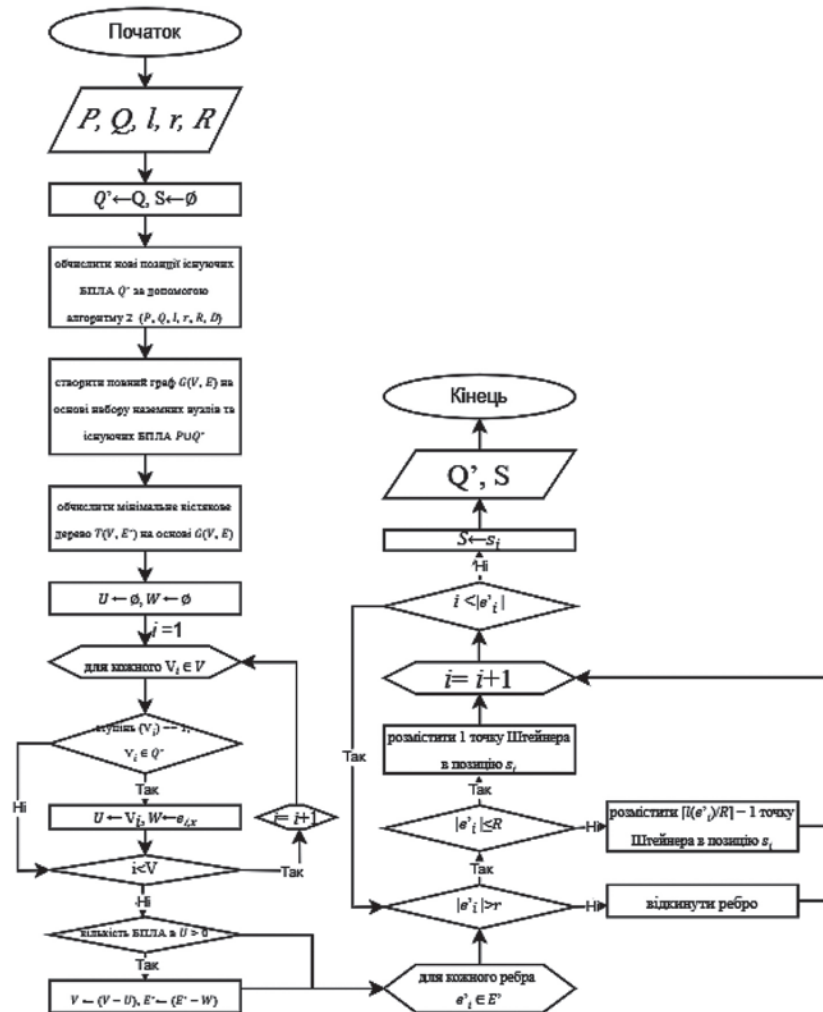


Рис. 4. Блок-схема запропонованого алгоритму переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА (алгоритм 2)

країв ланцюга, довжина яких перевищує  $r$ . Інший метод не враховує наявні БПЛА та просто намагається налаштувати ланцюжок зв'язку між  $V_i$  і  $V_j$ , додаючи нові БПЛА. Кількість нових доданих БПЛА за допомогою цих двох методів буде порівнюватися, і менша кількість буде записана як мінімальна кількість нових БПЛА (MNN) для з'єднання  $V_i$  і  $V_j$ . Для з'єднання двох розділених компонентів у цьому циклі буде обрана пара вершин, яка має мінімальний MNN. Нові позиції наявних БПЛА та позиції нових доданих БПЛА, створених для з'єднання цієї пари вершин, також будуть записані як частина кінцевого результату. Алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА показаний на рис. 5.

**Висновки.** У статті досліджено проблему використання БПЛА для підтримки зв'язку наземних мобільних епізодичних радіомереж. На відміну від наявних робіт, у статті розглядається умова, що деякі БПЛА вже були розгорнуті в польових

умовах. Через рух наземних абонентів мобільних епізодичних радіомереж та обмежений діапазон зв'язку наявні БПЛА не можуть з'єднати всі наземні вузли, тому для підтримки зв'язку необхідно розгорнути нові БПЛА.

Представлено задачу оптимізації, яка поєднує керування рухом наявних БПЛА та розгортання нових доданих БПЛА. Сформульовано цю задачу як проблему мінімального дерева Штейнера з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі. Також запропоновано три алгоритми: 1) алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА, 2) алгоритм переміщення наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА; 3) алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА для проблеми МДШ з наявними мобільними точками Штейнера з обмеженням довжини ребер графу мережі.

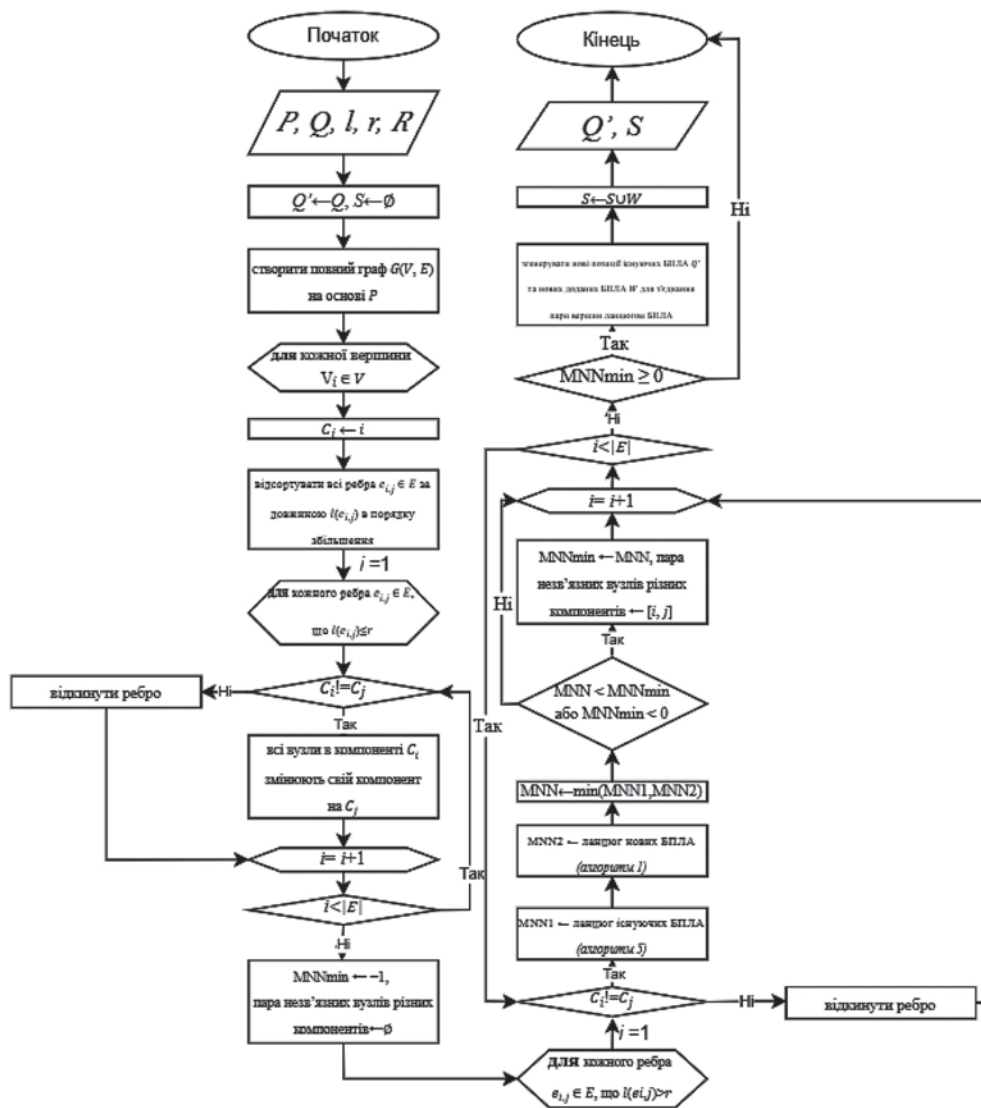


Рис. 5. Блок-схема запропонованого алгоритму розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА (алгоритм 3)

Після тестування продуктивності запропонованих алгоритмів у різних сценаріях зі зміною параметрів моделювання (включаючи кількість наземних вузлів, кількість наявних БПЛА, дальність зв'язку та дальність руху) можна зробити висновок, що алгоритми з урахуванням переміщення наявних БПЛА завжди мають кращу продуктивність, ніж метод без урахування переміщення наявних БПЛА з точки зору кількості нових доданих БПЛА. Серед трьох алгоритмів розміщення нових БПЛА з урахуванням переміщення наявних БПЛА алгоритм переміщення

наявних БПЛА до початку розгортання нових БПЛА кращий за алгоритм розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА в більшості сценаріїв, а алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА завжди має найкращу продуктивність у всіх сценаріях. У деяких сценаріях алгоритм розгортання нових БПЛА під час переміщення наявних БПЛА може зменшити щонайбільше 70% нових БПЛА порівняно з алгоритмом розгортання нових БПЛА до початку переміщення наявних БПЛА.

**Список літератури:**

1. Optimal control of telecommunication aeroplatform in the area of emergency / O.I. Lysenko, S.V. Valuiskyi, P.I. Kirchu, A.V. Romaniuk. *Telecommunication sciences*. 2013. Vol. 4. № 1. С. 14–20. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Telnu\\_2013\\_4\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Telnu_2013_4_1_5) (дата звернення: 21.12.2020).

2. The problem of finding a rational topology of wireless sensor networks using UAVs / S. Valuiskyi, A. Lysenko, T. Pryshchepa and S. Chumachenko. *Second International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T)*. 2015. P. 213–215.
3. The Problems of Control in Wireless Sensor and Mobile Ad-Hoc Networks / O. Lysenko, V. Romaniuk, O. Tachinina, S. Valuiskyi. *Nechyporuk M., Pavlikov V., Kritskiy D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1113. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5\\_33](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_33) (дата звернення: 21.12.2020).
4. Maintaining Connectivity of MANETs through Multiple Unmanned Aerial Vehicles / Ming Zhu, Fei Liu, Zhiping Cai, Ming Xu. *Mathematical Problems in Engineering*. 2015. Vol. 14. URL: <https://doi.org/10.1155/2015/952069> (дата звернення: 21.12.2020).
5. Використання БПЛА в різних цілях. URL: <https://racurs.ru/press-center/articles/bespilotnye-letatelnye-apparaty/UAV-for-mapping-1/> (дата звернення: 21.12.2020).
6. Безпілотні літальні апарати воєнного призначення. URL: [https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty\\_miru/2019/02/09-Yevtodieva.pdf](https://www.imemo.ru/files/File/magazines/puty_miru/2019/02/09-Yevtodieva.pdf) (дата звернення: 08.12.2021).
7. Дослідження та розробка програмного комплексу управління БПЛА при моніторингу промислових об'єктів. URL: <http://masters.donntu.org/2017/fkita/beskrovny/diss/index.htm> (дата звернення: 01.11.2021).
8. Використання БПЛА в умовах бойових дій. URL: <https://www.alb.aero/about/articles/primeneniye-bpla-v-usloviyakh-boevykh-deystviy> (дата звернення: 28.12.2021).

**Valyuskiy S.V., Furtat O.V., Shushin I.O., Turchyn Ya.V. METHOD OF INCREASING THE CONNECTION OF MANET NETWORKS WITH THE USE OF UAVS**

*The article examines the problem of combining the management of existing UAVs and the deployment of new UAVs so that the number of new deployed UAVs to maintain ground-based UAVs can be minimized. This problem is formulated as the problem of a minimal Steiner tree with existing Steiner mobile points with constraint on the length of the edges of the network graph and we prove NP the completeness of this problem.*

*A method is proposed that includes three approximate algorithms for placing new UAVs taking into account the movement of existing UAVs for the MDS problem with existing Steiner mobile points with limiting the length of the edges of the network graph: algorithms for deploying new UAVs before moving existing UAVs deployment of new UAVs during the relocation of existing UAVs.*

*Two algorithms: deploying new UAVs before moving existing UAVs and moving existing UAVs before deploying new UAVs share the problem and solve the problem of deployment, moving one after another, while the algorithm of deploying new UAVs while moving existing UAVs and solves these two problems simultaneously.*

**Key words:** *unmanned aerial vehicle, mobile episodic radio network, algorithm, topology, location.*

УДК 621.39

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/08>**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

## ТЕРАГЕРЦОВЕ ДЖЕРЕЛО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЛАЗЕРНОЇ ВКР ФОТОНІКИ

У результаті огляду останніх публікацій сформульовано основні проблеми наявних методів отримання високоефективного джерела терагерцового випромінювання, починаючи з твердотільних лазерів і закінчуючи повністю волоконними лазерами, побудованими на ефекті вимушеного комбінаційного розсіювання (ВКР). У роботі запропонована схема реалізації ефективного терагерцового джерела випромінювання тракту формування й передавання сигналів телекомунікаційної системи. Попередні схеми оптичних передавачів на основі напівпровідникових лазерних діодів мають проблеми, що пов'язані зі стабілізацією їх частоти й заданої різниці фаз. Повністю волоконне виконання ВКР-лазерів є безсумнівною перевагою в порівнянні з лазерними діодами, оскільки такий лазер не містить зовнішніх оптичних елементів, має високу ефективність і стабільність генерації при високій якості пучка. Крім того, підвищення частотної стабілізації двох когерентних джерел випромінювання забезпечує спільна лазерна накачка. Запропонований двохвильовий ( $2\lambda$ ) волоконний лазер відрізняється тим, що генерація створюється за рахунок ефекту вимушеного комбінаційного розсіювання. У результаті терагерцове джерело даватиме суттєве зменшення фазових шумів, якого варто очікувати за рахунок генерації обох лазерів від спільного джерела помпування. Показано, що оптимальним вибором активного волокна можна зменшити порогову потужність накачки в десятки або навіть сотні разів (наприклад, завдяки застосуванню КР волокна, легованого 20%  $\text{GeO}_2$  у серцевині замість «чистого» кварцового волокна  $\text{SiO}_2$ ), а це, у свою чергу, дасть змогу значно зменшити масо-габаритні характеристики двохвильового ВКР-лазера шляхом оптимізації його конструкції. Визначено параметри лазерних резонаторів і коефіцієнтів підсилення двохвильового ВКР-лазера для трьох смуг прозорості в актуальному для застосування сучасних телекомунікаційних систем терагерцовому діапазоні. Показано, що запропонований спосіб реалізації джерела випромінювання дає змогу суттєво спростити його схематичне рішення в порівнянні з аналогічними конструкціями.

**Ключові слова:** вимушене комбінаційне розсіяння, волоконна бреггівська ґратка, волоконний лазер, джерело накачки, лазерний діод.

**Постановка проблеми.** Одним із головних і невирішених на тепер завдань для сучасних телекомунікаційних систем є розробка й реалізація ефективного терагерцового джерела випромінювання тракту формування та передавання сигналів. Сьогодні існує велика кількість підходів до вирішення цього питання, проте компактний пристрій із високою ефективністю й низькою собівартістю, ще й здатний працювати за нормальних умов експлуатації досі ще не створено.

Загальні вимоги до джерел випромінювання для волоконно-оптичних систем зв'язку можна сформулювати так:

довжина хвилі випромінювання джерела повинна співпадати з одним із мінімумів спектральних втрат волоконних світловодів;

конструкція джерела повинна забезпечувати досить високу потужність вихідного випромінювання й ефективно введення його у волоконні світловоди;

джерело повинно мати високу надійність і великий термін служби;

габаритні розміри, маса та споживана потужність повинні бути мінімальними;

простота технології має забезпечувати невисоку вартість і високу відтворюваність характеристик.

Особливості конкретних систем висувають низку специфічних вимог до характеристик джерел випромінювання. Цілковито жорсткими ці вимоги є у високошвидкісних системах передачі інформації на великі відстані з використанням одномодових волоконних світловодів. Насамперед ідеться про спектральні характеристики випромінювання. Розширення світлових імпульсів в одномодових волокнах унаслідок дисперсії пропорційно ширині спектра випромінювання, швидкість передачі обернено пропорційна їй.

У перспективних волоконно-оптичних системах передачі з когерентним прийомом необхідні джерела не тільки з вузьким спектром, а й із високою довготривалою стабільністю центральної довжини хвилі. Водночас у високошвидкісних системах передачі значні вимоги пред'являються й до динамічних характеристик джерел світла. Найзручніше використовувати джерела, що допускають пряму модуляцію інтенсивності, частоти або фази випромінювання без істотних змін інших параметрів (модового складу тощо), появи самопульсацій тощо.

Таким чином, розробка та схмотехнічна реалізація ефективного джерела випромінювання, яке б задовольняло всім вищезазначеним вимогам, є поки що невирішеним у повному обсязі завданням.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Перший волоконний ВКР-лазер, у якому резонатор утворений об'ємними дзеркалами, продемонстрований Столеном та ін. [1] у 1972 р. невдовзі після появи скляних волоконних світловодів з низькими оптичними втратами.

У ранніх роботах щодо волоконних ВКР-лазерів як джерела накачки використовувалися твердотільні лазери, або лазери на барвниках, а резонатор утворювався об'ємними елементами [2].

На початку 90-х років ситуація кардинально змінилася у зв'язку з появою та розвитком досить потужних ітербієвих і неодимових волоконних лазерів на германосилікатному волокні [3–5], а також техніки запису волоконних фотоіндукованих брегівських ґраток [6]. Це дало змогу перейти до створення компактних, повністю волоконних пристроїв, перспективних для практичного використання (рис. 1) [7].

Тільки до середини 90-х років завдяки бурхливому розвитку волоконної оптики та волоконно-оптичного зв'язку розроблені повністю волоконні ефективні ВКР-лазери [8], у яких дзеркалами резонатора слугували внутрішньоволоконні брегівські ґратки показника заломлення, а як активне

середовище використовувався германосилікатний волоконний світловод. Хоча такий ВКР-лазер мав високу ефективність, проте його суттєвим недоліком була мала величина стоксового зсуву ( $\sim 430 \text{ см}^{-1}$ ), яка потребувала генерації стоксових компонентів високого порядку для отримання випромінювання в області 1,4–1,5 мкм. Для цього потребувалося записати у волоконному світловоді 5–6 пар брегівських ґраток, що сильно ускладнювало конструкцію лазера. Тому подальші дослідження були спрямовані на пошук скляних волоконних світловодів із більшим стоксовим зсувом. Виявилося, що фосфоросилікатний світловод має дві смуги комбінаційного розсіювання зі стоксовими зсувами 490 й  $1330 \text{ см}^{-1}$  [9]. Використання стоксового зсуву  $1330 \text{ см}^{-1}$  дало змогу сильно спростити конструкцію волоконного ВКР-лазера й створити сімейство ВКР-лазерів, які генерують випромінювання практично на будь-якій довжині хвилі в спектральній області 1,1–1,65 мкм [5].

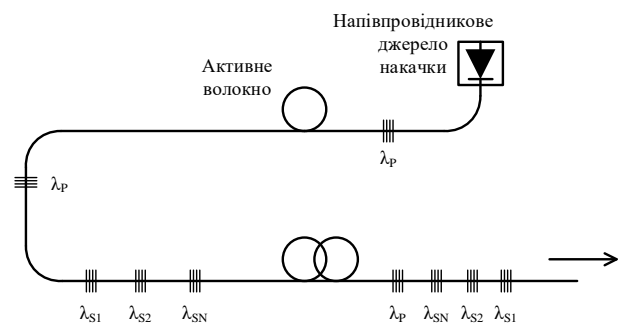


Рис. 1. Узагальнена схема багатоступінчастого ВКР-лазера

На рисунку 2 [10] наведено схему трьохкаскадного волоконного ВКР-лазера, у якому для генерації випромінювання з  $\lambda = 1407 \text{ нм}$  використовувався фосфоросилікатний світловод [11].

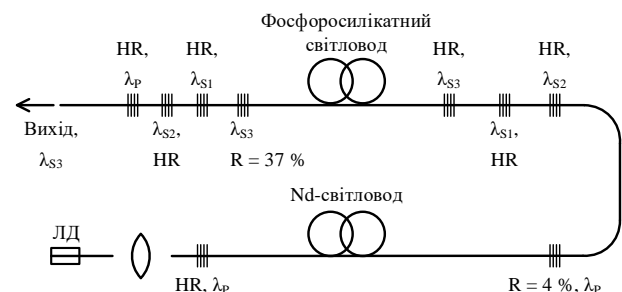


Рис. 2. Схема ВКР-лазера на фосфоросилікатному світловоді на довжину хвилі 1407 нм:  
**HR** – високовідбиваюча брегівська ґратка,  
**R** – коефіцієнт відбиття

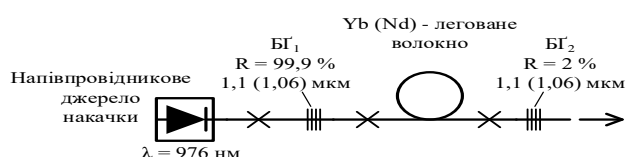
У сучасних телекомунікаційних системах уже досить тривалий час волоконні ВКР-лазери зна-



ходять широке застосування як джерела накачки ВКР та ербієвих підсилювачів [12].

ВКР волоконні джерела, які випромінюють на двох і більше довжинах хвиль, запропоновані для розширення спектра підсилення ВКР волоконних підсилювачів і покращення їх шумових характеристик [13]. Як правило, у таких пристроях як активне середовище використовується спеціалізоване волокно, а генерація на декількох довжинах хвиль досягається встановленням відповідного числа пар волоконних бреггівських ґраток (ВБГ), які утворюють резонатори волоконного лазера.

Експериментальні дослідження показали, що накачку волоконних КР генераторів можна здійснювати від напівпровідникових лазерних діодів (далі – ЛД). Сполучення лазерної накачки від діодів з волоконним КР генератором дає можливість створити компактний, ефективний і недорогий лазер для ближньої інфрачервоної області, зокрема, для помпування ВКР-підсилювачів (ВКРП). Проте насамперед потрібно було вирішити проблеми ефективного вводу потужного випромінювання лазерного діода в серцевину одномодового волокна з одночасним забезпеченням променевої стійкості активного волокна до помпування. Цю проблему вирішено з розробкою волокон із подвійним покриттям (ВПП) і серцевиною, легованою іонами  $\text{Nd}^{3+}$  ( $\text{Yb}^{3+}$ ), та оптимальною структурою для накачування від лазерних діодів. Зокрема, у роботі [14] запропоновано структуру активного волокна з подвійною оболонкою для вдосконалення накачки волоконних КР генераторів світла напівпровідниковими ЛД. На рис. 4 [15] зображено типову схему лазера на волоконі з подвійним покриттям (ВПП) із внутрішньою серцевиною, легованою іонами  $\text{Yb}^{3+}$  ( $\text{Nd}^{3+}$ ).



**Рис. 3. Типова схема лазера на волоконі з подвійним покриттям і внутрішньою серцевиною, легованою іонами  $\text{Yb}^{3+}$  ( $\text{Nd}^{3+}$ ). Резонатор утворений двома бреггівськими ґратками  $\text{БГ}_1$  та  $\text{БГ}_2$ , а помпування – від лінійки потужних напівпровідникових лазерних діодів**

Таким чином, напівпровідникові ЛД, що розроблені для діапазону 1420–1510 нм, за своїми основними параметрами, зокрема за рівнем вихідної потужності та якістю спектра випромінювання, стали цілком придатними для широкого застосування для накачування ВКРП, але останнім

часом дуже серйозну конкуренцію їм створили волоконні лазери, оскільки застосування окремих оптичних передавачів на основі напівпровідникових ЛД викликає низку проблем, що пов'язані зі стабілізацією їх частоти та заданої різниці фаз. Повністю волоконне виконання ВКР лазерів є безсумнівною перевагою в порівнянні з лазерними діодами. Водночас у сучасних джерелах помпування ВКРП застосовуються високоефективні та компактні напівпровідникові лазерні діоди з розподіленим зворотним зв'язком і волоконні ВКР лазери з параметрами, що задовольняють досить жорстким вимогам до пристроїв нелінійної оптики. Для розширення робочої смуги ВКР підсилення застосовується помпування на кількох довжинах хвиль, а для оптимального вибору частотного положення окремих джерел накачки та розподілу їх за потужностями необхідно застосовувати спеціальні методи розрахунку.

Однією з перших робіт з отримання двохвильового випромінювання у волоконному лазері була робота [16], у якій використовувалися дві волоконні бреггівські ґратки, налаштовані на дві близькі довжини хвилі (1534 нм і 1536 нм, відповідно), а як джерело випромінювання було обрано кільцевий ербієвий лазер.

Поряд із використанням стандартних бреггівських волоконних ґраток як оптичних фільтрів у волоконних лазерах для виділення необхідних ділянок спектра вихідного випромінювання застосовується низка інших методів. Серед них можна відзначити волоконні бреггівські ґратки з фазовим зсувом [17], інверсійний аподизований волоконний фільтр Гауса [18] і чирпований волоконний бреггівський фільтр [19]. Переваги таких методів описані, зокрема, у роботі [17], у якій продемонстрована схема на основі двох каскадних волоконних бреггівських ґраток із фазовим зсувом, котрі формували волоконний лазер із розподіленим зворотним зв'язком.

Доповненням до вузькосмугових фільтрів для генерації двохвильового випромінювання виступають гребінчасті фільтри. Одним із найкращих прикладів є двопрхідний фільтр Маха-Цендера, застосування якого продемонстровано в роботі [20]. Фільтр убудовувався в кільцевий волоконний лазер, активна область якого легована іонами ербію. Оптичний спектр системи мав можливість перебудови в межах 1530–1567,5 нм.

Порівняно нещодавно був запропонований новий підхід, спрямований на отримання двохвильового випромінювання у волоконному лазері [21]. Авторами запропоновано використати

вужкосмуговий режекторний фільтр, що є мікро-волоконним кільцевим резонатором. Мікро-волоконно виступало як гребінчастий фільтр. Випромінювання, що генерується, на різницевій частоті в мікрохвильовому діапазоні мало співвідношення «сигнал/шум» у 35 дБ. Подібні результати також отримані з використанням мікрохвильових відгалужувачів [22].

Більш простий підхід запропонований у роботі [23]. У цій праці рознесення довжин хвиль плавно регулювалося шляхом механічного переміщення, яке стискало або розтягувало бреггівське дзеркало, змінюючи тим самим резонансну довжину хвилі.

У роботі [24] чисельно досліджується можливість генерації різницевої частоти в планарному хвилеводі, серцевина якого складалася з матеріалу  $\text{LiNbO}_3$  домішкою іонів титану. Авторами відзначено, що при виборі певної структури й параметрів волокна реалізується фазовий синхронізм на всій довжині взаємодії двоххвильового випромінювання. У подібному виді схеми може бути реалізована як безперервна, так й імпульсна генерація різницевої частоти. В аналогічній роботі [24] як нелінійний матеріал для серцевини був обраний  $\text{AlGaAs}$ . У роботі [25] представлена перша експериментальна демонстрація генерації випромінювання різницевої частоти у двомірному фотонно-кристалічному волокні із серцевиною на основі GaP.

Коротко розглянемо роботи, які вже мають фактично готові схемотехнічні реалізації.

Відома робота [26], у якій запропонована схема монохроматичного ТГц джерела, яке перебудовується, заснованого на генерації різницевої частоти в нелінійно-оптичному кристалі DAST. Двох-

вильовий оптичний параметричний генератор із двома кристалами КТР побудований як джерело світла для генерації різницевої частоти, де ефект синього кольору вперше спостерігався за допомогою двоххвильової накачки (рис. 4).

Недоліком запропонованої схеми є відносна складність її реалізації й імпульсний режим роботи пристрою.

Для усунення вищезазначених недоліків запропонований пристрій генерації випромінювання в терагерцовому діапазоні [27], який реалізує такий спосіб формування терагерцового випромінювання, коли два зустрічно направлених лазери, які генерують хвилі в оптичному діапазоні, взаємодіють в активному елементі (лазерні джерела накачки й сигнальної хвилі з різними частотами генерації) зі сформованою на його поверхні бреггівською ґраткою, яка забезпечує фазовий синхронізм (рис. 6).

Принцип роботи пристрою заснований на зустрічній взаємодії колінеарно спрямованих хвиль оптичного діапазону: накачки й сигнальної хвилі [28]. Зустрічна взаємодія сигнальної хвилі та хвилі накачки всередині активного елемента генерують хвилю з різницевою частотою в терагерцовому діапазоні. Напрямок випромінювання терагерцової хвилі співпадає з напрямком хвилі накачки. Недоліком реалізації вищезазначеного способу формування терагерцового випромінювання є поява фазових шумів на виході пристрою генерації вужкосмугового генератора терагерцового випромінювання.

**Постановка завдання.** У сучасних телекомунікаційних системах терагерцового діапазону, які описані в літературі (див., зокрема, [29]), у тракці

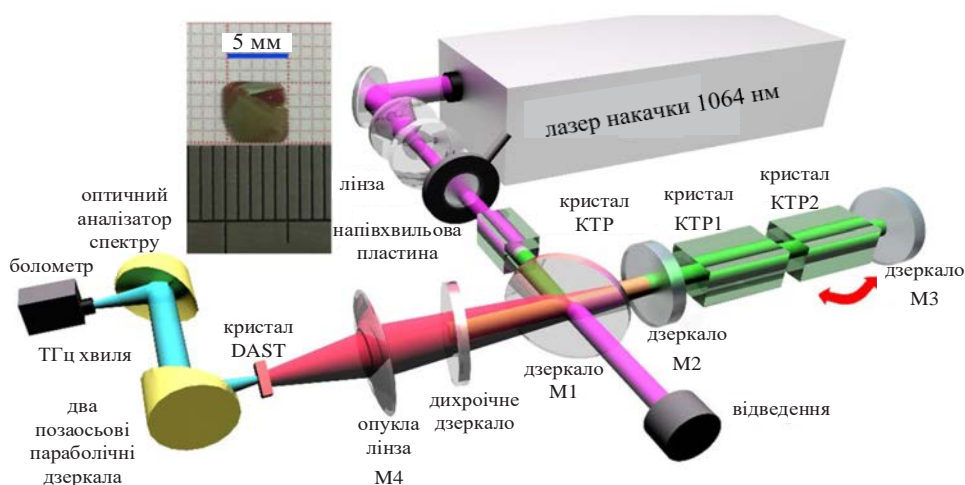


Рис. 4. Схема монохроматичного ТГц джерела, яке перебудовується, заснованого на генерації різницевої частоти в кристалі DAST

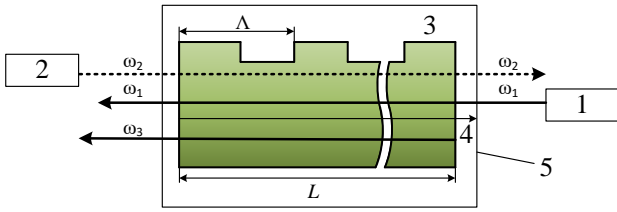


Рис. 5. Вузкосмуговий генератор терагерцового випромінювання на основі кристалу ZnTe

Пристрій включає в себе:

- 1 – твердотільний (або волоконний) лазер № 1 (джерело накачки);
  - 2 – твердотільний (або волоконний) лазер № 2 (джерело сигнальної хвилі);
  - 3 – кристал телуриду цинку з брегівською ґраткою на поверхні нелінійного кристалу;
  - 4 – оптичну вісь;
  - 5 – термостат, який забезпечує підтримку необхідної температури;
- $\omega_1$  – частота хвилі накачки, яка генерується лазером № 1;  
 $\omega_2$  – частота хвилі накачки, яка генерується лазером № 2;  
 $\omega_3$  – частота терагерцової хвилі, яка генерується.

формування та передавання сигналів застосовуються два незалежні, як правило, напівпровідникові лазери (рис. 6).

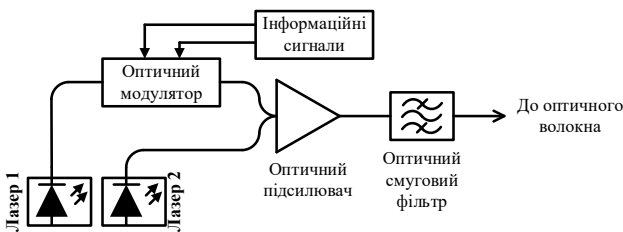


Рис. 6. Узагальнена схема оптичного передавача ВКР-лазера з 2-ма незалежними лазерами

У схемі (рис. 6) в оптичному модуляторі накачка лазера 1 модулюється інформаційними сигналами за допомогою амплітудної модуляції. Лазер 2 зі зміненою частотою генерації використовується як гетеродин. За допомогою змішувача, побудованого на оптичному підсилювачі, виділяється різницева частота обох лазерів і формується терагерцова несуча частота, модульована корисним сигналом. Саме цей сигнал у терагерцовому діапазоні використовується для бездротової передачі до пристрою користувача шляхом випромінювання у вільному просторі [30].

Основним недоліком елементів такої системи є некогерентність сигналів у випадку двох незалежних лазерів, що призводить до появи в змішувачі значних фазових шумів. Цей додатковий шум, що заважає прийому корисного сигналу, може

набувати принципового значення, особливо після великих втрат в атмосфері.

Отже, перше завдання полягало в реалізації терагерцового джерела випромінювання на базі двоххвильового лазера, у якому за рахунок створення двох довжин хвиль єдиним лазером забезпечиться зменшення рівня фазових шумів одночасно із забезпеченням широкої смуги пропускання. Також нашим завданням дослідження можливості реалізації зазначеного терагерцового джерела випромінювання за допомогою пристрою спрощеної конструкції в порівнянні з аналогами.

**Основний матеріал дослідження.** Основою вибору 2λ ВКР-лазера є тип волокна, яке використовується як активне середовище. Саме властивості цього середовища й визначають параметри такого лазера. У роботах [31–33] детально розглянуті та досліджені наявні типи волокон, які використовуються у 2λ ВКР-лазерах.

Ураховуючи все вищевикладене, ми запропонували нове джерело випромінювання тракту формування й передавання сигналів телекомунікаційної системи терагерцового діапазону [34], у якому два окремі лазери замінені на один 2λ волоконний лазер (рис. 7).

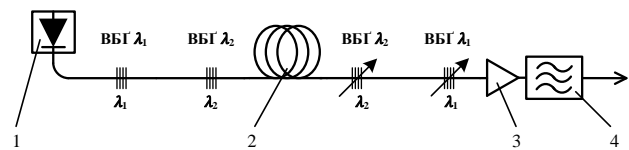


Рис. 7. Схема формування терагерцового випромінювання на базі двоххвильового ВКР-лазера

Для схемотехнічної реалізації ВКР-лазера [35] обрано такі початкові дані:

- лазерний діод накачки 1 генерує на частоті, яка відповідає  $\lambda_p = 1450$  нм. Потужність накачки не більше 100 мВт;
- активне середовище 2 – волокно, леговане 20% GeO<sub>2</sub> у серцевині, яке використовує явище комбінаційного розсіювання (КР). Довжина КР волокна обраного типу становить 0,1 км ... 10 км;
- змішувач 3 – фотодіод або фотоміксер;
- фільтр 4 – смуговий фільтр.

Вхідна й вихідна брегівські ґратки, які позначено ВБГ<sub>λ<sub>1</sub></sub>, формують область першого резонатора. Відповідно, вхідна й вихідна брегівські ґратки, які позначено ВБГ<sub>λ<sub>2</sub></sub>, формують область другого резонатора. Періоди кожної з пар ВБГ, що використовуються як дзеркала з власними коефіцієнтами відбиття  $R_1$  та  $R_2$ , відповідають довжинам хвиль  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  відповідно. Кожна пара ВБГ,

безпосередньо нанесена на активне середовище 2, фактично формує лазерний резонатор. Монолітне виконання ВБГ суттєво покращує якість лазерних резонаторів і стабільність їх характеристик.

Результати моделювання ВБГ однозначно вказують на можливість реалізації двохвильового ВКР лазера для використання як джерела випромінювання в терагерцових телекомунікаційних системах.

Регулювання порогу генерації та вихідної потужності запропонованих лазерів можна здійснювати зміною коефіцієнтів відбиття вихідних брегівських ґраток.

Новим у запропонованому способі реалізації джерела випромінювання є те, що використовується єдине (спільне) джерело лазерної накачки для обох вихідних довжин хвиль замість двох окремих лазерів. Терагерцове випромінювання є результатом виділення різницевої частоти від обох лазерних довжин хвиль, генерацію яких здійснюють безінверсним фотонним методом, базуючись на ефекті ВКР, від спільного лазерного джерела накачки, потужність випромінювання якого перевищує поріг нелінійно-оптичного ВКР підсилення на кожній із обох заданих довжин хвиль в області стоксового зсуву в одномодовому волокні. Крім того, використання такого джерела дає змогу як лазер використовувати не напівпровідниковий лазерний діод, а будь-який інший лазер, потужність випромінювання якого перевищує поріг нелінійно-оптичного підсилення ВКР на кожній із обох заданих довжин хвиль в області стоксового зсуву. Також у такій реалізації як активне середовище волоконного двохвильового ВКР лазера може використовуватися будь-який тип волокна, генерація в якому отримується за рахунок ефекту ВКР світла.

За допомогою моделювання ВБГ у  $\text{GeO}_2$  активному ВКР волокні однозначно вказано на можливість реалізації двохвильового ВКР-лазера, побудованого на одному волоконному лазері. Крім того, нами розраховані його відповідні параметри (таблиця 1).

**Висновки.** В роботі представлена схема  $2\lambda$ ВКР-лазера, в якій як активне середовище за певних обставин (у випадку, коли генерація в волокні отримується за рахунок ефекту ВКР світла) можливе використання будь-яких типів волокон у терагерцовому діапазоні від 0 до 10 ТГц, а також вибрано оптимальний, за думкою авторів, тип активного волокна (леговане 20%  $\text{GeO}_2$  у серцевині). Проведені розрахунки параметрів лазерних резонаторів і коефіцієнтів підсилення лазера для трьох смуг прозорості в терагерцовому діапазоні однозначно підтверджують можливість практичної реалізації двохвильового ВКР-лазера для використання як джерела випромінювання в терагерцових телекомунікаційних системах.

Таким чином, запропонована реалізація джерела випромінювання за вказаного схематичного рішення дасть змогу покращити якість корисного сигналу шляхом зменшення рівня фазових шумів, зменшити порогову потужність накачки в десятки або навіть сотні разів (із 40 Вт чи більше в чистому  $\text{SiO}_2$  до 100 мВт у КР волокні, легovanому 20%  $\text{GeO}_2$  у серцевині), а це, у свою чергу, дасть змогу значно зменшити масо-габаритні характеристики двохвильового ВКР лазера шляхом оптимізації його конструкції. Крім того, проведені розрахунки дають можливість кількісно оцінити перспективи вдосконалення запропонованих лазерів, зокрема зменшення довжини КР волокна до величин  $L < 0,5$  км.

Таблиця 1

**Параметри лазерних резонаторів і коефіцієнтів підсилення двохвильового ВКР лазера для трьох смуг прозорості в терагерцовому діапазоні**

№	Параметр	Смуга 1 ( $f_{\text{центр}} = 0,48$ ТГц)		Смуга 2 ( $f_{\text{центр}} = 0,64$ ТГц)		Смуга 3 ( $f_{\text{центр}} = 0,84$ ТГц)	
		перший резонатор	другий резонатор	перший резонатор	другий резонатор	перший резонатор	другий резонатор
1	Довжина хвилі, мкм	1,5483	1,5517	1,5476	1,5524	1,5466	1,5534
2	Поріг підсилення, мВт	18,2	18,8	18,1	18,9	18,1	19,2
3	Коефіцієнт підсилення <sup>а</sup> , дБ/км км <sup>-1</sup>	2,25 0,518	2,16 0,498	2,26 0,520	2,14 0,493	2,26 0,521	2,11 0,485
4	Довжина волокна, км	1	1	0,5	0,5	1,5	1,5
5	Коефіцієнт відбиття ВБГ $R_2^b$ , %	60	60	80	80	20	20
6	Порогова потужність генерації, Вт	0,072	0,072	0,075	0,075	0,123	0,123

<sup>а</sup> підсилення одиниці довжини активного волокна між  $\text{ВБГ}_1$  та  $\text{ВБГ}_2$  при  $P_p = 100$  мВт;

<sup>б</sup> уважається  $R_1 = 95\%$ .

## Список літератури:

1. Stolen R.H., Ippen E.P., Tynes A.R. Raman Oscillation in glass Optical Waveguide. *Applied Physics Letters*. 1972. Vol. 20. № 2. P. 62–64.
2. A tunable 1.1- $\mu\text{m}$  fiber Raman oscillator / Chinlon Lin, R.H. Stolen, L.G. Cohen. *Applied Physics Letters*. 1977. Vol. 31. № 2. P. 97–99.
3. 1.3  $\mu\text{m}$  Cascaded Raman Amplifier in Germanosilicate Fibers / S.G. Grubb, T. Erdogan, V. Mizrahi, T. Strasser, W.Y. Cheung, W.A. Reed, P.J. Lemaire, A.E. Miller, S.G. Kosinski, G. Nykolak, P.C. Becker and D.W. Peckham. *Optical Amplifiers and Their Applications*. 1994. Vol. 14 of 1994 OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, 1994), paper PD3.
4. Волоконно-оптичний ВКР-усилитель сигналів на довжині хвилі 1.3 мкм / Е.М. Дианов, Д.Г. Фурса, А.А. Абрамов, М.И. Беловолов, М.М. Бубнов, А.В. Шипулін, А.М. Прохоров, Г.Г. Дев'яток, А.Н. Гурьянов, В.Ф. Хопін. *Квантова електроніка*. 1994. № 21:9. С. 807–809.
5. Medium-power CW Raman fiber lasers / E.M. Dianov, A.M. Prokhorov. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. 2000. Vol. 6. P. 1022–1028.
6. Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication / K.O. Hill, Y. Fujii, D.C. Johnson, B.S. Kawasaki. *Applied Physics Letters*. 1978. Vol. 32. № 10. P. 647–649.
7. Курков А.С. Волоконні лазери на ефекті вимушеного комбінаційного розсіяння. *Вісник Нижгородського університету ім. Н.И. Лобачевського*. 2008. № 2. С. 32–38.
8. High-Power 1.48  $\mu\text{m}$  Cascaded Raman Laser in Germanosilicate Fibers / S.G. Grubb, T. Strasser, W.Y. Cheung, W.A. Reed, V. Mizrahi, T. Erdogan, P.J. Lemaire, A.M. Vengsarkar, D.J. DiGiovanni, D.W. Peckham and B.H. Rockney. *Optical Amplifiers and Their Applications*. 1995. Vol. 18. OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, 1995), paper SaA4.
9. Dianov E.M. Grekov M.V. et al. CW high power 1.24  $\mu\text{m}$  and 1.48  $\mu\text{m}$  Raman lasers based on low loss phosphosilicate fibre. *Electronics Letters*. 1997. Vol. 33. № 18. P. 1542–1544.
10. Дианов Е.М. Волоконні лазери. *Успехи фізических наук*. 2004. Т. 174. № 10. С. 1139–1142.
11. Three-cascaded 1407-nm Raman laser based on phosphorus-doped silica fiber / E.M. Dianov, I.A. Bufetov, M.M. Bubnov, M.V. Grekov, S.A. Vasiliev and O.I. Medvedkov. *Optics Letters*. 2000. Vol. 25. № 18. P. 402–404.
12. Волоконні ВКР лазери та підсилювачі оптичного випромінювання : монографія / В.І. Григорук, В. Загородній, А.В. Іванчук та ін. Київ : Каравела, 2018. 382с. С. 62–128.
13. Six wavelength Raman fiber laser for C- and L-band Raman amplification and dynamic gain flattening / M.D. Mermelstein, C. Horn, S. Radic, C. Headley. *Electronics Letters*. 2002. Vol. 38. № 13. P. 636–638.
14. Doubly clad high brightness Nd fiber laser pumped by Ga Al As phased array / H. Po, E. Snitzer, L. Tumminelli, F. Hakimi, N. M. Chu and T. Haw. *Optical Fiber Communicatiions Conf.* Houston, TX, 1989.
15. Коротков П.А., Фелінський Г.С. ВКР підсилення світла в одномодових кварцових волокнах. *Український фізичний журнал. Огляди*. 2009. Т. 6. № 2. С. 103–168.
16. Moon D.S., Chung Y. Switchable dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser assisted with four-wave mixing of dispersion-shifted fiber. *Optics Communications*. 2013. Vol. 286. P. 239–243.
17. High-frequency microwave signal generation using dual-wavelength emission of cascaded DFB fiber lasers with wavelength spacing tunability / G.E. Villanueva, J. Palaci, J.L. Cruz et al. *Optics Communications*. 2010. Vol. 283. P. 5165–5168.
18. Dual-wavelength fiber laser using an inverse-Gaussian apodized fiber Bragg grating for tunable microwave generation / B. Lin, S.C. Tjin, M. Jiang, P.P. Shum, Yan He and Yao Ge. *Proc. 16th Opto-Electronics and Communications Conference*. Taiwan, 2011. P. 196–197.
19. Photonic generation of microwave signal using a dual-wavelength erbium-doped fiber ring laser with CMFBG filter and saturable absorber / S. Feng, S. Lu, W. Peng and Qi Li. *Optics Laser Technology*. 2013. Vol. 45. P. 32–36.
20. A Tunable and Switchable Single-longitudinal-mode Dual-wavelength Fiber Laser for Microwave Generation / F. Koyama, S. Chuang, G. Duan, and Y. Huang, eds.. *Optoelectronic Materials and Devices V*. 2010. Vol. 7987. P. 728–729.
21. A microwave photonic notch filter using a microfiber ring resonator / Z. Yu, Z. Xin-Liang, X. En-Ming, H. De-Xiu and C. Guo-Jie. *Chinese Physics Letters*. 2010. Vol. 27. P. 74207–074207.
22. Compact Dual-Wavelength Laser Generation Using Highly Concentrated Erbium-Doped Fiber Loop Attached to Microfiber Coupler / A. Sulaiman, S.W. Harun, M.Z. Muhammad and H. Ahmad. *IEEE Journal of Quantum Electronics*. 2013. Vol. 49. № 7. P. 586–588.
23. Widely tunable dual-wavelength  $\text{Er}^{3+}$ -doped fiber laser for tunable continuouswave terahertz radiation / Min Yong Jeon, Namje Kim, Jaeheon Shin, Jong Sool Jeong, Sang-Pil Han, Chul Wook Lee, Young Ahn Leem, Dae-Su Yee, Hyang Sook Chun, and Kyung Hyun Park. *Optics Express*. 2010. Vol. 18. № 12. P. 12291–12297.
24. Design of a Photonic Crystal Waveguide for Terahertz-Wave Difference-Frequency Generation / T. Chen, J. Sun, L. Li, J. Tang and Y. Zhou. *IEEE Photonics Technology Letters*. 2012. Vol. 24. № 11. P. 921–923.

25. Saito K., Tanabe T., Oyama Y. THz-Wave Generation from GaP THz Photonic Crystal Waveguides under Difference-Frequency Mixing. *Optics and Photonics Journal*. 2012. Vol. 2. P. 201–205.
26. High-energy and ultra-wideband tunable terahertz source with DAST crystal via difference frequency generation / H. Yixin, Y. Wang, Xu De-Gang, M. Nie, C. Yan, L. Tang, J. Shi, J. Feng, D. Yan, H. Liu, B. Teng, H. Feng, J. Yao. *Applied Physics B*. 2017. № 124.
27. Корисна модель RU 187 069 U1 від 18.02.2019 / И.С. Паняев, Д.Г. Санніков, Ю.С. Дадоєнкова, І.О. Золотовський.
28. Ярив А. Квантовая электроника / пер. с англ. ; под ред. Я.И. Ханина. 2-е изд. Москва : Сов. радио, 1980. Пер. изд. : Yariv A. Quantum electronics. США, 1975. 488 с., ил.
29. Fiber Bragg Grating Cavities in Two-Wave Raman Laser for Terahertz Telecommunication Application / M.I. Reznikov, G.S. Felinskyi, A.V. Korchak and I.V. Tarashchuk. *Conference proceedings of the 2019 IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO)* / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. April 16–18, 2019. Kyiv, 2019.
30. TeraHertz Photonics for Wireless Communications / A.J. Seeds, Haymen Shams, Martyn J. Fice and Cyril Renaud. *Journal of Lightwave Technology*. 2014. Vol. 33. № 3. P. 1–1.
31. A method to predict the Raman gain spectra of germanosilicate fibers with arbitrary index profiles / J. Bromage, K. Rottwitt and M.E. Lines. *IEEE Photonics Technology Letters*. 2002. Vol. 14. № 1. P. 24–26.
32. Dianov E.M. Advances in Raman fibers. *Journal of Lightwave Technology*. 2002. Vol. 20. № 8. P. 1457–1462.
33. Сердега І.В., Григоруку В.І., Фелінський Г.С. Спектроскопічні особливості профілів ВКР підсилення в одномодових волокнах на основі кварцового скла. *Український фізичний журнал*. 2018. Т. 63. № 8. С. 681–699.
34. Корисна модель UA 148586 U від 25.08.2021 / В.І. Григоруку, О.В. Корчак, М.І. Резніков, Г.С. Фелінський.
35. Суцільно-волоконний двохчастотний ВКР лазер для телекомунікаційних систем терагерцового діапазону / В.А. Дружинін, О.В. Корчак, М.І. Резніков та Г.С. Фелінський. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»*. Серія «Радіотехніка. Радіоапаратобудування». 2020. № 80. С. 63–72.

#### **Korchak O.V., Krutin Y.V., Reznikov M.I., Felinskyi G.S. TERAHERTZ RADIATION SOURCE BASED ON LASER SRS PHOTONICS**

*As a result of the review of publications, the main problems of existing methods of obtaining a highly efficient source of terahertz radiation, ranging from solid-state lasers to all-fiber lasers based on the effect of stimulated Raman scattering (SRS), are formulated. The paper proposes a scheme for implementing an effective terahertz radiation source of the signal formation and transmission path of the telecommunications system. Preliminary optical transmitter circuits based on semiconductor laser diodes have problems related to frequency stabilization and a given phase difference. The all-fiber design of fiber Raman lasers is an undeniable advantage over laser diodes, since such a laser contains no external optical elements, has high efficiency and stability of generation with high beam quality. In addition, increased frequency stabilization of two coherent radiation sources is provided by a common laser pump. The proposed two-wavelength ( $2\lambda$ ) fiber laser is characterized by the fact that the generation is created by the effect of stimulated Raman scattering. As a result, the terahertz source will give a significant reduction in phase noise, which should be expected due to the generation of both lasers from a common pump source. It is shown that an optimal choice of active fiber can reduce the threshold pumping power by tens or even hundreds of times (for example, through the use of Raman scattering fiber doped with 20%  $\text{GeO}_2$  in the core instead of pure silica fiber  $\text{SiO}_2$ ), and this, in turn, will significantly reduce the mass and size characteristics of the two-wave fiber Raman laser by optimizing its design. The parameters of laser resonators and amplification factors of a two-wave fiber Raman laser for three bands of transparency in the terahertz range relevant for the application of modern telecommunications systems were determined. It is shown that the proposed method of implementation of the radiation source allows to simplify its circuit design in comparison with similar designs.*

**Key words:** *stimulated Raman scattering, fiber Bragg grating, fiber laser, pump source, laser diode.*

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.043

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/09>

Абгарян Ю.С.  
SoftServe

## REMOTE DICTIONARY SERVER ЯК ОДНА ІЗ ГОЛОВНИХ СТРУКТУР МЕРЕЖЕВОГО СХОВИЩА ДАНИХ

У статті проведено дослідження Remote Dictionary Server як однієї з головних структур мережевого сховища даних. Зазначено, що Redis – це швидке сховище даних типу «ключ-значення» у пам'яті з відкритим вихідним кодом. Наголошено на тому, що Redis забезпечує час відгуку на рівні часток мілісекунди та дозволяє програмам, які працюють у режимі реального часу, виконувати мільйони запитів на секунду. Такі програми потрібні у сферах ігор, рекламних технологій, фінансових сервісів, охорони здоров'я та IoT. Сьогодні Redis – один із найпопулярніших ядер із відкритим вихідним кодом, який протягом п'яти років поспіль називається «найулюбленішою» базою даних від Stack Overflow. Всі дані Redis зберігаються у пам'яті, що забезпечує низьку затримку та високу пропускну здатність доступу до даних. На відміну від традиційних баз даних, сховища даних пам'яті не вимагають переміщення на диск, а це скорочує затримку ядра до мікросекунд. Завдяки цьому сховища даних у пам'яті можуть багаторазово збільшувати кількість операцій, які виконуються, і скорочувати час відгуку. Як результат, забезпечується надзвичайно висока продуктивність. Операції читання та запису у середньому займають менше мілісекунди, швидкість роботи досягає мільйонів операцій на секунду. У роботі наголошується на перевагах використання Remote Dictionary Server, до яких варто віднести: гнучкі структури даних (на відміну від інших сховищ на основі пар «ключ – значення», які підтримують обмежений набір структур даних, Redis підтримує величезну різноманітність структур даних, що дозволяє задовольнити потреби різноманітних програм); простоту та зручність (Redis дозволяє писати найскладніший код із меншою кількістю простих рядків); реплікацію та постійне зберігання (у Redis застосовується архітектура вузлів «провідний підлеглий» і підтримується асинхронна реплікація, за якої дані можуть копіюватися на кілька підлеглих серверів); висока доступність і масштабованість (Redis пропонує архітектуру «провідний підлеглий» із одним провідним вузлом або із кластерною топологією); всі інструменти з відкритим вихідним кодом.

**Ключові слова:** сховище даних, мережа, сервер, база даних, Remote Dictionary Server, структура, інформація.

**Вступ і постановка завдання.** Останнім часом обробка даних у пам'яті стає дедалі більш цінною, оскільки важливо досліджувати величезну кількість інформації за короткий час. Робота з великим обсягом даних завжди є проблемою розробки та щоденного обслуговування. Якщо для зберігання такої величезної кількості даних використовується SQL, неможливо обробити непередбачувану та неструктуровану інформацію, але мережа потребує бази даних, орієнтованої на випадки, яка буде дуже гнучкою та працюватиме на схемі з меншою моделлю даних, тому SQL не може бути пристосований для цієї роботи. NoSQL має здатність підтримувати великий обсяг операцій

читання-запису та зберігати загальні об'єкти, такі як JSON, сприяє узгодженості даних у розподіленій системі. Це показує, що база даних NoSQL є чудовим вибором для обробки великих і неструктурованих даних. Враховуючи кількість даних, схему доступу до даних і характеристики сучасних мереж, NoSQL має свої неодмінні переваги. Насправді NoSQL вже широко використовується у сучасних веб-додатках і корпоративних рішеннях для розробки програмного забезпечення. Останнім часом обробка даних у пам'яті стає дедалі більш цінною, оскільки важливо досліджувати величезну кількість інформації за короткий проміжок часу. NoSQL має багато переваг, включаючи

простоту дизайну, масштабованість моделі даних, контроль паралельності, узгодженість у сховищі тощо. REmote DIctionary Server (Redis) – це сховище структури даних у пам'яті, віддалена база даних, яка пропонує високу продуктивність, володіє гнучким і відкритим вихідним кодом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Формуючи уявлення про REmote DIctionary Server, варто відзначити наукові праці таких сучасних вчених, як: Г.Г. Жолткевич [1], котра у своїй дисертаційній роботі вирішила актуальну науково-практичну задачу розробки загального методу прийняття рішень, на який можливо спиратися у побудові мережі для розподіленого сховища даних (РСД) з метою запобігання певних ризиків некоректної поведінки систем при розподілених обчисленнях, обробці запитів у розподіленому середовищі. Це дозволяє уникати у процесі проектування постійного врахування ліміту запитів, доступної кількості кластерів і їх розташування, а натомість мати конкретні критерії для формування сховища за умов різноманітних потреб конкретних розподілених систем із урахуванням обмежень, встановлених CAP-теоремою.

М. Колонко [2] створив методи автоматизації розробки логічних моделей баз даних на основі концептуальних субмоделей із багатоваріантною персистентністю. Автором удосконалено мову концептуального моделювання AGILA MOD+ за рахунок за рахунок удосконаленої структури концептуальної моделі даних і методів створення моделей даних на концептуальному рівні, що дозволило враховувати багатоваріантну персистентність і скоротити час проектування баз даних інформаційних систем.

У роботі [3] А.В. Ісаков, В.Ю. Ліміна, О.В. Романюк розглянули основні типи нереляційних баз даних і конкретні приклади їх використання провідними компаніями. Проведене дослідження довело, що NoSQL (нереляційні) бази даних є потужним інструментом обробки великої кількості слабоструктурованих або неструктурованих даних, для яких на першому місці стоїть швидкість обробки, а не повнота даних. Також викликає інтерес робота [4], де науковцями здійснено порівняльний аналіз реляційних і NoSQL баз даних. С.С. Бучик та А.В. Швед [5] розробили архітектуру системи управління відносинами із клієнтами на прикладі CRM-системи Creatio.

Проте, враховуючи описані наукові набутки, питання обґрунтування механізмів реалізації REmote DIctionary Server як однієї з головних структур мережевого сховища даних залишається відкритим і потребує детального опрацювання.

**Постановка завдання.** Здійснити дослідження REmote DIctionary Server як однієї з головних структур мережевого сховища даних.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Кешування даних у пам'яті може бути однією із найефективніших стратегій для покращення загальної продуктивності програми та зниження витрат на базу даних.

Кешування – це техніка, яка використовується для прискорення часу відповіді програми та допомоги програмам у масштабуванні, розміщуючи часто необхідні дані дуже близько до програми. У сучасних обчислювальних середовищах процеси запускаються на різних рівнях, від низькорівневих процесів, які вбудовані в апаратне забезпечення, до високорівневих абстракцій, таких як кластери [6]. Redis – сервер із відкритим вихідним кодом зі структурою даних у пам'яті, котрий часто використовується як розподілений спільний кеш (на додаток до використання як посередник повідомлень або бази даних), оскільки він забезпечує справжню відсутність стану для процесів додатків, одночасно зменшуючи дублювання даних або запити до зовнішніх джерел даних.

Redis широко використовується у масштабованих програмах, які працюють із великим обсягом даних. У сучасній обробці великих даних перерахування у пам'яті стало популярним, оскільки використовується для збільшення ємності та високої пропускної здатності основної пам'яті. При створенні розподілених програм, які вимагають низької затримки та масштабованості, дискові бази даних можуть викликати низку проблем. Швидкість отримання даних із диска плюс додатний час обробки запиту зазвичай виражає швидкість відповіді запиту у двозначних мілісекундах. Це передбачає, що користувач має постійне навантаження і база даних працює оптимально [7].

Незалежно від того, чи розподіляються дані у базі даних NoSQL на основі диска, чи вертикально збільшуються у реляційній базі даних, масштабування для надзвичайно високих показників читання може бути дорогим.

Також може знадобитися кілька реплік читання бази даних, щоб відповідати тому, що може забезпечити один вузол кешу в пам'яті з погляду запитів за секунду. Хоча реляційні бази даних забезпечують чудовий засіб для моделювання відносин, вони не є оптимальними для доступу до даних [8].

Трапляються випадки, коли програми можуть захотіти отримати доступ до даних у певній структурі або представленні, щоб спростити отримання даних і підвищити продуктивність



програми. Перш ніж запровадити кешування бази даних, багато архітекторів та інженерів витрачають багато зусиль, намагаючись отримати якомога більше продуктивності зі своїх баз даних, однак існує обмеження продуктивності, якої можна досягти за допомогою дискової бази даних і намагатися вирішити проблему за допомогою неправильних інструментів непродуктивно. Наприклад, велика частина затримки запиту до бази даних продиктована фізикою отримання даних із диска. Тільки Redis не може продуктивно працювати у реальному інженерному проекті, але комбінація Redis і SQL, наприклад, MySQL, є перспективним напрямком. Redis є швидким сервером введення-виведення за рахунок своєї функції «кешування». MySQL – популярна реляційна SQL, яка має високу продуктивність і програмну підтримку. Очевидною слабкістю Redis є обмежений обсяг сховища. Пам'ять не є ідеальним рішенням для зберігання великої кількості даних. Найпоширенішим рішенням є те, що MySQL або інша база даних SQL буде функціонувати як основне сховище даних, тим часом Redis може бути призначений для сфер, які потребують більш гнучкої та ефективної продуктивності [9].

Що стосується реального проекту розвитку, то зазвичай лише невелика кількість даних є неструктурованими, оскільки більшість інформації знаходиться у певній структурі. Крім того, хмарні обчислення швидко розвиваються, і локальне сховище буде менш важливим у майбутньому. Можливо, на локальному сервері працюють лише основна програма та дані. Якщо так, то Redis відіграватиме набагато більшу роль у розвитку.

І реляційні, і NoSQL бази даних є базами даних у пам'яті, які надають різні механізми зберігання та пошуку даних.

Відповідно до моделі даних NoSQL, сховища даних згруповані у чотири категорії:

- сховища даних ключ-значення;
- сховища документів;
- сховища сімейства стовпців;
- бази даних графіків [10].

Сховище ключ-значення: дані зберігаються як пари ключ-значення. Ця структура даних також відома як «хеш-таблиця», де дані витягуються за допомогою ключів. Найбільш відомими прикладами сховищ ключів і значень є Redis.

Сховище документів: дані зберігаються у колекціях, які містять пари ключ-значення, котрі інкапсулюють пари значень ключів у JSON (об'єктна нотация Javascript) або документи, подібні до JSON.

Сімейство стовпців: дані зберігаються як набір рядків і стовпців, де стовпці згруповані відповідно до зв'язку даних.

Графічні бази даних є категорією бази даних NoSQL, яка зберігає дані у вигляді графіка. У графових базах даних граф складається із двох речей: вузли діють як сутності чи об'єкти, а ребра діють як зв'язок між сутностями чи об'єктами.

Redis зазвичай відомий як база даних ключ-значення. Redis також має п'ять основних структур даних: Set, Zset, List, Hash, String, які надають йому гнучкість. Порівняно із SQL, навіть з іншими NoSQL, ця група структур даних виділяє Redis. Хоча ця функція може бути особливістю Redis, вона також може бути складною для розробників.

На відміну від MongoDB, Redis добре працює зі швидкістю, його дані зберігаються у пам'яті, тому продуктивність гарантується, проте вартість зберігання є високою та здається нереальним зберігати велику кількість даних в пам'яті. Redis дає нам своє рішення оптимізації, ключ EXPIRE. Після закінчення часу очікування ключ буде автоматично видалено. У термінології Redis часто кажуть, що ключ із асоційованим тайм-аутом є нестабільним. Як описано в офіційному документі Redis [10], Redis може встановити тайм-аут для ключа, і ключ буде видалено через певний час. Робота у пам'яті є однією з найбільших відмінностей порівняно з іншими NoSQL. Відносно менше даних, що зберігаються, і неймовірно висока швидкість гарантують ефективність передачі даних. Користувач може мати досить хороший досвід, використовуючи Redis як серверну частину. Соціальні медіа мають високі вимоги до швидкості доступу, і висока синхронність стає однією із найскладніших проблем для будь-якого веб-сайту сучасних мереж.

Інші NoSQL, такі як MongoDB, мають власні відповідні робочі області, які вдосконалюють функцію реляційної бази даних, як і Redis. Redis чудово кешує та працює з невеликою кількістю даних, однак Redis – це набагато більше, ніж кеш.

Як тільки процес програми використовує зовнішнє джерело даних, його продуктивність може бути вузьким місцем через пропускну здатність і затримку зазначеного джерела даних. Коли використовується повільніше зовнішнє джерело даних, дані, до яких часто звертаються, періодично тимчасово переміщуються у швидше сховище, розташоване ближче до програми, щоб підвищити продуктивність програми. Це швидше проміжне сховище даних називається кешом

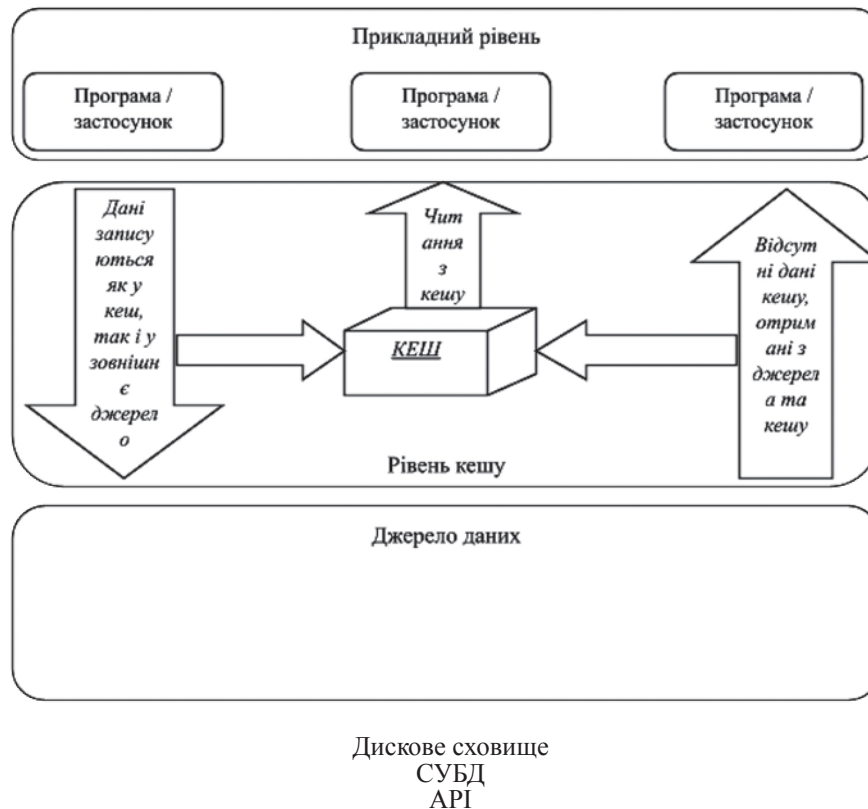


Рис. 1. Схема високорівневої архітектури кешу програми

програми, термін походить від французького дієслова «cacher», що означає «ховати». На рис. 1 показано високорівневу архітектуру кешу програми.

Основна мета кешу – скоротити час, необхідний для доступу до даних, що зберігаються за межами основної пам'яті програми. Крім того, кешування також є надзвичайно потужним інструментом для масштабування зовнішніх джерел даних і пом'якшення впливу на них сплесків використання. Кеш на стороні програми ефективно зменшує всі потреби у ресурсах, необхідні для обслуговування даних із зовнішніх джерел, таким чином звільняючи ці ресурси для інших цілей. Без використання кешу програма взаємодіє із джерелом даних для кожного запиту, тоді як із використанням кешу потрібен лише один запит до зовнішнього джерела даних із наступним доступом до кешу.

Крім того, кеш також сприяє доступності програми. У зовнішніх джерелах даних можуть виникати збої, які призводять до погіршення або припинення обслуговування. Під час таких збоїв кеш-пам'ять все ще може передавати дані додатку і таким чином зберігати свою доступність. Кеш програми призначений для зберігання даних, що потребують додаткової обробки під час виконання. Хоча кожна програма є унікальною і потен-

ційно може зберігати будь-які дані у своєму кеші, програма зазвичай використовує кеш для:

- налаштувань конфігурації. Інформація, потрібна додатку для прийняття рішень щодо завантаження та виконання, часто зберігається у відносно повільному сховищі (наприклад, текстові файли на диску або спільному сховищі конфігурації). Зберігаючи кешовані копії цих налаштувань, програма може отримати доступ до даних із мінімальною затримкою;

- даних локалізації та інтернаціоналізації. Додатки для користувачів часто надають локалізовані варіанти свого інтерфейсу для пристосування міжнародної аудиторії. Дані інтернаціоналізації зазвичай зберігаються поза програмою, тому ними можна керувати окремо. Оскільки ці дані необхідні для обслуговування більшості запитів, їх кешування покращує час відповіді програми;

- шаблонів і частково відтворених відповідей. Багато програм складають свої відповіді, додаючи дані до шаблонів і попередньо підготовленого вмісту (наприклад, фрагменти HTML і фрагменти JSON);

- результатів багаторазового використання обчислювальних функцій. Іноді робочий процес програми вимагає створення ресурсомістких результатів. Як тільки ці результати отримані,

є випадки, коли результати пізніше можуть бути використані повторно, наприклад, для виконання часткових агрегатів. Кеш є ідеальним проміжним середовищем для збереження таких результатів між запитами;

– даних сеансу. Кешування даних сеансу користувача є невід’ємною частиною створення адаптивних додатків, які можуть масштабуватися. Оскільки кожна взаємодія користувача вимагає доступу до даних сеансу, збереження їх у кеші забезпечує найшвидший час відповіді користувачеві програми. Кешування даних сеансу на рівні програми перевершує альтернативні методи. Наприклад, збереження сеансів на рівні балансувальника навантаження практично змушує всі запити у сеансі оброблятися одним сервером додатків, тоді як кешування дозволяє обробляти запити будь-яким сервером додатків без втрати станів користувачів;

– даних СУБД. Більшість традиційних баз даних розроблені для забезпечення надійної функціональності, а не швидкості у масштабі. Кеш програми часто використовується для зберігання копій таблиць пошуку та відповідей на дорогі запити від СУБД як для підвищення продуктивності програми, так і для зменшення навантаження на джерело даних;

– відповідей API. Сучасні програми створюються з використанням слабо пов’язаних компонентів, які взаємодіють через API. Компонент програми використовує API, щоб робити запити на обслуговування від інших компонентів як всередині (наприклад, в архітектурі мікросервісів), так і за межами (наприклад, у разі використання SaaS) самої програми. Коли відповідь API може

бути збережена у кеші, навіть якщо лише на відносно короткий термін, продуктивність програми покращується за рахунок уникнення взаємодії між процесами;

– об’єктів програми. Будь-який об’єкт, який генерує програма і який може бути використаний пізніше, може бути збережений у кеші. Метод кешування об’єктів залежить від програми, але більшість кешів дозволяють зберігати як серіалізовані, так і вихідні дані об’єктів. Типовим прикладом часто кешованого об’єкта програми є профіль користувача, що складається з даних із кількох джерел.

**Висновки.** У роботі проведено дослідження REmote DIctionary Server як однієї з головних структур мережевого сховища даних, вона використовує систему зберігання даних у пам’яті «ключ-значення» Redis, яка працює з великими даними. Порівняно з реляційною базою даних Redis володіє надзвичайно швидким процесом читання. Основна проблема полягає у тому, що попередній фреймворк Client Server надає погане виконання процесу читання та запису щодо пропускну здатності та затримки, оскільки всі сервери використовують свою власну пам’ять для роботи із загальною процедурою, що займає багато часу.

NoSQL відіграватиме важливу роль у майбутній розробці та приверне більше уваги компаній-гігантів і стартапів. І наукові кола, і промисловість високо оцінюють майбутнє NoSQL. Безсумнівно, NoSQL не спрямований на повну заміну SQL, але допомагає реляційній базі даних працювати краще. Крім цього, NoSQL може використовувати абсолютно нову сферу.

### Список літератури:

1. Жолткевич Г.Г. Моделирование процессов репликации данных у распределенных хранилищах : дис. ... канд. тех. наук : 01.05.02 / Харківський Національний Університет імені В.Н. Каразіна ; Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, Харків, 2021. 150 с.
2. Müllenbach S., Kern-Bausch L., Kolonko M. Conceptual Modeling Language Agila Mod. *Herald of Advanced Information Technology*. 2019. Vol. 2. № 4. P. 246–258.
3. Ісаков А.В., Ліміна В.Ю., Романюк О.В. Сфери застосування нереляційних баз даних. *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ (Вінниця, 27–28 квітня 2020 р.)*. Вінниця, 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9416>.
4. Ковтун Б.В., Манич А.М., Романюк О.В. Порівняльна характеристика реляційних та NoSQL баз даних. *Матеріали XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27–28 квітня 2020 р.* 2020. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2020/paper/view/9907> (дата звернення: 09.12. 2020)
5. Бучик С.С., Швед А.В. Архітектура системи управління відносинами з клієнтами на прикладі CRM-системи Creatio. *Прикладні системи та технології в інформаційному суспільстві* : зб. тез доповідей і наук. повідомл. учасників IV Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 30 вересня 2020 р.) / за заг. ред. В.Л. Плєскач, В.Л. Міронова. Київ : Київський нац. ун-т імені Тараса Шевченка, 2020. С. 30–34.
6. Zhang J., Yao Z., Feng, J. NCRedis: An NVM-Optimized Redis with Memory Caching. *International Conference on Database and Expert Systems Applications* Springer, Cham. 2021. P. 70–76.

7. Chopade R., & Pachghare V. A data recovery technique for Redis using internal dictionary structure. *Forensic Science International: Digital Investigation*. 2021. Vol. 38. P. 301218. doi: 10.1016/j.fsidi.2021.301218.
8. Tkachenko V., & Lukianiuk S. Analysis of the use of the Redis in the distributed order processing system in the restaurant network. *Technology Audit and Production Reserves*. 2021. Vol. 5 (2). P. 61.
9. Ahmad K., Javed M. Hands-On Redis. *NoSQL: Database for Storage and Retrieval of Data in Cloud*. 2017. P. 355–364. Chapman and Hall/CRC.
10. Gutierrez F. Messaging with Redis. In *Spring Boot Messaging Apress*, Berkeley, CA. 2017. P. 81–92.

#### **Abharian Yu.S. REMOTE DICTIONARY SERVER AS ONE OF THE MAIN STRUCTURES OF THE NETWORK DATA WAREHOUSE**

*The article examines Remote Dictionary Server as one of the main structures of a network data warehouse. It is noted that Redis is a fast repository of key-value data in open source memory. It is emphasized that Redis provides response time at the fraction of a millisecond level and allows programs running in real time to execute millions of requests per second. Such programs are needed in the areas of games, advertising technology, financial services, healthcare and IoT. It is emphasized that today Redis is one of the most popular open source cores, and for five years in a row it has been called the “favorite” database from Stack Overflow. All Redis data is stored in memory, which provides low latency and high bandwidth access to data. Unlike traditional databases, memory repositories do not require moving to disk, which reduces core latency to microseconds. As a result, in-memory data stores can multiply the number of operations performed and reduce response time. The result is extremely high performance. Read and write operations take less than a millisecond on average, with speeds reaching millions of operations per second. The paper emphasizes the advantages of using Remote Dictionary Server, which include: flexible data structures (unlike other key-value repositories that support a limited set of data structures, Redis supports a huge variety of data structures to meet needs of various programs); simplicity and convenience (Redis allows you to write the most complex code with fewer simple lines); replication and persistent storage (Redis uses a master slave architecture and supports asynchronous replication, in which data can be copied to multiple slave servers); high availability and scalability (Redis offers a “master slave” architecture with one master node or cluster topology); all open source tools.*

**Key words:** data warehouse, network, server, database, Remote Dictionary Server, structure, information.

**Бабчинська Т.В.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

**Дика А.І.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

## СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

У статті описано системи електронного навчання, розглянуто особливості, їх поняття та структуру, його відмінності від традиційних способів проведення навчального процесу. Розглянуто поняття інформатизації освіти як основної передумови існування систем електронного навчання, її засоби та складові частини. Охарактеризовано й обґрунтовано мету застосування систем електронного навчання та проведення інформатизації освіти. Розглянуто особливості інформатизації загалом, її переваги та недоліки у контексті навчального процесу.

Розглянуто сферу управління інтелектуальними ресурсами, опрацювання галузі інформаційних систем управління освітою, а також розглянуто сферу інтелектуальних ресурсів організацій і закладів освіти.

Досліджено напрями роботи, особливості та передумови використання комп'ютерної техніки під час забезпечення освітнього процесу як основного прояву застосування інформатизації освіти. Розглянуто взаємодію викладача та здобувача освіти, особи, котра виконує адміністративні функції, та здобувача у контексті використання систем електронного навчання.

Розглянуто комплекс інформаційних технологій, переваги та недоліки його використання порівняно із традиційними формами навчання. Розглянуто апаратне, програмне та навчально-методичне забезпечення як складники комплексу інформаційних технологій. Розглянуто популярні платформи дистанційного навчання, а саме «Blackboard», «Google Classroom», «Moodle».

Проаналізовано навчальну платформу «Moodle» як реалізацію системи електронного навчання. Досліджено її загальні, адміністративні й управлінські особливості. Здійснено порівняння з іншими навчальними платформами, розглянуто її сильні та слабкі сторони. Розглянуто можливі формати донесення освітніх матеріалів за використання навчальної платформи «Moodle». Охарактеризовано ресурси навчальної платформи як її структурні складники.

**Ключові слова:** системний аналіз, інтелектуальні ресурси, електронне навчання, інформатизація освіти, навчальна платформа Moodle.

**Постановка проблеми.** Із 2020 р. навчальна та робоча діяльність змінилася. У світі виникла гостра потреба в інструментах дистанційного зв'язку – Zoom, Discord, Skype. Вимушений карантин на якийсь час змінив життя мільйонів людей і породив масу проблем і незручностей, зокрема для систем освіти у всьому світі. Нині через пандемію та соціальне дистанціювання необхідно підтримувати інтелектуальний ресурс як всередині компаній, так і у закладах освіти.

Тому необхідно визначити та проаналізувати системи інформаційної підтримки навчальної діяльності, які використовуються у закладах вищої освіти (далі – ЗВО).

**Постановка завдання.** Метою статті є демонстрація практичних технічних можливостей і реалізація технологій, завдяки яким можна здійснювати аналіз інтелектуальних ресурсів для інформаційної підтримки навчальної діяльності,

а саме системи електронного навчання, віртуальних навчальних середовищ, аналіз програмного забезпечення «Moodle».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З огляду на останні події, пов'язані з пандемією, а також стрімкий розвиток технологій систем навчання системи електронного навчання та комп'ютерна техніка набувають важливого значення. Такі системи є прикладом реалізації інформаційних систем управління освітою. Вони мають на меті збір, інтеграцію, обробку, підтримання та поширення даних та інформації для підтримки прийняття рішень, аналізу та формулювання політики, планування, моніторингу й управління на всіх рівнях системи освіти. Вони складаються з людей, технологій, моделей, методів, процесів, процедур, правил і положень, функціонування яких покликано забезпечити особам, котрі приймають рішення, набір надійних, однозначних

і своєчасних даних для забезпечення освітньої діяльності [1].

Слід зазначити, що ще до пандемії COVID-19 у сфері освіти спостерігалось зростання інтересу до інформаційних технологій і високі темпи впровадження інформаційних технологій у навчальні програми ЗВО.

Стрімкий розвиток обчислювальної техніки та поява глобальної мережі Інтернет дозволили перейти на новий рівень освітніх технологій, одним із яких і є поява систем електронного навчання.

Система електронного навчання – це система навчання, заснована на формалізованому навчанні з використанням електронних ресурсів. Хоча навчання може проводитися у класі, використання комп'ютерів та Інтернету є основним компонентом електронного навчання. Електронне навчання також можна назвати мережевою передачею навичок і знань, освіта у такому разі здійснюється для великої кількості одержувачів одночасно або залежно від студента. Раніше це не сприймалося гідно, оскільки вважалося, що цій системі бракує людського елемента, необхідного для навчання.

Системи електронного навчання ґрунтуються на інформатизації освіти. Вона є одним із найголовніших напрямів сучасної науково-технічної революції, завдяки якій здійснюється якісний перехід суспільства з індустріального до інформаційного етапу. Без нього функціонування таких систем не можливе.

До інформатизації належать взаємопов'язані організаційні, правові, політичні, соціально-економічні, науково-технічні та виробничі процеси, спрямовані на задоволення потреб суспільства. Такі процеси забезпечуються засобами інформатизації – електронно-обчислювальними машинами, програмним математичним та іншим забезпеченням, інформаційними системами, їхніми окремими елементами, інформаційними мережами та мережами зв'язку, які використовуються для реалізації інформаційних технологій [2].

Також важлива наявність високого рівня розвитку інформаційних технологій, що є цілеспрямованою організованою сукупністю інформаційних процесів, які забезпечуються наявністю обчислювальної техніки, характерними ознаками котрих є:

- висока швидкість обробки даних;
- швидкий пошук інформації;
- розосередження даних;
- доступ до джерел інформації незалежно від їх місцезнаходження.

До засобів нових інформаційних технологій належать збирання, обробка, організація збе-

реження, опрацювання, передача та подання інформації завдяки комп'ютерній техніці та комп'ютерним мережам:

- апаратне забезпечення (обчислювальна техніка та її комплектуючі, комп'ютерні мережі, приміщення, де вони знаходяться);
- програмне забезпечення (сукупність демонстраційних, контролюючих, імітаційно-моделюючих і службових програм, необхідних для навчальної діяльності);
- навчально-методичне забезпечення (навчальні та методичні підручники, технічна документація й організаційно-інструктивні матеріали).

Для забезпечення навчального процесу здобувач і викладач повинні мати доступ до необмеженого обсягу інформації, що досягається шляхом не лише наявності комп'ютерного обладнання, а і його підключення до локальних і глобальних мереж.

Якщо говорити про напрями використання комп'ютерної техніки в рамках навчального процесу, то можна виділити такі:

- безпосередньо навчальні, тобто такі, що забезпечують засвоєння інформації здобувачами, враховуючи їхній рівень знань і навичок;
- тестові, призначені для перевірки й оцінювання рівня навичок, вмінь і знань;
- тренувальні, призначені для закріплення засвоєної інформації;
- програмне забезпечення, розраховане на збереження інформації, а також таке, що надає можливість пошуку такої інформації – бази даних, сховища;
- інструментальні засоби – надають змогу обробки текстів, складання таблиць, зображення графічної інформації та інші способи візуалізації інформації [3].

Реалізація системи електронного навчання дозволяє здобувачам освіти дистанційно, використовуючи глобальну мережу Інтернет, ознайомлюватися із навчальним матеріалом, що може бути реалізовано за допомогою різноманітних електронних інформаційних ресурсів (тексту, зображення, відео, анімації, презентації, навчального посібника). Також існує можливість виконувати та відправляти завдання, передбачені курсом, на перевірку викладачем чи автоматично. Викладачі мають змогу створювати такі курси самостійно, спілкуватися зі здобувачами, вести облік за допомогою електронних журналів, а також визначати терміни виконання робіт.

Також можлива наявність сервісу, наприклад, Електронного Деканату, покликаною реалізувати

адміністративні функції, зокрема подавати індивідуальні плани студентів, вести облік активності й успішності студента, його проходження поточного та підсумкового контролю.

Така форма навчання зазвичай передбачає велику кількість самостійної роботи. Наприклад, після ознайомлення з матеріалом необхідне самостійне виконання завдань, проходження тестувань, але у такому середовищі легко реалізувати зворотний зв'язок – здобувач за необхідності може листуватися з викладачем, отримувати відомості про навчальний процес, здійснювати його корегування.

За допомогою таких онлайн-інструментів, як документи Google та інші, здобувачі освіти можуть ділитися своїми роботами та редагувати їх один з одним. Студенти вже спілкуються через соціальні мережі й онлайн-канали, але якщо робити це із загальною метою, то їм доведеться подумати про інший спосіб взаємодії в Інтернеті. Ще одна тенденція на робочому місці у найближчому майбутньому, яка, ймовірно, зростатиме, і розвиватиметься, – це віддалені робочі групи [4].

Також через використання певних сховищ, наприклад, хмарних, результати праці студентів завжди доступні для викладачів чи осіб, які здійснюють адміністративні функції. Хмарні платформи або хмарні служби, такі як Google Classroom, Blackboard, Office 365 Education від компанії Microsoft, Knowledge Matters, Coursera тощо, пропонують користувачеві повний набір послуг на некомерційній основі на необмежений час або порівняно обмежений функціонал протягом демо-часу, після закінчення якого безкоштовний функціонал урізається не менше ніж наполовину або пропонується за підпискою. Завдяки хмарним сервісам здобувачі вищої освіти можуть виконувати завдання незалежно від місця їх фактичного розташування. Впровадження хмарних послуг у навчальний процес дозволяє об'єднати викладачів і студентів у єдиній онлайн-платформі [5].

Електронні підручники стають дедалі популярнішими зі збільшенням цифровізації. Спочатку електронними підручниками переважно вважалися опубліковані в електронному вигляді документи формату .pdf, наповнені гіпертекстом і гіперзв'язками. Такий формат залишається актуальним досі через свою економічність, простоту, малий обсяг і універсальність, проте зараз популярізуються програмне створення електронних інтерактивних підручників і задачників. Навігація досягається шляхом активних гіперпосилань, маршрутизаторів, інтерактивних кнопок, супроводу мультиплікаційних або реальних персона-

жив-співрозмовників/учителів [6]. Також можна зустріти підручники у форматі електронної бази даних, які функціонують як самостійний продукт або є додатком до текстових або мультимедійних розділів і параграфів наявних підручників. Вони адаптивно вбудовуються у структуру сайтів, локальних бібліотек, створюючи ієрархічну структуру з тематичними розділами. Для розгортання сайту бази користуються спеціальними програмними або технічними інструментами.

Використання перелічених технологій формують так званий комплекс інформаційних технологій, що використовується під час навчального процесу. Для нього характерні такі особливості:

- високий показник адаптивності навчального процесу до індивідуальних особливостей здобувачів освіти;

- поєднання самостійної та групової роботи;
- інтерактивність навчального процесу – спрощений процес спілкування між сторонами навчального процесу;

- використання комп'ютера як основного інструменту комплексу інформаційних технологій, може відбуватися у процесі навчання та на етапі його підготовки;

- викладач за допомогою інструментів (наприклад, програмного забезпечення) може корегувати процес навчання;

- можливе використання здобутків новітніх технологій у процесі навчання.

Такі особливості є позитивними, адже поліпшують проведення навчального процесу. Тому можна дійти висновку, що порівняно із традиційними методами застосування перелічених вище є більш ефективними, але й існують недоліки, що можуть виникати під час використання комплексу інформаційних технологій. Якщо здобувач чи викладач не володіє комп'ютером у домашніх умовах, то проведення навчального процесу для нього є проблемним чи взагалі неможливим. Окрім підготовки навчального матеріалу, необхідно володіти достатніми навичками роботи з комп'ютерами. У робочому плані не відведено достатньо часу для дослідження технологій навчання.

Програмами, покликаними виконувати перелічені вище функції, є платформи дистанційного навчання (англійською – learning management systems), розроблені для того, щоб надати викладачам, адміністраторам та учням єдину надійну, безпечну й інтегровану систему для створення персоналізованих навчальних середовищ. Основною метою є управління освітніми курсами як способу реалізації електронного навчання.

Основна частина освітніх закладів і педагогів розміщують свої матеріали та забезпечують реалізацію навчального процесу через системи дистанційного навчання (Blackboard, Google Classroom, Moodle та ін.). Платформа електронного навчання Blackboard Learn забезпечує єдине інтерактивне середовище для навчання, взаємодії, обміну інформацією між учнями або студентами та викладачами ЗВО. Вона допомагає керувати віртуальним навчальним середовищем, створювати електронні освітні ресурси, забезпечувати віддалений доступ до освітніх ресурсів навчального закладу, здійснювати контроль освітнього процесу, надавати платформи для курсів дистанційного навчання, накопичувати, структурувати, керувати доступом, поповнювати освітню базу, а також надавати засоби комунікації й інформування учасників. Історично інтерфейс Blackboard був громіздким і неприємним, але компанія доклала нових зусиль для оптимізації інтерфейсу користувача, зробивши його більш доступним минулого року [7].

Важливою особливістю Google Classroom є поєднання потужних можливостей управління освітою із чудовими комунікаційними інструментами, що дозволяють викладачам спілкуватися не тільки зі здобувачами освіти, але й із їхніми батьками. Google Classroom відносно легко налаштувати викладачам, і він забезпечує надійні можливості організації навчальної програми та матеріалів, однак студентам низка функцій налаштування платформи недоступна.

Звичайно, велика перевага полягає у тому, що Google Classroom тісно інтегрований з іншими програмами Google: Календар Google, Gmail, Документи Google та Google Drive. Якщо ви вбудовані в екосистему Google, Google Classroom є ідеальним розширенням [8].

Найбільш популярною системою виступає Moodle – безкоштовне масове віртуальне навчальне середовище, яке використовується для управління навчальними курсами [9]. Назва походить від аббревіатури з англ. Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment, що перекладається як «модульне об'єктно орієнтоване динамічне навчальне середовище». Програмне забезпечення платформи є відкритим і належить до вільної ліцензії GNU. Предметно «Moodle» є веб-додатком, що дозволяє створювати веб-сайти для онлайн-навчання. Перевагою Moodle, яка приваблює освітню спільноту та забезпечує її конкурентоспроможність, є різноманітність модулів і надбудов, що забезпечують варіативність та адаптивність створюваного навчального курсу та

використовується для створення бази електронного портфоліо.

Вона має такі загальні особливості:

1) сучасний, простий у використанні інтерфейс – розроблений таким чином, що для пересічного користувача є зрозумілим і доступним, ним легко керувати як на настільних, та і на мобільних пристроях;

2) персоналізовану інформаційну панель – відображає поточні, минулі та майбутні курси, завдання та іншу корисну інформацію;

3) інструменти та заходи для спільної роботи – спільну роботу та навчання на форумах, вікі, глосаріях, роботу з базами даних тощо;

4) універсальний календар – календарний інструмент «Moodle», покликаний допомагати відстежувати навчальний або корпоративний процес, строки курсів, час групових зустрічей та інші події;

5) зручне керування файлами, наявність технології «Drag and Drop», яке дозволяє переміщувати файлів із хмарного сховища, включаючи MS OneDrive, Dropbox і Google Drive;

6) наявність сповіщень – користувачі мають змогу отримувати інформацію про нові завдання та терміни, а також надсилати один одному приватні повідомлення;

7) відстеження прогресу – викладачі й учні можуть відстежувати прогрес завершення курсу.

За допомогою «Moodle» є можливість здійснювати адміністративні функції:

1) середовище роботи, а саме веб-сторінка платформи, може бути змінена за допомогою різноманітних макетів, наявний вибір кольорових схем, встановлення логотипу закладу освіти;

2) наявність різних способів автентифікації та масової реєстрації здобувачів освіти;

3) можливість масового створення навчальних курсів, їх резервне копіювання;

4) керування ролями та дозволами користувачів, що розподіляє їх права, наявність таких ролей, як викладач, студент, методист та ін.;

5) висока сумісність і вільна інтеграція з іншими програмами та хмарними сховищами, створення власного плагіну для користувацьких інтеграцій.

6) перегляд і створення звітів та електронних журналів про активність та успішність учасників електронних курсів.

Також платформа має такі особливості управління:

1) розробку та керування курсами для задоволення різноманітних вимог – заняття можуть



проводитися під керівництвом викладача, самостійно, змішано або повністю онлайн;

2) заохочення співпраці – вбудовані функції спільної публікації сприяють взаємодії та заохочують співпрацю, орієнтовану на вміст;

3) використання зовнішніх ресурсів – навчальні матеріали, включаючи завдання з інших сайтів, можуть бути внесені до електронних журналів «Moodle»;

4) мультимедійну інтеграцію, що передбачає вбудовану підтримку медіа-файлів, дозволяє легко шукати та вставляти текст, зображення, відео й аудіофайли в курси;

5) груповий менеджмент – учні групи обмінюються курсами, розрізняють види діяльності та сприяють роботі у команді;

6) наявність можливості оцінювання не тільки успішності студентів, а також якості роботи викладачів чи адміністрації;

7) оцінювання на основі компетенцій – встановлення компетенцій із особистими планами навчання для курсів і заходів [10].

Якщо говорити про структуру, то навчальна платформа складається із так званих «ресурсів», за допомогою яких, як із будівельних блоків, можна будувати курс. Існують такі типи ресурсів «Moodle»:

1) Ресурс «сторінка», що створюється для подання навчальних матеріалів, наприклад, викладач може додавати робочу програму, план, критерії оцінювання студента, список літератури для ознайомлення, методичні рекомендації курсу чи додаткові матеріали.

2) Ресурс «форум», призначений для обговорень чи публікації новин. Із його допомогою студент може ознайомитися з новинами закладу освіти, дізнатися строки написання самостійних робіт, дати проведення контрольної роботи. Також є можливість колективного обговорення курсу чи безпосереднього спілкування з викладачем.

3) Ресурс «глосарій» містить тлумачення термінів, які використовуються для проходження навчального курсу. Студент під час ознайомлення з матеріалами може використовувати «глосарій» для отримання визначення терміна безпосередньо у тексті.

4) Ресурс «гіперпосилання» містить посилання на зовнішні ресурси. Викладач для надання додаткової інформації, на відміну від розміщення її безпосередньо у матеріалах курсу, може залишити її у вигляді гіперпосилання.

5) Ресурс «файл» передбачає можливість прикріплення файлу до матеріалів курсу незалежно від його формату.

6) Ресурс «лекція» містить навчальні матеріали, ознайомлення з якими є обов'язковим для проходження курсу. Для зручності можливе розбиття лекції на різноманітні її логічні частини – сторінки, перехід між якими дозволяє меню навігації. Також можлива інтеграція тестових запитань, правильна відповідь на які розблокує наступні частини лекції.

7) Ресурс «завдання» містить лабораторні роботи, семіари та передбачає самостійну роботу студента. Робота студента може мати такі форми:

- відповідь-файл;
- відповідь-тест;
- відповідь, розміщена на зовнішньому ресурсі.

8) Ресурс «тест», що складається з тестових запитань, направлених на оцінку якості знань студента. Можливе створення тесту, покликаного оцінювати навички чи знання стосовно однієї лекції або всього курсу загалом [11].

Враховуючи перелічені вище особливості, можна дійти висновку, що навчальна платформа «Moodle» дозволяє створити усі необхідні умови для проведення навчального процесу, але вона не є єдиним рішенням, яке існує зараз на ринку. Хоч і «Moodle» має безліч сильних сторін, перелічені вище, порівняно з іншими системами їй притаманні певні недоліки:

- незважаючи на те, що існує функціонал для обговорення здобувачами освіти освітнього матеріалу, переважна більшість таких обговорень відбувається неформально за межами навчальної платформи;
- обмін матеріалами можливий, однак за допомогою навчальної платформи він є ускладненим;
- деякі частини є легкими у користуванні, деякі – навпаки;
- велика кількість завдань, адресована здобувачам, не може бути виконана у рамках системи «Moodle», тому виникає необхідність у використанні зовнішніх ресурсів;
- робота із системою може бути складною для осіб, котрі працюють із нею вперше;
- первинна конфігурація програмного забезпечення вимагає чітких навичок і компетентності.

З метою адаптації освітнього середовища до більш повного електронного навчання ми пропонуємо проведення навчальних занять у віртуальній сфері. Наші дослідження показують, що особливий інтерес у переважній більшості студентів викликають практичні заняття у комп'ютерній лабораторії та контроль знань за допомогою навчальної платформи Moodle, що дозволяє оптимізувати освітній процес, підвищивши якість

підготовки. Система Moodle є оптимальною у викладанні наступних навчальних дисциплін «Інформаційні технології», «Основи програмної інженерії», «Комп'ютерна схематехніка та архітектура комп'ютерів», «Об'єктно-орієнтоване програмування», у тому числі «Алгоритми та структури даних» [12].

**Висновки.** Отже, нині системи електронного навчання та віртуальні навчальні середовища реалізовані достатньо, щоб підтримувати навчальний процес. Використання сучасних інформаційних освітніх технологій підвищує якість та ефективність освітнього процесу. Викладачі в освітньому процесі використовують цифрові ресурси: для трансляції знань, повторення, закріплення та контролю; розширення меж застосування сприяє вільному доступу до цифрових освітніх ресурсів як у комп'ютерному класі, так і в будь-якій аудиторії ЗВО. Використання систем електронного навчання може не обмежуватися університетами, а існувати в компаніях, школах та інших освітніх закладах. Для реалізації такого виду освіти необхідний високий рівень інформатизації та наявність засобів інформаційних технологій – апаратного, програмного та навчально-методичного забезпечення.

Значними перевагами розглянутих систем електронного навчання є створення занурення у навчальну ситуацію, підвищення навчально-пізнавальної та професійної мотивації суб'єктів освітнього процесу. Масовість і відкритість онлайн-навчання мають високе соціальне значення, оскільки забезпечують якість електронних освітніх ресурсів, дозволяють знизити або нівелювати економічну та географічну нерівність, прирівнюючи у можливості отримати якісний освітній контент економічно незалежних суб'єктів і суб'єктів із віддалених регіонів, а також суб'єктів із обмеженими можливостями здоров'я.

Проведений аналіз навчальної платформи «Moodle» показав, що зазначена система електронного навчання покликана реалізувати програмну частину інформатизації. Вона характеризується зручним і доступним інтерфейсом, можливістю групової роботи, реалізовано інструменти роботи із хмарними сховищами. Також можлива реалізація адміністративних функцій – ведення електронних журналів. Навчальна платформа розроблена саме для того, щоб надати викладачам і здобувачам освіти єдину надійну, безпечну й інтегровану систему для створення персоналізованих навчальних середовищ.

#### Список літератури:

1. The role of education management information systems in supporting progress towards SDG 4. UNESCO. 2020. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374542>.
2. Закон України «Про Національну програму інформатизації». *Відомості Верховної Ради України*. 1998. № 27–28. Ст. 181. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/98-%D0%B2%D1%80>.
3. Економічна енциклопедія : у 3 т. Т. 1 / редкол. : С.В. Мочерний та ін. Київ : Видавничий центр «Академія», 2000. 864 с.
4. Alqahtani A. Usability testing of Google cloud applications: students' perspective. *Journal of Technology and Science Education*. 2019. Vol 9. № 3. P. 326–339 URL: <http://www.jotse.org/index.php/jotse/article/view/585>.
5. Трофименко О.Г. Хмарні технології у сучасній освіті. *Наука та суспільне життя України в епоху глобальних викликів людства у цифрову еру (з нагоди 30-річчя проголошення незалежності України та 25-річчя прийняття Конституції України)* : у 2 т.: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 21 трав. 2021 р.) / за заг. ред. С.В. Ківалова. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2021. Т. 1. С. 576–580.
6. Politsinskaya E., Lizunkov V., Ergunova O. Organization of student project based activities through individual learning routes. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2019. Vol. 14. № 11. P. 186–193.
7. Salah S., Thabet M. E-Learning Management Systems – A Feature-based Comparative Analysis. *Journal of Information Systems and Technology Management*. 2021. Vol. 18. URL: <http://www.jistem.tecsi.org/index.php/jistem/article/view/3157/739>.
8. Santos JM, Google Classroom: beyond the traditional setting. *Problems of Education in the 21st Century*. 2021. Vol. 79. № 4. P. 628–639. URL: <http://oaji.net/articles/2021/457-1628687350.pdf>.
9. About Moodle. *Moodle Docs*. URL: [https://docs.moodle.org/311/en/About\\_Moodle](https://docs.moodle.org/311/en/About_Moodle).
10. Features. *MoodleDocs*. URL: <https://cutt.ly/wR8tqkV>.
11. Resources. *Moodle*. URL: <https://docs.moodle.org/311/en/Resources>.
12. Прокоп Ю.В., Трофименко О.Г., Дикий О.В. Дослідження підходів до викладання курсу «Алгоритми та структури даних» для студентів ІТ-спеціальностей. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Т. 32 (71) Ч. 1 № 2. С. 216–220. DOI 10.32838/2663-5941/2021.2-1/34.

**Babchynska T.V., Dyka A.I. SYSTEM ANALYSIS OF INTELLECTUAL RESOURCES FOR INFORMATION SUPPORT OF LEARNING ACTIVITIES**

*The article describes e-learning systems, features, their concepts and structure, its differences from traditional methods of educational process. The concept of informatization of education as the main prerequisite for the existence of e-learning systems, its tools and components has been considered. The purpose of application of e-learning systems and informatization of education is characterized and substantiated. Features of informatization in general, its advantages and disadvantages in the context of the educational process are considered.*

*The area of management of intellectual resources, elaboration of the area of information systems of education management are considered, and also the area of intellectual resources of organizations and educational institutions is considered.*

*The directions of use, features and necessary prerequisites for the use of computer technology in ensuring the educational process as the main manifestation of the application of educational informatization are studied. The interaction of the teacher and the applicant, persons performing administrative functions and the applicant in the context of the use of e-learning systems is considered.*

*The complex of information technologies, advantages and disadvantages of its use in comparison with traditional forms of education are considered. Hardware, software and educational-methodical support as components of a complex of information technologies are considered. Popular distance learning platforms are considered, namely "Blackboard", "Google Classroom", "Moodle".*

*The Moodle learning platform as an implementation of the e-learning system is analyzed. Its general, administrative and managerial features are studied. A comparison with other learning platforms is made, its strengths and weaknesses are considered. Possible formats for conveying educational materials using the Moodle learning platform are considered. The resources of the educational platform are characterized as its structural components.*

**Key words:** systems analysis, intellectual resources, e-learning, informatization of education, initial Moodle platform.

**Баган Т.Г.**

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

**Бунь В.П.**

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

**Безуглий Р.О.**

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

## АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ НА БАЗІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ

*У статті досліджено синтез системи опалення та кондиціонування на базі теплового насосу. Мета роботи полягає у створенні автоматичної системи керування мікрокліматом будинку, яка буде базуватися на альтернативних джерелах енергії, таких як теплонасосне обладнання, й адаптуватиметься під зміни зовнішніх факторів.*

*Система опалення та кондиціонування будівлі є однією з основних інженерних систем будівлі. Її задача – підтримка температурного режиму незалежно від пори року та погодних умов. Такі системи є досить гнучкими щодо наявності великої кількості варіантів комбінацій обладнання, залежно від поставленої мети та певної кількості коштів. Щодо опалювального сезону, то система опалення повинна працювати безперервно та за мінімальних витрат тепла забезпечувати нормальну температуру в усіх приміщеннях, а під час літнього сезону повинна забезпечувати комфортну температуру для перебування людей у визначеному приміщенні. У запропонованій системі як джерело тепла використовується тепловий насос. Його застосування дозволяє споживати екологічно чисту енергію. Тепловий насос качає теплову енергію з низькопотенційної джерела на потрібний рівень для споживача і дозволяє використовувати низькопотенційну енергію (з низькою температурою) як джерело тепла. Моделювання роботи теплового насосу й опалювального приміщення виконано у середовищі MatLAB за допомогою бібліотеки Simscape. Ця бібліотека має дуже багато елементів, завдяки яким можна створити різноманітні моделі реальних фізичних систем.*

*Для компенсування збурень і відпрацювання зміни завдання пропонується використовувати MPC-підхід. Для реалізації цього підходу були синтезовані АСК опалення та вентиляції. Внаслідок порівняння різних алгоритмів управління встановлено, що використання MPC-регуляторів надає переваги у відпрацюванні зміни заданої температури та мінімізації впливу зовнішніх збурень на кінцеву температуру повітря у кімнаті.*

**Ключові слова:** модель теплових процесів, адаптивна система, MPC-регулятор, система підтримки мікроклімату.

У сучасних містах постійно йде будівництво житлових комплексів, торгових центрів, офісних і складських приміщень, а отже, для всіх цих будівель необхідне впровадження автоматичних систем керування (АСК) інженерних систем будівлі. Оскільки зараз ці системи дуже необхідні, вони постійно вдосконалюються, переходячи від традиційних джерел енергії на альтернативні: теплонасосне обладнання, геліосистеми. Окрім джерел енергії, вдосконалюються також і способи передачі тепла від системи опалення до об'єкта. Якщо раніше це були трубні системи, то сьогодні

це тепла підлога, електрична підлога, фанкойли, радіатори опалення з більшим ККД, ніж у чавунних трубах. Відповідно до цих тенденцій більш досконалими стають і елементи АСК. Виходять нові контролери, як вільнопрограмовані, так і конфігуровані, дедалі більше компаній виробляють різноманітні датчики під будь-яку задачу замовника. Саме тому АСК інженерних систем будівель стрімко розвиваються.

Існують багато факторів, які впливають на температуру всередині приміщення. Деякі з них, такі як інфільтрація зовнішнього повітря, сонячна

радіація, виробничі та побутові тепловиділення залишаються неврахованими і призводять до відхилень температурного режиму від заданого. Основним показником, необхідним для визначення комфортного температурного режиму, залишається температура всередині приміщення.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Головною задачею автоматичної системи керування на об'єкті є контроль та управління температурою приміщень всередині.

Нові тенденції дають можливість вдосконалення систем керування інженерним обладнанням приміщень. Так, замість традиційних ПД-алгоритмів регулювання зі зміною завдання за температурними графіками для керування тепловим режимом приміщень можуть використовуватися більш складні алгоритми автоматичного чи оптимального керування. Зокрема, сьогодні широко представлені роботи, у яких для керування мікрокліматом будівель пропонуються системи адаптивного й оптимального керування, системи на базі нечіткої логіки та навіть із використанням нейромережових і генетичних алгоритмів [1]. Останніми роками досить активно обговорюється підхід із використанням прогнозуючих моделей – MPC [2]. До переваг MPC-підходу можна віднести те, що оптимальний регулятор, який синтезований відповідно до цього підходу, забезпечує дотримання обмежень на керувані та вихідні змінні, а також встановлює компроміс між робастністю та якістю регулювання [3], проте, як і більшість оптимальних систем, він вимагає отримання якомога точної моделі об'єкта керування.

Адаптивні системи керування – це системи, які вирішують задачі керування в умовах невизначених змінних зовнішніх впливів або параметрів об'єкта керування шляхом автоматичного самоналаштування [4].

У цій системі необхідно підлаштовувати перехідний процес під компенсацію зовнішніх збурень у вигляді різкої зміни температури й автоматичної максимально швидкої зміни заданого значення залежно від обставин [5].

Для компенсування збурень і відпрацювання зміни завдання досить непогано підходить MPC-регулятор, оскільки він прогнозує зміну контрольованого значення та дає відповідний керуючий сигнал.

**Моделювання теплового насосу і опалювального приміщення.** У цій системі як джерело тепла для системи опалення використовується ґрунтовий тепловий насос (ТН), тому що, по-перше, це екологічно чиста енергія, по-друге, використовуючи мінімальну кількість електро-

енергії, він виробляє у 3–4 рази більше теплової енергії незалежно від пори року.

Для підвищення ефективності джерела опалення для впровадження на об'єкті був обраний тепловий насос із технологією «ґрунт – вода» [6]. Технологія теплового насосу «ґрунт – вода» суттєво відрізняється від інших, оскільки цей вид теплових насосів використовує енергію землі, у якій на глибині 15–20 метрів, незалежно від пори року, температура тримається у діапазоні +7 – +10°C. Тобто такі теплові насоси є більш ефективним, але більш дорогим у вартості обладнання та монтажу. Крім того, використовуючи такий вид теплового насосу, забезпечується досить великий середньорічний коефіцієнт потужності – COP (*Coefficient of performance*) через те, що у ґрунті більш стабільна температура, ніж у повітрі. Взагалі COP є дуже важливим показником у роботі теплового насосу. Він визначає відношення виробленої теплової енергії до спожитої електричної. Тобто чим вищий COP, тим ефективніше працює тепловий насос і тим більше теплової енергії він зможе виробити з однакової кількості електричної.

До сучасних засобів енергомодельювання висувають жорсткі вимоги до точності математичних та імітаційних моделей, які використовуються при проектуванні систем керування. Серед факторів, які впливають на адекватність моделі, можна виділити: деталізацію моделей обмежуючих конструкцій та інженерних систем, зміну погодних умов, вплив сонячної активності та ін. [7].

Модель теплового насосу будемо створювати у середовищі MatLAB за допомогою пакету Simulink, а саме бібліотеки Simscape. Бібліотека Simscape дозволяє створювати моделі фізичних систем у середовищі Simulink. За допомогою цієї бібліотеки є можливість створювати моделі фізичних систем або компонентів на базі фізичних зв'язків, які можна використовувати разом із іншими блоками. Особливістю бібліотеки Simscape є те, що модель буде відповідати фізичній структурі реальної системи. Можна чітко побачити та відстежити проходження сигналу, оскільки всі елементи системи з'єднані разом і пов'язані один з одним [8].

Переважає більшість теплових насосів складається із чотирьох основних елементів: конденсатора, розширювального клапана, випарника та компресора. Внаслідок об'єднання цих складників отримаємо повноцінну модель теплового насосу, представлену на рис. 1.

Об'єктом для впровадження системи автоматизації є літня крита закрита тераса. Наявні 2 входи

до внутрішніх приміщень тераси: до основного залу тераси та до кухні. Для збільшення рівня освітленості вдень майже по всьому периметру встановлені пластикові вікна. Внутрішнє приміщення тераси розділене на 4 основні кімнати: основну залу, кухню, вбиральню та бойлерню.

Модель кімнати становить сукупність ланок, які моделюють процеси теплообміну в різних

середовищах, враховуючи теплообмін через стіни, стелю, вікна та двері.

На рис. 2 зображена загальна модель протікання теплових процесів у кімнаті. У ланках, які відповідають за теплообмін через стіни між кімнатами, відсутні елементи, оскільки вони реалізовані у блоках інших кімнат, тобто кухні, бойлерної та вбиральні. Також у цій моделі наявний блок

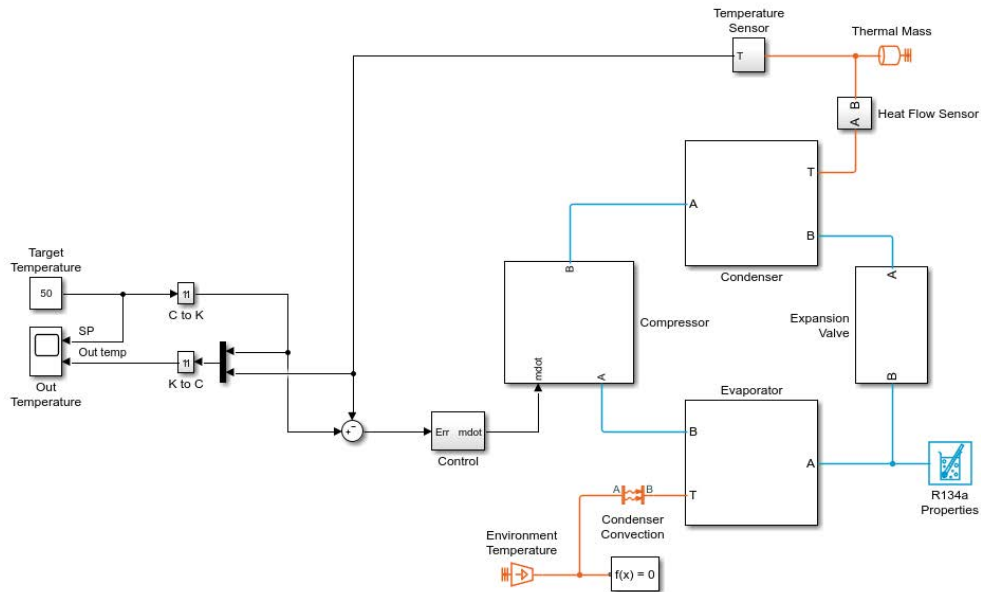


Рис. 1. Модель теплового насосу

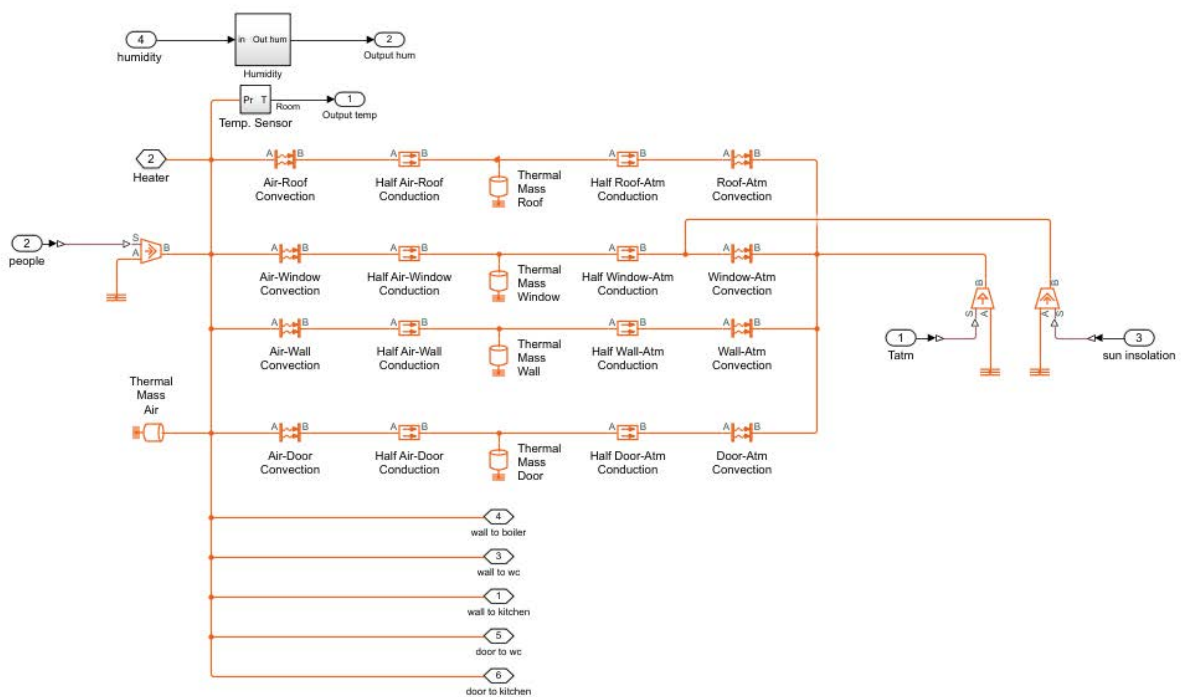


Рис. 2. Термодинамічна модель основної зали

*Thermal Mass*, який відповідає за об'єм повітря всередині кімнати та його здатність поглинати та зберігати тепло.

Маючи геометричні розміри окремих кімнат, отримуємо повноцінну модель закладу:

На рис. 3 зображена модель, яка описує протікання теплових процесів у закладі. Від нагрівачів подається лінія опалення на кожну кімнату, у котрих потім розділяється на ланки з тепловтратами. Також передбачені 2 блоки, які відповідають за надходження енергії від людей, у вигляді теплових втрат людини, а також від сонця у вигляді інсоляції. У правій частині зображена реалізація теплообміну між кімнатами через суміжні стіни та спільні двері. Також для правильного функціонування елементів бібліотеки Simscape додано блок *Solver Configuration*, що відповідає за проведення всіх операцій із тепловими лініями й елементами тепловтрат. Для розрахунку теплових втрат необхідна інформація про температуру навколишнього середовища. Через вхід *Tatm* подається сигнал до цієї підсистеми, який потім надходить на вхід до блоку кожної з кімнат. Окрім цього, у кожній кімнаті встановлено датчик тем-

ператури для контролю значень і передачі зворотного сигналу на контролер.

**Дослідження АСК з MPC-регулятором.** MPC-регулятор будемо реалізовувати для керування температурою в основному залі, оскільки саме у ньому збурення більші за інші кімнати, адже у цій кімнаті завжди перебуває більше людей, і внаслідок великої площі огорожувальних конструкцій тепловтрати мають вагомий вплив на зміну внутрішньої температури приміщення. Через велику кількість вікон і географічне положення закладу до основного залу надходить найбільше порівняно з іншими кімнатами теплової енергії у вигляді сонячної інсоляції.

Адаптивна система керування схожа на АСК з ПІ-регулятором, але відрізняється вміст підсистеми *Regulators* (Рис. 4). Замість регулятора, який відповідає за зміну температури в основному залі, стоїть MPC-регулятор. На вхід *ref* заходить сигнал від блоку, який задає значення температури у кімнаті. На вхід *to* надходить вихідне значення із блоку моделі, а саме значення температури основного залу. На вхід *md* заходить значення від вимірюваного збурення. У цьому випадку таким збуренням є температура навколишнього

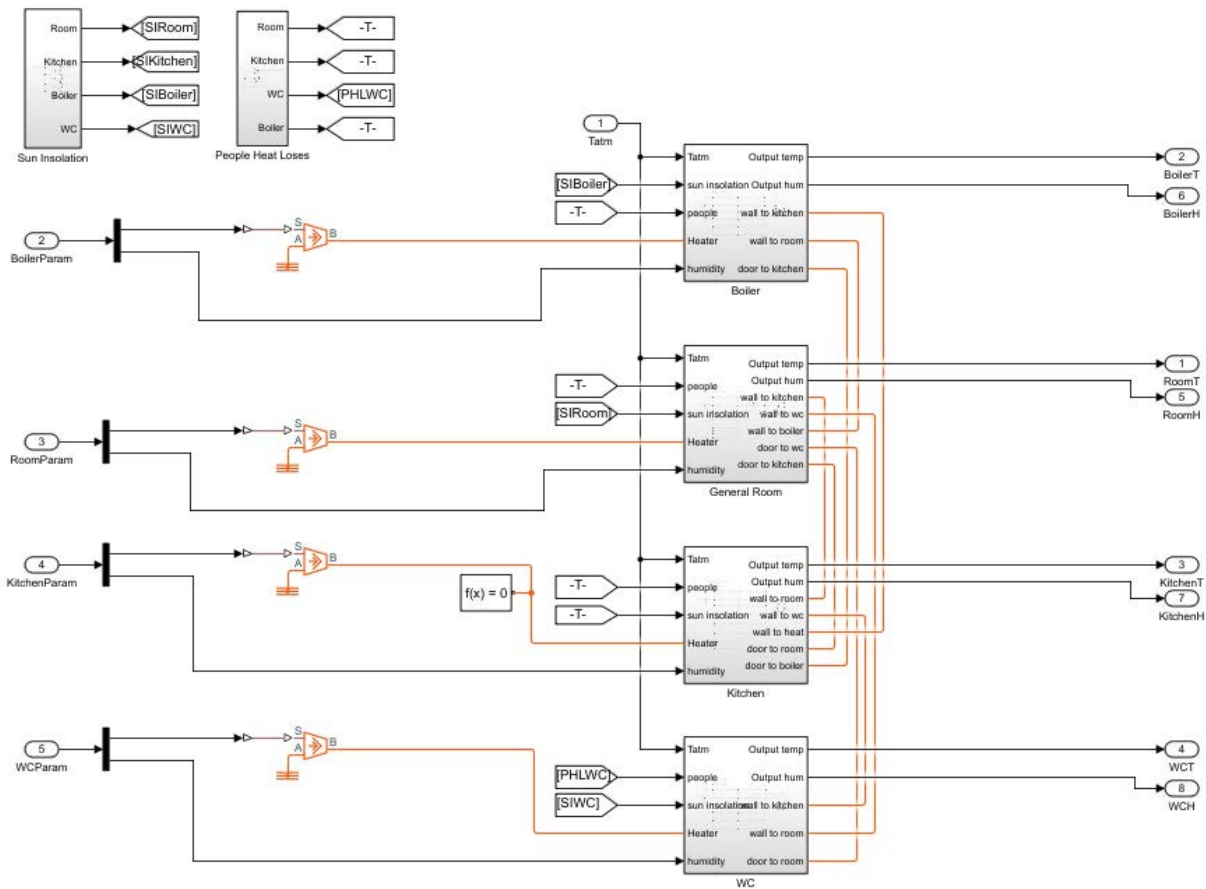


Рис. 3. Загальна модель теплових процесів закладу

середовища. Безпосередньо вихід  $mv$  блоку MPC-регулятора є керуючим сигналом і заходить на нагрівач для обмеження витрати теплоносія, який проходить через фанкойли.

**Порівняння отриманих результатів моделювання.** Провівши імітаційне моделювання стандартної АСК з ПІД-регулятором та адаптивної АСК, ми отримали результати у вигляді перехідних процесів (рис. 5).

Оцінюючи дані системи за прямими показниками якості (таблиця 1), можна зробити висновок, що перехідні процеси мають прямі показники якості майже однакові, однак у системи з MPC-регулятором відсутнє максимальне динамічне відхилення і перерегулювання, а також значно менше час перехідного процесу. Внаслідок чого можна вважати, що адаптивна система краща за систему з ПІД-регулятором.

Порівняємо графіки зміни температур у кімнатах по каналу «збурення – вихід» (рис. 6).

Отримаємо прямі показники якості по каналу «збурення – вихід».

Роблячи висновки з порівняння даних у таблиці 2, можемо сказати, що реакція обох систем на одичне збурення майже однакова, оскільки максимальне динамічне відхилення адаптивної системи менше, але час перехідного процесу трохи більший за АСК з ПІД-регулятором.

Порівняємо дві автоматизовані системи керування в умовах денної варіації температури протягом часового інтервалу в 48 годин.

За графіком, зображеним на рис. 7, можемо стверджувати, що зміна зовнішньої температури впливає на адаптивну систему значно менше, ніж на АСК з ПІД-регулятором. Можемо спостерігати менше початкове значення температури, яке сприяє економії теплової енергії, а також більш стабільну зміну температури під час мінімальної температури навколишнього середовища. Температура в основному залі у системи з ПІД-регулятором коливається у межах 23,5–26,8°C, тоді як в адаптивній системі – з 24,4°C до 25,6°C. Мінімізація відхилень на піках зміни температури зовні сприятиме економії теплової енергії, а в

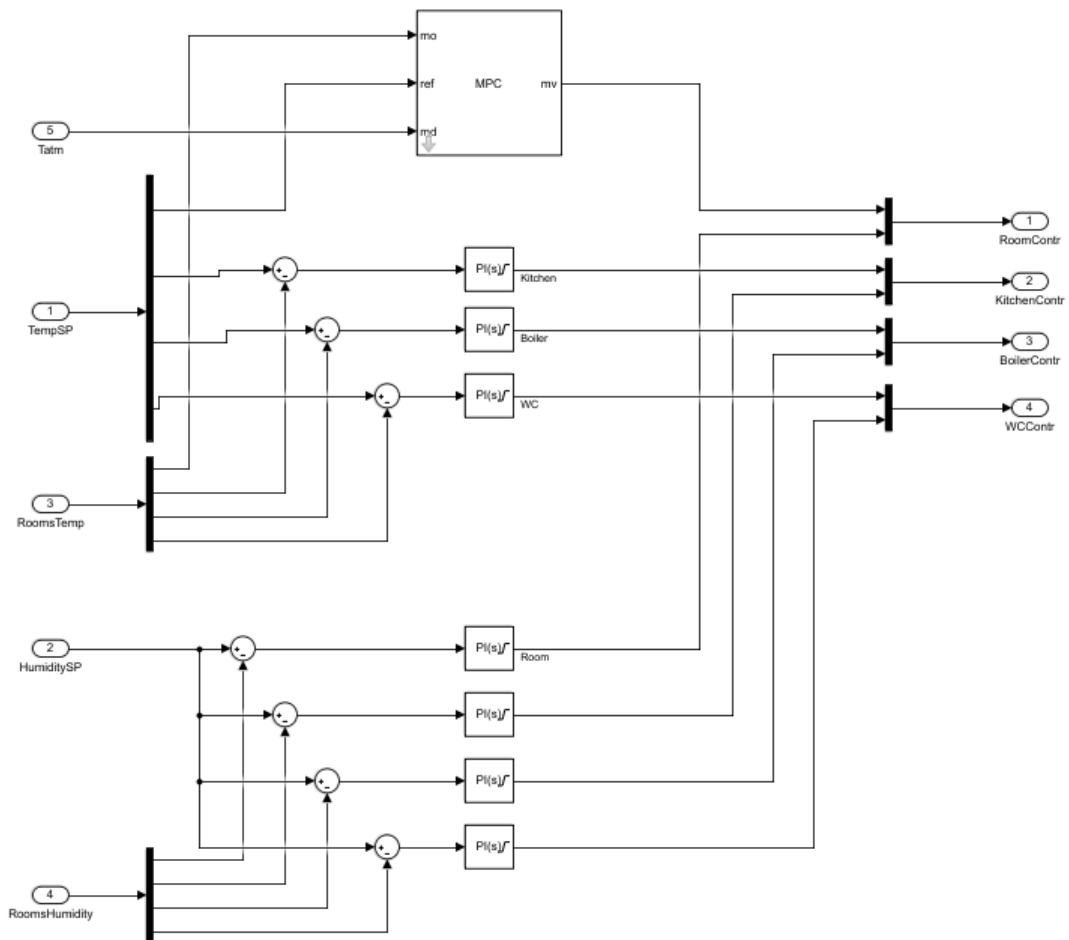


Рис. 4. Схема АСК з MPC-регулятором



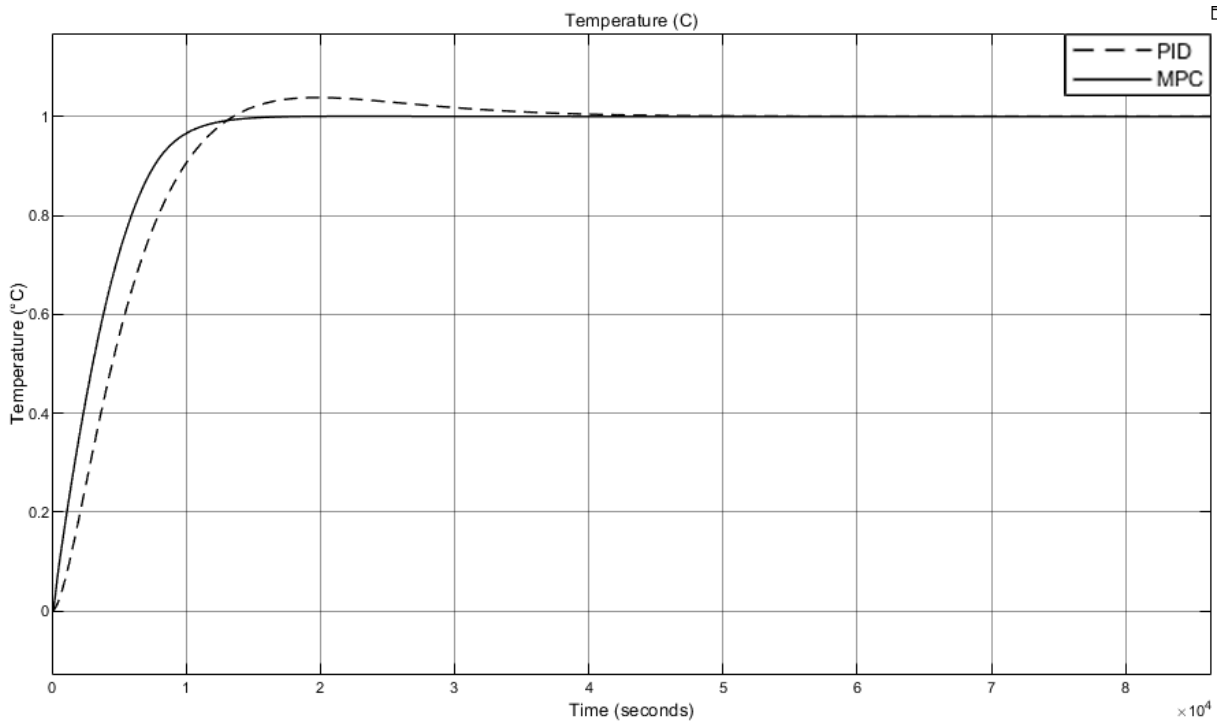


Рис. 5. Перехідні процеси систем по каналу «завдання – вихід»

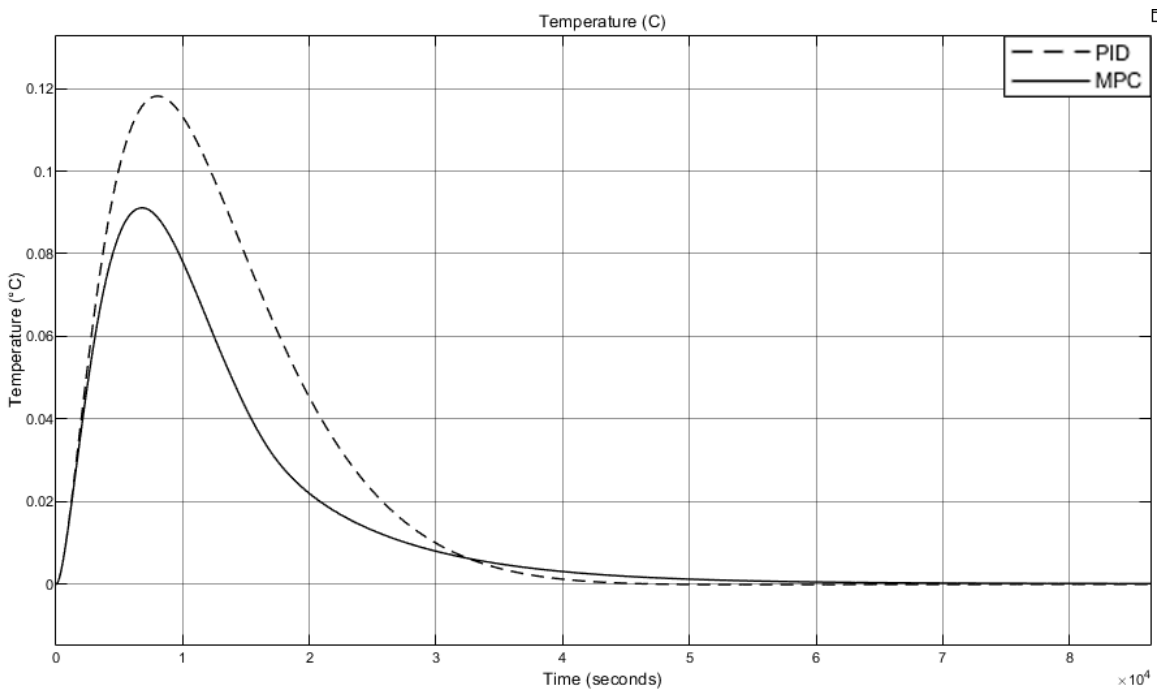


Рис. 6. Перехідні процеси систем по каналу «збурення – вихід»

Таблиця 1

Прямі показники якості по каналу «завдання – вихід»

	$\Delta y$	$\sigma, \%$	$t_{\text{пн}}, \text{C}$	$\Psi$	$y_{\text{cm}}$
Система з ПІ-регулятором	0.05	4	19844	1	0
Система з MPC-регулятором	0	0	9120	1	0

Прямі показники якості по каналу «збурення – вихід»

	$\Delta y$	$\sigma, \%$	$t_{\text{шп}}, \text{C}$	$\psi$	$y_{\text{cm}}$
Система з ПІ-регулятором	0.118	0	32829	1	0
Система з МРС-регулятором	0.0911	0	33067	1	0

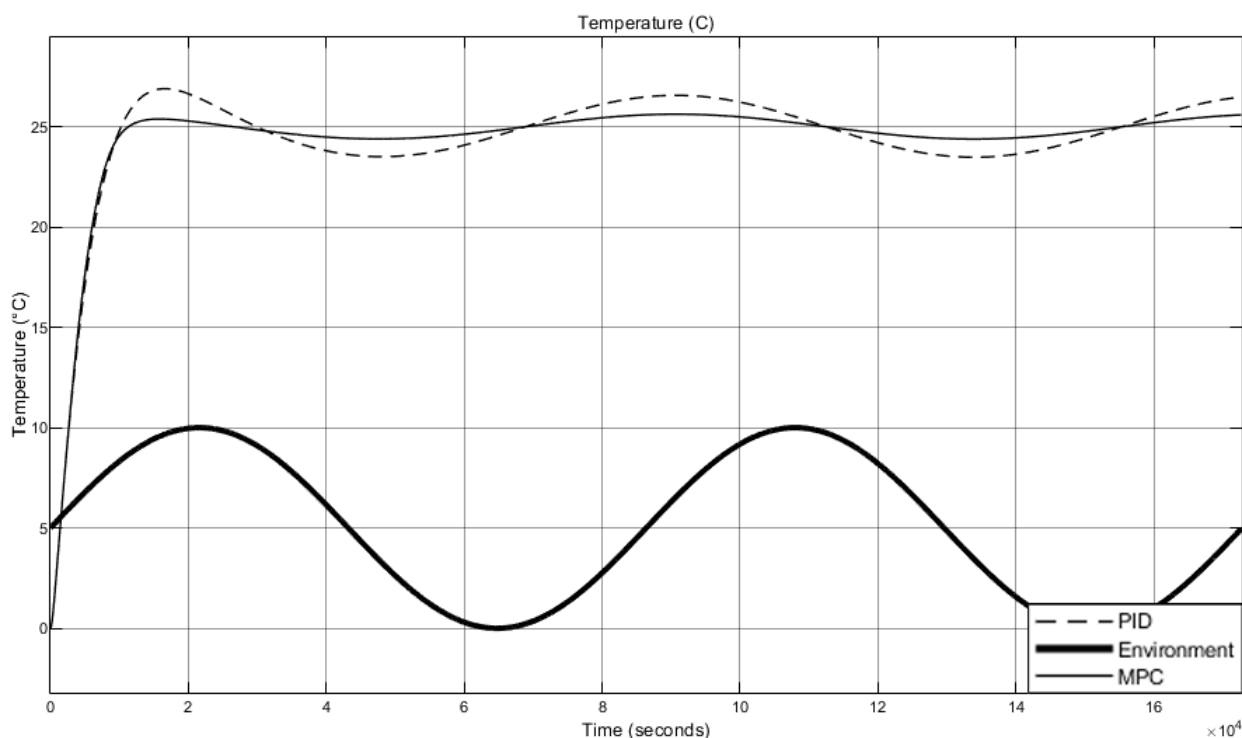


Рис. 7. Перехідні процеси систем в умовах денної варіації температури навколишнього середовища

наслідку максимізації економії бюджету, витраченого на опалення, за рахунок використання альтернативних джерел енергії й адаптивної системи керування.

**Висновки.** У статті розглянуті процеси опалення та кондиціонування у системах із використанням теплового насосу. Була створена його модель, яка описує рух теплової енергії всередині кімнат. Запропонована розробка адаптивної системи керування з МРС-регулятором для мініміза-

ції стороннього впливу на температуру основного залу. Синтез цієї АСК та результатів досліджень показав, що система з МРС-регулятором дає кращі результати роботи як у стаціонарному режимі, так і за умов варіації зовнішньої температури. Таким чином, використання МРС-регулятора у цій системі надало значні переваги у відпрацьованні зміни заданої температури та мінімізації впливу зовнішніх збурень на кінцеву температуру повітря у кімнаті.

#### Список літератури:

1. Dounis A.I., Caraiscos C. Advanced control system engineering for energy and comfort management in a building environment: A review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* № 13 (7). 2009. P. 1246–1261.
2. Марьясин О.Ю., Колодкина А.С. Управление тепловым режимом зданий с использованием прогнозирующих моделей. *Вестн. Самар. гос. техн. ун-та. Сер. технические науки.* 2017. № 1 (53). С. 122–132.
3. Stepanets O. Mariiash Y. Model Predictive Control Toolbox Design for Nonstationary Process. *KPI Science News.* 2021. P. 42–49.
4. Morato M.M. et al., Model predictive control design for linear parameter varying systems: A survey. *Ann. Rev. Control.* Vol. 49. 2020. P. 64–80.
5. Application of heat pumps in the design of heating and conditioning systems / T. Bahan, V. Boun, R. Bezuhlyj. *Актуальные научные исследования в современном мире.* 2020. № 4 (60). С. 13–16.
6. Мокляк В.Ф. Теплонасосні установки в харчовій та інших галузях. Київ, 2015. 33 с.

7. Стрижак П.А., Морозов М.Н. Математическое моделирование теплового режима здания с учетом инсоляционных теплопоступлений. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2015. Т. 326. № 8. С. 36–46.

8. Dynamic modeling of temperature and humidity for greenhouse using matlab-simulink environment / Yau J., JianWei J., Wang H., Eniola O., Ibitoye F.P. *Journal of Scientific and Engineering Research*. 2020. № 7 (7). P. 159–169.

#### **Bahan T.H., Boun V.P., Bezuhlyj R.O. ADAPTIVE MICROCLIMATE CONTROL SYSTEM BASED ON HEAT PUMP**

*The article investigates the synthesis of a heating and air conditioning system based on a heat pump. The aim of the work is creating an automatic control system of the microclimate of the house, which will be based on alternative energy sources, such as heat pump equipment and will adapt to changes in external factors.*

*The heating and air conditioning system of the building is one of the main engineering systems of the building. Its task is to maintain the temperature regardless of the season and weather conditions. Such systems are quite flexible in terms of the availability of a large number of equipment combinations, depending on the goal and a certain amount of money. Regarding the heating season, the heating system must work smoothly and at a minimum heat consumption to ensure a normal temperature in all rooms and during the summer season should provide a comfortable temperature for people to stay in a particular room. The proposed system uses a heat pump as a heat source. Its use allows you to consume environmentally friendly energy. The heat pump pumps heat energy from a low-potential source to the desired level for the consumer and allows the use of low-potential energy (low temperature) as a heat source. The simulation of the heat pump and heating room was performed in the MatLAB environment using the Simscape library. This library has many elements that allow you to create a variety of models of real physical systems.*

*It is recommended to use the MPC approach to compensate for disturbances and work out the change of the task. To implement this approach, ASCs for heating and ventilation were synthesized. As a result of comparison of different control algorithms it is established that the use of MPC-regulators provides advantages in working out the change of the set temperature and minimizing the influence of external perturbations on the final air temperature in the room.*

**Key words:** *model of thermal processes, adaptive system, MPC-regulator, microclimate support system.*

**Головіна К.П.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Касьян К.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Касьян М.М.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## РОЗРОБКА ВЕБДОДАТКУ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ІТ-КУРСІВ

У наші часи більшість галузей цифровізується, зокрема й навчальна галузь. З розвитком пандемії у світі дистанційне навчання набирає популярність та актуальність завдяки своїй безпечності й зручності. З кожним роком швидкість розвитку технологій збільшується, постає потреба в спеціалістах цієї галузі. Вебдодаток, який є результатом роботи, пропонує онлайн-платформу для вивчення ІТ-курсів з функціями самостійного контролювання студентом процесу навчання, проходження тестів після кожної завершеної теми. Пропонуються проектування й реалізація вебдодатку для вивчення ІТ-курсів, що допоможе суттєво зекономити час учителя та студента, допомогти студенту самостійно обирати курси, які йому необхідні. Також студент матиме можливість відстежувати свій прогрес у навчанні, вивчати печатні матеріали з електронної бібліотеки вебдодатку, прослуховувати лекції з відеозаписів уроків курсу. Водночас можна проходити декілька курсів із запам'ятовуванням останнього уроку, на якому зупинився студент. У процесі роботи виділено основні функції та вимоги до вебдодатку, проведено аналіз і вибір актуальних сучасних технологій для серверної та клієнтської частин вебдодатку. Спроектовано й розроблено базу даних вебдодатку. У результаті роботи спроектовано й розроблено вебдодаток, який відповідає поставленим вимогам і виконує всі перелічені функції. Також проведено навантажувальне та стрес-тестування вебдодатку, порівняльний аналіз результатів навантажувальних і стрес-тестів. Для проведення тестування використовувалася утиліта *jMeter*. У результаті отримано статистику за зведеним метрикам продуктивності вебдодатку.

**Ключові слова:** вебдодаток, база даних, розробка вебдодатку, навантажувальне тестування, стрес тестування, *ReactJS*, *Laravel*, *jMeter*.

**Постановка проблеми.** Інформаційні технології поступово ввійшли майже в усі галузі нашого життя. Освітня галузь не виняток. Цифровізація освіти значно спрощує більшість процесів, суттєво економить час учнів і вчителів.

Онлайн-платформа для вивчення ІТ-курсів дасть змогу проходити всі заняття дистанційно, самостійно оцінювати рівень знань за кожною темою, а потім легко застосовувати всі отримані знання на практиці.

Завдяки онлайн-сервісу з вивчення курсів сфера ІТ стає доступною для кожного. Студент має великий вибір серед різноманіття інформаційних джерел у бажаній формі (відео або печатні матеріали у формі статей). Під час проходження курсу студент зможе відстежувати свій прогрес і контролювати власні успіхи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сьогодні студент має величезний вибір платформ для вивчення різноманітних тем, що стосуються ІТ-технологій тощо. Нижче наведено перелік платформ, які є популярними серед студентів:

- Coursehunter – ресурс відеоуроків із програмування для front і back розробників;
- HTMLAcademy – курси для вивчення роботи верстальника;
- Netology – курси для підготовки ІТ-спеціалістів за різними спеціальностями.

Ці ресурси мають велику кількість курсів з відео, вибір серед платних і безкоштовних курсів, досить багато гарних відгуків. Але разом із тим немає можливості відстежувати прогрес у навчанні, видачі сертифікатів про закінчення курсу (у деяких ресурсах із наведеного списку) і тестування після проходження уроків. Контроль знань є вагомим аргументом на користь запам'ятовування матеріалу, адже після проходження уроку треба виділити найважливіші моменти та проконтролювати уважність студента.

**Постановка завдання.** Мета статті – забезпечити доступність вивчення ІТ-курсів дистанційно, дати змогу студенту самостійно корегувати свій план навчання.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі пункти:

- провести аналіз і зробити вибір на користь найбільш ефективних технологій при роботі з великим обсягом даних;
- визначити основні вимоги до сервісу;
- спроектувати сервіс згідно з визначеними вимогами;
- розробити реалізацію сервісу з використанням обраних на першому етапі технологій і з дотримання вимог, визначених на другому етапі роботи;
- проаналізувати ефективність розробленого сервісу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Аналіз сучасних технологій для розробки сервісу. При виборі технологій для розробки необхідно врахувати такі фактори:

- рівень надійності рішення;
- рівень безпеки рішення;
- можливість обробки великих масивів даних, не впливаючи на швидкість роботи сервісу.

Для роботи з клієнтською частиною вибір проводився між двома фреймворками й бібліотекою – Angular, Vue.js і React.js.

Відповідно до статистики із сайту <https://www.npmtrends.com/>, кількість завантажень за останні 6 місяців зображена на рисунку 1.

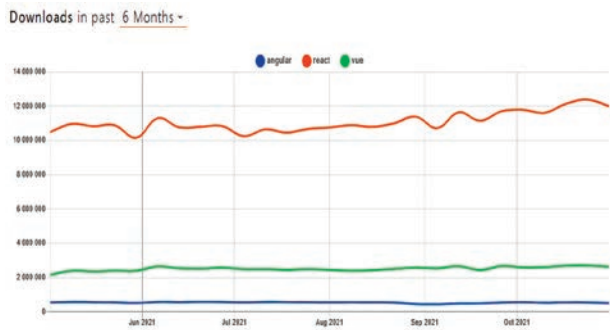


Рис. 1. Обсяги завантажень пакетів angular, react і vue

AngularJS – фреймворк із відкритим вихідним кодом, використовується з мовою програмування – Typescript [1]. Основою розробки на Angular є класово-модульний підхід і використання готових убудованих рішень для масштабування, тестування й оптимізації додатків.

React – це бібліотека JavaScript. Однією з переваг React є простий дизайн, використання JSX для шаблонів і досить докладної документації [2].

Vue.js – це JavaScript-фреймворк, заснований у 2013 році, який ідеально підходить для створення високоадаптованих інтерфейсів користувача і складних односторінкових додатків [3].

Серед двох фреймворків і бібліотеки обрано саме бібліотеку React через її універсальність, простоту та швидкий процес навчання.

React дає змогу створювати вебдодатки, що змінюють відображення без перезавантаження сторінки. Саме завдяки цьому вебдодатки швидко реагують на дії користувача, наприклад, на заповнення форм, застосування фільтрів, додавання товарів у кошик тощо.

Для роботи із серверною частиною обраний Laravel через низку таких переваг:

- MVC [6];
- ORM;
- шаблонізатор – уніфікація відображення програми;
- аутентифікація та інтеграція із сервісами;
- продуктивність;
- система міграцій БД.

Вебдодаток, який є результатом роботи, корисний для вивчення мов програмування або нових ІТ-технологій. Студент має можливість самостійно обрати необхідні для нього курси, проходити урок за уроком, відстежуючи прогрес та історію занять. Курси представлені переважно у відеоматеріалах, які має можливість додати будь-який бажаючий. Після перевірки ІТ-спеціалістом курс буде або відхилено, або відправлено на доробку (якщо не вистачає якихось пунктів для повного розкриття зазначеної теми). Також курси доповнені прикладами коду або архівом із проектом. Крім того, сервіс має бібліотеку книг в електронному форматі, частина яких є платним ресурсом. Вебдодаток має загальну структуру, яка є різною для зареєстрованих користувачів і гостей сайту. Структура вебдодатку для незареєстрованих користувачів:

- головна сторінка (форма пошуку, список курсів, популярні статті);
- сторінка допомоги спеціаліста (з питань користування вебдодатком);
- сторінка реєстрації;
- сторінка входу у вебдодаток(форма для входу у вебдодаток);

Структура вебдодатку зареєстрованих користувачів:

- головна сторінка (форма пошуку, список курсів);
- сторінка профілю користувача (список активних і завершених курсів, редагування особистих даних і налаштувань профілю);

Цей вебдодаток має виконувати такі функції:

- авторизація та реєстрація;
- перегляд навчального матеріалу;
- перевірка знань після проходження навчального матеріалу;

- відстеження прогресу в навчанні;
- створення навчального курсу.

Щоб не випустити з уваги потреби окремих користувачів, виділимо їх у групи. Наприклад, за частотою роботи з ПЗ, використовуваними функціями, рівнем привілеїв і навичками роботи [8].

Таблиця 1

**Характеристики користувачів**

Роль користувача	Характеристики користувача
Відвідувач	Особа, яка може переглядати доступні курси, ознайомитися з темами, які будуть вивчені в процесі. Для проходження курсів необхідно зареєструватися.
Користувач	Особа, яка зареєстрована на сайті, може вибирати й проходити курси, додавати в обране.
Адміністратор	Особа, яка має право редагувати інформацію вебдодатку, допомагати користувачам у режимі чату.
ІТ-спеціаліст	Особа, яка контролює контент курсів і їх коректність. Може видалити, схвалити або відправити на доопрацювання автору.

Реалізацію сервісу можна розділити на три основні частини:

- проектування та розробка бази даних;
- реалізація серверної частини;
- реалізація клієнтської частини.

Для бази даних вебдодатку для вивчення ІТ-курсів знадобиться 7 таблиць:

- користувачів: ім'я, прізвище, номер телефону, місто проживання, роль користувача (звичайний користувач, адміністратор або ІТ-спеціаліст);
- courses – таблиця, зберігає інформацію про курс: назву, короткий опис, прев'ю (картинка), складність курсу (легкий, середній, складний), кількість уроків, унікальний ідентифікатор категорії;
- lessons – таблиця, зберігає інформацію про уроки курсу. Ця таблиця має такі поля: назву уроку, короткий опис, дату створення, унікальний ідентифікатор курсу, якого стосується цей урок, порядковий номер уроку в курсі;
- media – таблиця, зберігає шлях до файлів з медіа, які стосуються певного уроку, та унікальний ідентифікатор уроку;
- progress – таблиця, що пов'язує користувачів і курси, які вони проходять на цей момент. Має такі поля: унікальний ідентифікатор користувача, унікальний ідентифікатор курсу, урок, на якому зараз знаходиться користувач (унікальний ідентифікатор уроку), статус закінчення курсу (прапор, який визначає, користувач у процесі знаходиться чи вже завершив курс);

• categories – таблиця, зберігає дані про категорії, на які можна поділити курси;

• comments – таблиця, зберігає дані про коментарі до кожного курсу, складається з таких полів: унікальний ідентифікатор курсу, унікальний ідентифікатор користувача, що є автором коментаря, заголовок коментаря, кількість балів (за шкалою від 0 до 5 – для визначення рейтингу курсів у своїй категорії) і текст коментаря. Коментарі може залишати лише зареєстрований користувач і тільки по завершенню курсу (перегляду всіх уроків, із яких складається курс).

Серверну частину вебдодатку розроблено мовою PHP на основі фреймворку Laravel з використанням вебсерверу nginx і sql-сервера MySQL.

У вебдодатку для реалізації функції авторизації/реєстрації/відновлення паролю використано пакет Laravel Breeze, який після встановлення та міграції додасть необхідні таблиці до бази даних, створить нові роути для переходу по цих сторінках і шаблони цих сторінок за замовчуванням.

Після аналізу спроектованої бази даних додано міграції для створення таблиць у базі даних. Для комфортної роботи з ресурсами – курси, уроки, медіафайли, коментарі та категорії, створено моделі цих сутностей і контролери для додавання функціоналу CRUD – для читання, створення, видалення й редагування кожної сутності.

Вебдодаток побудовано за шаблоном, де всю логіку роботи з моделями винесено в репозиторій. Репозиторій дає змогу використовувати об'єкти, не знаючи, як ці об'єкти зберігаються. Це абстракція шару даних. Це дає змогу розділити бізнес-логіку та логіку роботи з даними. Бізнес-логіка накладається на репозиторій в отриманні правильних даних.

Клієнтська частина розроблена за допомогою бібліотеки React, для якої характерна наявність головного файлу App.js, у який далі додаються інші компоненти ієрархічно. Кожний компонент має функцію render(), що є головною в компоненті й дає змогу відмалювати компонент на сторінці. Вебдодаток використовує функціональні компоненти та функції хуки для відстежування стану елементів сторінок.

Вебдодаток має такі сторінки: одразу при вході на сайт користувач може побачити всі доступні курси, відфільтрувати їх або відсортувати за бажанням чи потребою. У списку видно лише назву та складність курсу. Для перегляду детальної інформації про курс необхідно перейти за посиланням на сторінку курсу, де наявний короткий опис, перелік уроків, які будуть на курсі.

Вебдодаток має платні й безкоштовні курси, усе залежить від користувачів, які при додаванні свого курсу обирають цю опцію. Тож безкоштовні курси доступні одразу після реєстрації, а платні – після покупки курсу.

Структура клієнтської частини вебдодатку збудована так: стартовий компонент, де починається відмалювання всіх інших компонентів (зазвичай це блок з ідентифікатором root), далі сайт ділиться на навігаційну панель, бокову панель та основний контент. Навігаційна панель зберігає компонент роутера, який збудовано за допомогою router-dom, що дає змогу переходити між сторінками без перезавантаження сторінки.

Для перевірки продуктивності й часу відгуку вебдодатку необхідно провести його навантажувальне тестування. Тестування проводиться за допомогою jMeter. Також цей вид тестування допоможе знайти вузькі місця в сценарії користувача. Метою є збір та аналіз отриманих метрик навантажувального тестування [9].

Виходячи з аналізу предметної галузі, визначили оптимальне число потоків, що водночас працюють, – 50 користувачів. Ця кількість потоків відповідає профілю навантажувального тестування. Також планується провести стрес-тестування. Профіль стрес-тестування становить 80 потоків, що водночас працюють.

Складники навантажувального тестування:

- загальна кількість користувачів у навантажувальному тестуванні = 50 користувачів;
- крок навантаження = 3 користувача кожні 10 секунд;

Сценарій навантажувального тестування:

- авторизація;
- профіль користувача;
- список курсів;
- створення курсу.

Таблиця 2

**Апаратне забезпечення тестового стенду**

Server	vCPUs	Fractional vCPUs	Memory	Maximum egress bandwidth (Gbps)
Ee2	22	00,5	22 GB	1

Після завершення навантажувального тестування сформовано загальний звіт зі зведеними метриками продуктивності

Загальна статистика відображає метрики “Aggregate report” jMeter:

- загальна кількість отриманих відповідей під час тестування – 250;

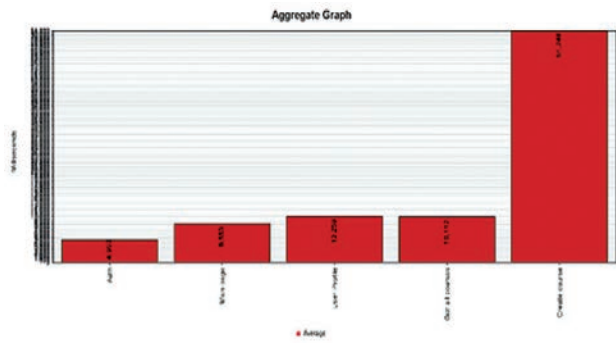


Рис. 2. Aggregate graph

- помилки отримані протягом тесту – 0;
- середній час отримання відповіді – 9703 мс ≈ 10 с;
- мінімальний час отримання відповіді – 1383 мс; тут варто звернути увагу на ендпоінт “Create course”, мінімальний час отримання відповіді якого становить 11068 мс. Це помітна відмінність від інших ендпоінтів;

- максимальний час отримання відповіді – 91162 мс ≈ 91 с; варто звернути увагу на отримання відповіді від сервера при багатопоточних запитах (50 користувачів). Система помітно деградує;

- загальні показники максимального часу відповіді – дуже низькі;
- загальний час 95-го перцентілю – 72298 мс ≈ 72 с;
- запити/секунду – 1,9; навіть без наявності явних вимог до швидкості роботи ендпоінтів можна відзначити, що показник швидкості низький.

Після проведення тестування визначено:

- виходячи з результатів, можна відзначити, що час отримання відповіді в 95% випадках більше ніж 1500 мс, що є дуже низьким показником;
- виявлено вузькі місця системи – “Create Course”;
- помилок під час виконання тесту не сталося;
- система готова витримувати очікуване навантаження на серверну частину програми.

**Висновки.** У підсумку роботи проведено аналіз доступних технологій та обрано найефективнішу технологію для вирішення задачі. Спроектовано й визначено основні вимоги для роботи вебдодатку. Виходячи з результатів дослідницької частини, можемо констатувати, що вебдодаток здатен обслуговувати очікувану кількість користувачів в один момент часу. Також, виходячи з результатів стрес-тестування, треба розробити покращення backend-частини для поліпшеної продуктивності вебдодатку в разі стрес-навантаження. Вебдодаток повністю відповідає вимогам і забезпечує доступність вивчення ІТ-курсів для користувачів.

**Список літератури:**

1. Angular. URL: <https://angular.io/> (дата звернення: 10.10.2021).
2. Документація ReactJS. URL: <https://en.reactjs.org/> (дата звернення: 10.10.2021).
3. Використання Vue.js. URL: <https://vuejs.org/> (дата звернення: 10.10.2021).
4. Стаффер М. Laravel. Повне керівництво. 2-ге видання. Санкт-Петербург : Пітер, 2021. 512 с.
5. Symfony. URL: <https://symfony.com/> (дата звернення: 10.10.2021).
6. Сесіл Мартін Р. Чистий код. Створення і рефакторинг за допомогою Agile. Київ : Фабула, 2019. 448 с.
7. Налаштування nginx сервера. URL: <https://nginx.org/ru/> (дата звернення: 10.10.2021).
8. Вігерс К., Бітті Д. Розробка вимог до програмного забезпечення. 3-тє видання. Москва : Російська редакція, 2017. 736 с.
9. Майєрс Г., Баджетт Т., Сандлер К. Мистецтво тестування програм, 3-тє видання. Київ : Діалектика, 2018. 272 с.

**Holovina K.P., Kasian K.M., Kasian M.M. WEB-BASED APPLICATION FOR LEARNING IT-COURSES**

*Nowadays, more and more industries are being digitized, including the education sector. With the development of the pandemic in the world, distance learning is gaining popularity and relevance due to its safety and convenience. Every year the speed of technology development increases, and there is a need for specialists in this field. Web application, which is the result of the work, offers an online platform for learning IT courses with the functions of self-monitoring by the student of learning process, passing tests after each completed topic.*

*It is proposed to design and implement a web application for learning IT-courses, which will significantly save time for teachers and students, help students choose the courses they need. The student will also have the opportunity to track their progress in learning, study printed materials from the electronic library of the web application, listen to lectures on video recordings of course lessons. You can take several courses at a time to memorize the last lesson the student attended.*

*In the course of work the basic functions and requirements to the web application are allocated, the analysis and a choice of actual modern technologies for server and client parts of the web application is carried out. A web application database has been designed and developed. As a result, a web application was designed and developed that meets the requirements and performs all these functions. There was also a load and stress testing of the web application, a comparative analysis of the results of load and stress tests. The jMeter utility was used for testing. As a result, we obtained statistics on the consolidated performance metrics of the web application.*

**Key words:** *web application, database, web application development, stress testing, stress testing, ReactJS, Laravel, jMeter.*



**Долгих А.О.**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**Байбуз О.Г.**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

## ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ АНСАМБЛЕВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

*Сьогодні ансамблі моделей прогнозування є одним із перспективних напрямів розв'язання задач, де прогностична точність важливіша, ніж можливість інтерпретувати модель. Головна ідея ансамблів полягає в навчанні кількох базових моделей та агрегації результатів їх роботи. Емпіричні дослідження показують, що комбінації прогнозів у середньому частіше дають кращі прогнози, ніж методи, які базуються на виборі лише однієї моделі прогнозування. При побудові ансамблів особливої актуальності набуває питання забезпечення різноманітності моделей та ефективного навчання моделей-членів ансамблю. Стаття присвячена розв'язанню цих питань.*

*У роботі набув подальшого розвитку метод побудови ансамблів моделей прогнозування часових рядів. Запропонований підхід включає побудову таких моделей: моделі авторегресії-ковзкого середнього, моделі нейронної мережі, моделі сингулярного спектрального розкладання, адаптивних моделей, моделі групового урахування аргументів і моделі нечіткої логіки. Для організації навчання та оцінки моделей ансамблю використовуються засоби організації паралельних обчислень фреймворку .NET. Відбір моделей для побудови ансамблевого прогнозу здійснюється за допомогою багатокритеріальної методики. Вона дає змогу оцінювати як точність прогнозування на навчальній часовій послідовності, так і результати аналізу залишків. Крім цього, описано реалізований на базі цих розробок програмний комплекс. Надано діаграму класів і розкриті деталі реалізації програмного продукту.*

*Засобами розробленого програмного забезпечення був проведений аналіз часових рядів фінансової природи. Показано, що використання запропонованого ансамблевого методу дає змогу підвищити точність прогнозування та зменшити час, необхідний для тренування й оцінки моделей-членів ансамблю. Сформульовані напрями та перспективи подальших досліджень.*

**Ключові слова:** часові ряди, ансамблі моделей прогнозування, адаптивні моделі, нейронна мережа, ARIMA, SSA, МГУА, паралельні обчислення, якість прогнозування.

**Постановка проблеми.** Сьогодні задача прогнозування часових рядів набуває особливої актуальності в різних областях людської діяльності: у природничих науках – для прогнозування кількості опадів, стану забруднення водних ресурсів, деяких біологічних і біохімічних показників; в економіці – для прогнозування щоденних біржових котирувань, курсів валют, щотижневих і щомісячних обсягів продажів, річних обсягів виробництва, тощо.

Незважаючи на велике різноманіття моделей прогнозування, яке існує сьогодні [1, с. 20; 2, с. 8], завжди існує вірогідність обрати модель, неприйнятну для досліджуваного процесу. Навіть пошук серед моделей, найбільш придатних для певних вузьких підмножин часових рядів, може не дати бажаних результатів: «Although forecasting expertise can be found in the literature, these sources often fail to adequately describe conditions under which a method

is expected to be successful» [3, с. 2]. Щоб уникнути ризику вибору невідповідного методу, сьогодні часто використовують ансамблі моделей прогнозування. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває питання розробки ефективних алгоритмів ансамблевого прогнозування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Головна ідея ансамблів полягає в навчанні кількох базових моделей та агрегації результатів їх роботи. Емпіричні дослідження показали, що комбінації прогнозів у середньому частіше дають кращі прогнози, ніж методи, які базуються на виборі лише однієї моделі прогнозування [3, с. 3].

При побудові ансамблів особливої актуальності набуває питання забезпечення різноманітності моделей [4, с. 1–2; 5, с. 1]. Зазвичай його вирішують шляхом побудови досить великої кількості моделей із різних класів [6, с. 2–3; 7, с. 14]. У таких умовах актуальним напрямом дослідження є використання

паралельних обчислень для тренування та оцінки моделей прогнозування. Це дає змогу збільшити швидкість побудови моделей прогнозування, ефективно розподіляти ресурси комп'ютера, підвищити масштабованість програми. Окрім цього, певні задачі, такі як аналіз і прогнозування фінансових часових рядів у ризик- і портфоліо-менеджменті, можуть вимагати виконання великої кількості обчислень для досягнення потрібної точності. Застосування паралелізму в цих випадках вважається новим, перспективним напрямом обчислювальної математики [8, с. 123].

**Постановка завдання.** Комбінований прогноз при побудові ансамблів – це лінійна комбінація окремих прогнозів, отриманих різними моделями. Припустимо, що ми маємо сукупність  $M$  моделей прогнозування. Для заданого часового ряду  $\{u_t; t=1, N\}$  і певного прогнозного горизонту  $h$ ,  $j$ -й метод прогнозування дає такий прогноз:

$$y_{N+1}^{(j)}, y_{N+2}^{(j)}, \dots, y_{N+h}^{(j)}, j = \overline{1, M}, \quad (1)$$

тоді комбінований прогноз будують за такою формулою:

$$y_{N+i} = \frac{1}{\sum_{j=1}^M w_j} \cdot \sum_{j=1}^M w_j \cdot y_{N+i}^{(j)}, i = \overline{1, h}, \quad (2)$$

де  $w_i \in [0, 1]$  – вага певного методу,  $\sum_{j=1}^M w_j = 1$ .

Тренування моделей прогнозування, що входять до складу ансамблю, можна розглядати як колекцію незалежних одна від одної задач, які добре підлягають паралелізації. Тому проведені дослідження мали за меті:

- побудувати достатньо широкий спектр моделей часових рядів з різних класів;
- поширити різноманіття ансамблю за рахунок зміни параметрів моделей;
- прискорити час, необхідний для тренування моделей і їх оцінки, за допомогою паралельних обчислень;
- дослідити ефективність застосування такого підходу й порівняти з результатами, отриманими при використанні звичайних, послідовних обчислень;
- оцінити якість побудованої моделі й точність отриманих прогнозів.

**Виклад основного матеріалу.** Реалізовані моделі часових рядів. Як зазначалося раніше, при побудові ансамблю важливо забезпечити достатнє різноманіття моделей. Згідно з роботою [6, с. 1], використання методів з різних класів дає змогу підвищити якість прогнозування. У процесі виконання дослідження розроблений програмний комплекс на платформі .NET, який містить реалізацію адаптивних моделей прогнозування, моделей авторегресії-ковзкого середнього, нейронних мереж, нечіткої логіки, спектрального сингулярного аналізу та групового урахування аргументів. Це досить потужні методи прогнозування, які добре зарекомендували себе в аналізі й прогнозуванні різних за природою та складністю процесів. Нижче наведено їх короткий опис.

**Адаптивні моделі.** При використанні адаптивних моделей часовий ряд подають у вигляді функції:

$$u_t = f(a_{1t}, a_{2t}, \dots, a_{pt}, t) + e_t, \quad (3)$$

під час побудови якої відслідковують величину відхилення прогнозних значень від реальних [9, с. 50]. Для ідентифікації оптимальних значень параметрів цих моделей, так званих коефіцієнтів згладжування, був використаний алгоритм, описаний у роботі [10, с. 16–17].

**Модель ARIMA.** За підходу ARIMA, поінтегрованої моделі авторегресії-ковзкого середнього, часовий ряд представляють у вигляді 4:

$$\Delta^d X_t = c + \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \alpha_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{j=0}^q b_j \varepsilon_{t-j}, \quad (4)$$

де  $c, \alpha_i, b_j$  – параметри моделі,  $\Delta^d$  – оператор різниці часового ряду порядку  $d$ ,  $p$  – порядок авторегресії,  $q$  – порядок ковзкого середнього,  $\varepsilon_t$  – незалежні, нормально розподілені похибки з нульовим середнім та однаковою дисперсією. Головною проблемою, яка виникає при роботі із цими моделями, є задача підбору оптимальних значень порядку інтегрування, авторегресії та ковзкого середнього. У розроблюваному авторами програмному комплексі ця проблема для розв'язку цієї задачі використовувалися процедури, описані в роботі [11, с. 10–11].

**Модель нейронної мережі (ANN).** У ході виконання дослідження була реалізована модель нейронної мережі, запропонована в праці [12, с. 131–133]. За такого підходу на вхід мережі подають  $u_{t-1}, u_{t-2}, \dots, u_{t-p}$  значення ряду, де  $p$  – кількість попередніх значень ряду, які використовуються для обчислення прогнозів. Програмою автоматично обирається таке значення  $p$ , за якого значення інформаційного критерію Акаїке, AIC, є найменшим із можливих. Навчання мережі проводилося з використанням алгоритму Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно (BFGS) [13]. Програмне забезпечення дозволяє побудувати  $M$  нейронних мереж із різними початковими значеннями ваг і зсувів нейронів і видає як прогнозу середнє результатів, отриманих кожною з них.

**Модель сингулярного спектрального розкладання (SSA).** Модель SSA належить до потужних

непараметричних методів аналізу часових рядів. Базовий алгоритм методу складається з двох етапів, які доповнюють один одного: розкладання вихідного часового ряду на адитивні складники та його відновлення. Модифікації базового алгоритму дають змогу побудувати прогноз відносно майбутніх значень ряду на один або декілька кроків уперед [9, с. 62–63].

*Модель нечіткої логіки (FL).* При використанні нечіткої логіки в аналізі даних будується база правил нечітких продукцій, за допомогою якої можна отримувати прогнози стосовно значень досліджуваного процесу. У ході виконання дослідження реалізована процедура нечіткого виводу, описана в роботі [14, с. 3–6]. Вона включає формування універсуму, тобто множини всіх можливих значень ряду:

$$U = [V_{min} - D_1; V_{max} + D_2], \quad (5)$$

де  $V_{max}$  та  $V_{min}$  – максимальне та мінімальне значення ряду,  $D_1$  та  $D_2$  – додатні константи та поділ його на  $m$  інтервалів однакової довжини.

Після цього проводять процедуру фазифікації, тобто кожне значення часового ряду перетворюють у «нечіткий» вигляд. Для цього розраховують значення функції належності рівню до кожного з інтервалів універсуму. Далі проводять виведення «нечітких» прогнозних значень ряду. На останньому етапі, етапі дефазифікації, переходять від нечіткої форми до «чітких» прогнозів.

*Модель групового урахування аргументів (GMDH).* При використанні моделей групового урахування аргументів найчастіше використовують поліноми форми 6:

$$y = a + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} x_i x_j, \quad (6)$$

де  $m$  – число змінних,  $a, b, c, d, \dots$  – це коефіцієнти змінних у поліномі, які також називають вагами,  $Y$  – це майбутнє значення ряду,  $x_i$  та  $x_j$  – попередні значення часового ряду.

Останнього часу все більшого поширення набувають нейронні мережі типу МГУА. При їх використанні в прогнозуванні часових рядів розглядають усі попарні поєднання попередніх значень ряду із затримкою (лагом)  $P$ . Кожну таку комбінацію подають на вхід нейронів і проводять навчання мережі, під час якого знаходять оптимальні моделі нейронів.

Процес навчання такої нейронної мережі складається з обчислення оптимальних значень коефіцієнтів нейронів і вибору їх функцій активації. У програмному комплексі використовуються нейронні мережі МГУА, описані в роботі [15, с. 380–382].

*Використання паралельних обчислень для побудови ансамблю*

Програмне забезпечення для побудови ансамблю прогнозування розроблено на мові C# з використанням можливостей фреймворку .NET. За допомогою інтерфейсу програми користувач має змогу змінювати типи та кількість моделей, які входять до складу ансамблю. За замовчуванням, до ансамблю входять моделі з усіх класів, описаних вище.

Після того, як склад ансамблю сформований, проводиться навчання моделей прогнозування та їх оцінка. Блок-схему алгоритму навчання моделей проілюстровано на рис. 1. Реалізований підхід використовує паралелізм задач.

Починаючи з версії 4 .NET-фреймворку, найкращим способом застосування паралельних обчислень у C#-програмі вважається бібліотека паралельних задач TPL, яка являє собою набір загальнодоступних типів у просторах імен System.Threading і System.Threading.Tasks. Її використання дає змогу підвищити ефективність і масштабованість коду, водночас спрощуючи процес додавання паралелізму в програму для розробника.

Для навчання моделей ансамблю та їх оцінки використовувався метод Parallel.ForEach<TSource>(IEnumerable<TSource>, Action<TSource>) із простору імен System.Threading.Tasks. Він дає проводити тренування й оцінку якості моделей ансамблю паралельно за допомогою пулу потоків System.Threading.ThreadPool. Перевагами

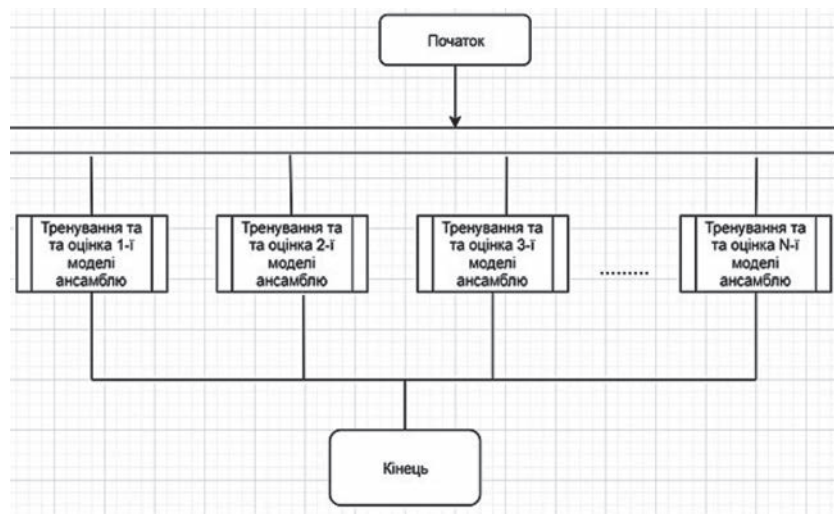


Рис. 1. Алгоритм навчання моделей ансамблю

використання `Parallel.ForEach` є те, що цей підхід, окрім забезпечення паралельності обчислень, ефективно розподіляє список моделей, які потрібно натренувати, між робочими потоками, тобто нові потоки створюються лише за необхідності, а не автоматично окремий потік для кожного завдання. Це може забезпечити значно кращі показники загальної продуктивності, коли кількість моделей в ансамблі невелика [16].

Моделі, реалізовані в програмному комплексі, належать до єдиної ієрархії та є наслідниками класу `GeneralForecastingModel`. Діаграму класів розробленого комплексу наведено на рис. 2.

Для навчання моделей використовується віртуальний метод `FitModel`. Його базова реалізація, що знаходиться у класі `GeneralForecastingModel`, є порожньою. Кожна з моделей-нащадків реалізує власний алгоритм навчання. Для забезпечення виконання тренування моделей і їх оцінки в правильному порядку використовувалася технологія `Continuation Task`, або задачі продовження. Задачі продовження – це асинхронні задачі, які викликаються попередніми задачами після свого завершення. Задачі продовження створюються за допомогою методу `ContinueWith` класу `Task` [17]. Як попередні задачі використовуються методи навчання моделей, а задачі продовження – це методи оцінки їх якості. Оцінка якості моделей проводиться з використанням критерію Акаїке й

аналізу залишків моделі. Після цього кожна модель прогнозування отримує певний рейтинг за процедурою, описаною в роботі [18, с. 133–135]. Моделі з найвищим рейтингом, за замовчуванням, 10% з усіх побудованих, беруть участь у побудові прогнозів щодо майбутніх значень ряду. Для агрегації результатів використовується середнє арифметичне прогнозів, отриманих кожною моделлю окремо.

**Результати роботи запропонованого алгоритму побудови ансамблю моделей прогнозування.** Тестування розробленого програмного забезпечення проводилося на фінансових часових рядах, які являють собою щоденні коливання цін на акції американських компаній у період із січня 2017 року по січень 2018 року, розташованих на ресурсі фінансової інформації «Yahoo!» [19].

У поточному розділі наведені результати апробації запропонованого підходу для прогнозування щоденних цін на акції компанії `Diebold Incorporated, DBD` на момент відкриття біржі (рис. 3). `Diebold Incorporated` є виробником комплексних систем самообслуговування й безпеки для банків і фінансових інститутів. Попередній аналіз часового ряду свідчить про те, що в ряді наявна тенденція до спадання та періодичний складник. Для перевірки ряду на наявність тренду використовувався ранговий критерій Спірмена, а для тестування наявності сезонної компоненти – критерії екстремальних точок і серіальної кореляції.

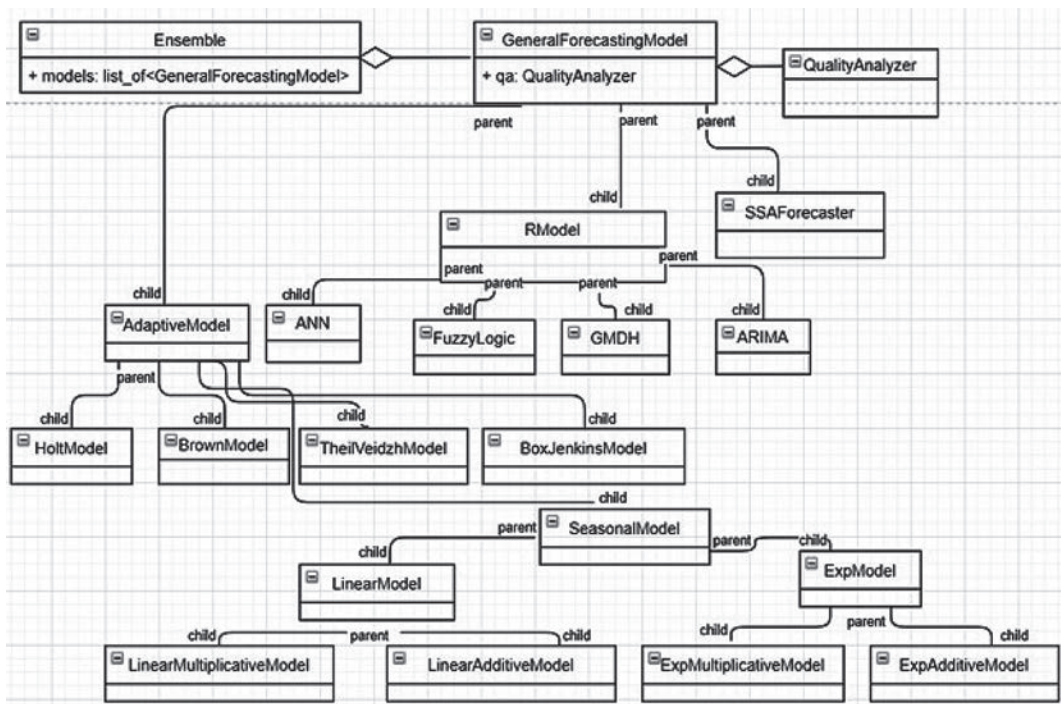


Рис. 2. Діаграма класів розробленого програмного комплексу

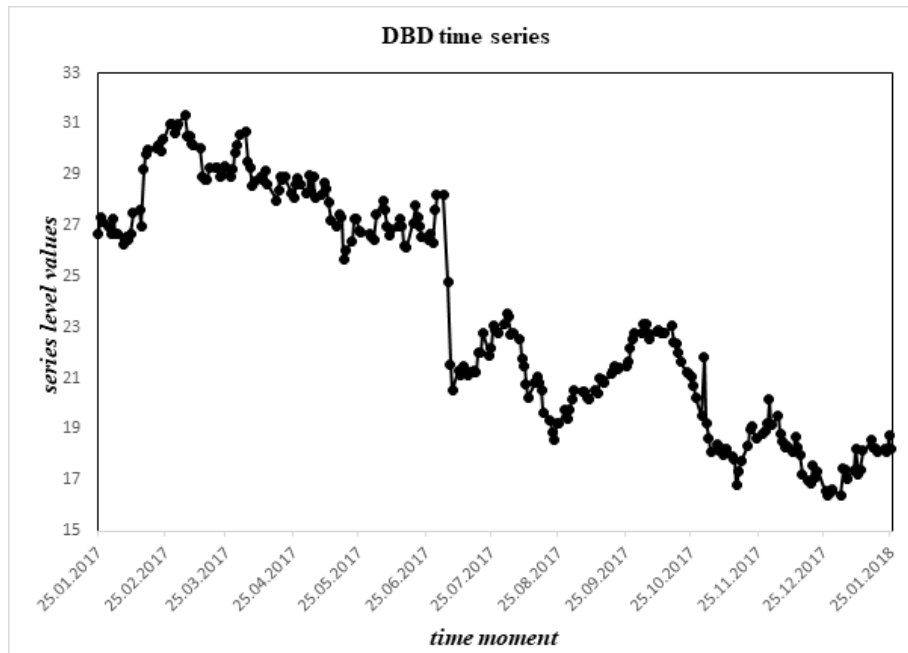


Рис. 3. Часовий ряд цін на акції компанії DBD

Таблиця 1

Середній час побудови ансамблю при використанні паралельних і послідовних обчислень для ряду DBD

Кількість моделей	$T_1(n)$	$T_p(n)$	$p$	$S_p(n)$	$E_p(n)$
25	27766,2	4612,6	28	6,0196	0,2149
50	46475,8	7597,6	29	6,1171	0,2109
75	67669,2	10766,8	27	6,2877	0,2328
100	110879,4	13568,2	29	8,1720	0,2817
125	115078,4	15799,2	29	7,2838	0,2511

Для прогнозування майбутніх рівнів ряду застосовано ансамблевий підхід. Результати використання паралельного алгоритму побудови ансамблю порівнюються з результатами послідовного підходу за допомогою таких характеристик, як прискорення й ефективність (таблиця 1, рис. 4).

Прискорення, яке ми отримуємо при використанні паралельного алгоритму для  $p$  процесорів, у порівнянні з послідовним варіантом виконання обчислень визначається формулою 7:

$$S_p(n) = \frac{T_1(n)}{T_p(n)}, \quad (7)$$

де  $T_1(n)$  – час рішення задачі на скалярній електронно-обчислювальній машині,  $T_p(n)$  – час виконання паралельного алгоритму.

Ефективність використання паралельним алгоритмом процесорів обчислюється за формулою:

$$E_p(n) = \frac{S_p(n)}{p}, \quad (8)$$

де  $S_p(n)$  – прискорення,  $p$  – кількість процесорів. Величина ефективності визначає середню частку

часу виконання алгоритму, протягом якої процесори реально використовуються для вирішення завдання.

Тестування проводилося на комп'ютері з оперативною пам'яттю 8Гб та процесором Intel(R) Core(TM) i5-6200U з частотою 2.40 Гц, двома ядрами й чотирма логічними процесорами.

З таблиці 1 і рис. 4 видно, що використання паралельних обчислень дає змогу зменшити час, необхідний для тренування моделей, у 6–8 разів. При цьому в разі збільшення кількості моделей прогнозування в ансамблі збільшується прискорення й ефективність запропонованого методу.

Під час проведення експерименту прогнози, отримані прогнозування з використанням ансамблю, порівняні з результатами роботи окремих моделей, а саме: ARIMA, ANN, FL, GMDH, SSA – та адаптивною моделлю Хольта. У таблиці 2 наведено прогнозні значення ряду, побудовані реалізованими моделями, і реальні значення ряду для горизонту прогнозування  $h = 1..5$ . У таблиці 3 показано, як змінюється значення середньоквадратичної похибки прогнозу, MSE залежно від горизонту прогнозування для ансамблю й окремих його членів.

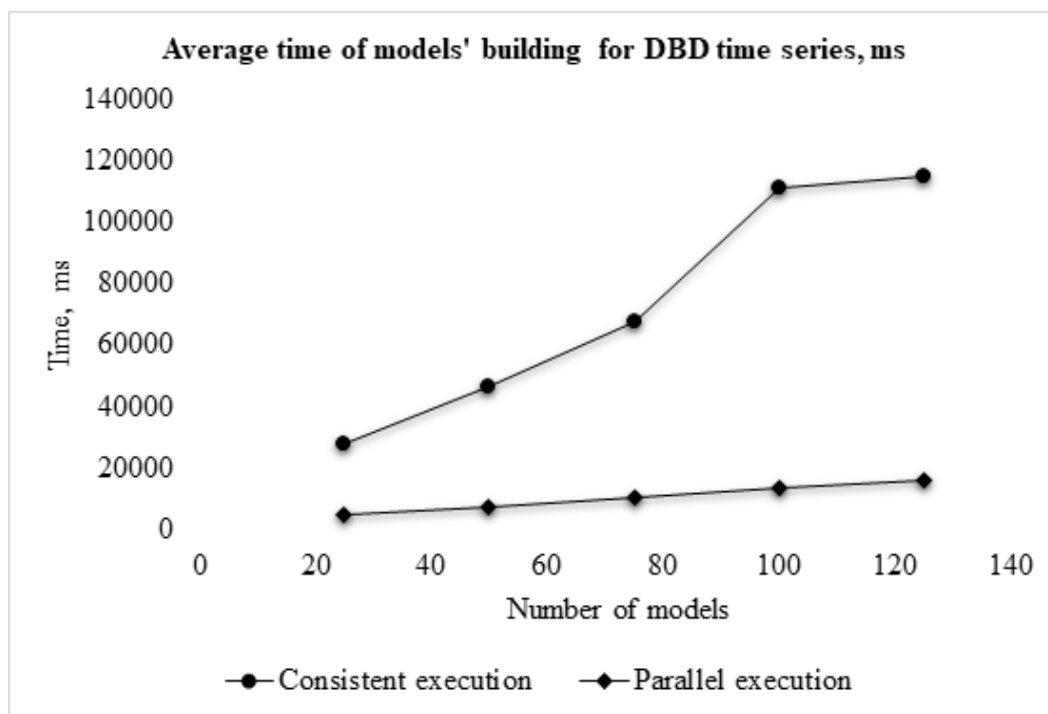


Рис. 4. Середньочасові затрати на побудову ансамблю прогнозування з використанням послідовного та паралельного підходів

Таблиця 2

**Прогнозні значення ряду, отримані ансамблем моделей і кожною моделлю окремо**

Модель/прогнознi значення	h = 1	h = 2	h = 3	h = 4	h = 5
ARIMA	18,2165	18,1829	18,1494	18,1159	18,0823
Модель FL	17,725	17,2	16,675	16,15	15,625
Модель ANN	18,2707	18,2898	18,3076	18,324	18,3393
Модель GMDH	18,4502	18,4542	18,5216	18,5798	18,6375
Модель SSA	17,9079	17,6457	17,379	17,1079	16,8326
Модель Хольта	18,2627	18,2163	18,1009	18,1655	18,1401
Ансамбль прогнозування	18,256	18,1919	18,1774	18,1818	18,1469
Реальні значення ряду	18,1	18,05	18,55	18,5	18,3

Таблиця 3

**Порівняння якості прогнозування з використанням середньоквадратичної похибки, MSE**

Модель/значення MSE	h = 1	h = 2	h = 3	h = 4	h = 5
ARIMA	0,0136	0,0156	0,0639	0,0848	0,0773
Модель FL	0,1406	0,4316	1,4596	2,4753	3,4114
Модель ANN	0,0291	0,0433	0,0485	0,0441	0,0356
Модель GMDH	0,1226	0,143	0,0956	0,0733	0,0814
Модель SSA	0,0369	0,1002	0,5239	0,8774	1,1326
Модель Хольта	0,0265	0,0271	0,0853	0,0919	0,0787
Ансамбль прогнозування	0,0243	0,0222	0,0611	0,0711	0,0616

З приведених результатів видно, що при використанні ансамблю моделей у більшості випадків вдається досягти підвищення точності прогнозування. Однак існують випадки, коли при використанні окремої моделі, наприклад, ANN для гори-

зонтів  $h = 3$ ,  $h = 4$ ,  $h = 5$  та ARIMA для  $h = 1$ ,  $h = 2$ , похибка прогнозу є меншою, ніж при використанні агрегованого прогнозу. У таблиці 4 показано, наскільки вдалося у відсотках зменшити значення  $MSE$  при використанні ансамбле-

вого підходу в порівнянні з окремими моделями. На рис. 5 зображено реальні значення ряду та прогнози, побудовані за допомогою ансамблевого підходу.

Фактичні значення ряду для всього горизонту прогнозування  $h = \overline{1..5}$  знаходяться в межах довірчого інтервалу, що свідчить про якість побудованої ансамблевої моделі.

**Висновки.** При побудові ансамблю прогнозування особливо важливим стає питання забезпечення різноманіття моделей, що входять до його складу. У роботі запропоновано розширити спектр моделей за рахунок побудови моделей різних класів і зміни їх параметрів. У ході виконання дослідження реалізовані такі моделі часових рядів: адаптивні, SSA, FL, GMDH, ANN та ARIMA. Для пришвидшення виконання обчислень, необхідних для побу-

дови ансамблю, розроблено алгоритм паралельного навчання й оцінювання моделей із використанням бібліотеки TPL .NET-фреймворку. Він дає змогу істотно скоротити час, необхідний для побудови ансамблю. З аналізу результатів роботи запропонованого методу випливає, що в більшості випадків комбінований прогноз дає більш точні результати, ніж результати окремих моделей. Однак існують також ситуації, коли результати окремої моделі показують менше значення похибки прогнозу. У зв'язку з цим як напрями майбутніх досліджень можна виділити такі:

- дослідження нових методів відбору моделі прогнозування для заданого часового ряду;
- розробка засобів агрегації результатів прогнозування, отриманих різними моделями.

Таблиця 4

Зменшення *MSE* у відсотках при побудові прогнозів із використанням ансамблю й окремих моделей

Модель/кількість прогнозів	h = 1	h = 2	h = 3	h = 4	h = 5
ARIMA	N/A	N/A	4.3818	16.1557	20.3105
FL	82,7169	94,8564	95,8139	97,1276	98,1943
ANN	16,4949	48,7298	N/A	N/A	N/A
GMDH	80,1795	84,4756	36,0879	3,0013	24,3243
SSA	34,1463	77,8443	88,3375	91,8965	94,5612
Модель Хольта	8,3019	18,0812	28,3705	22,6333	21,7281

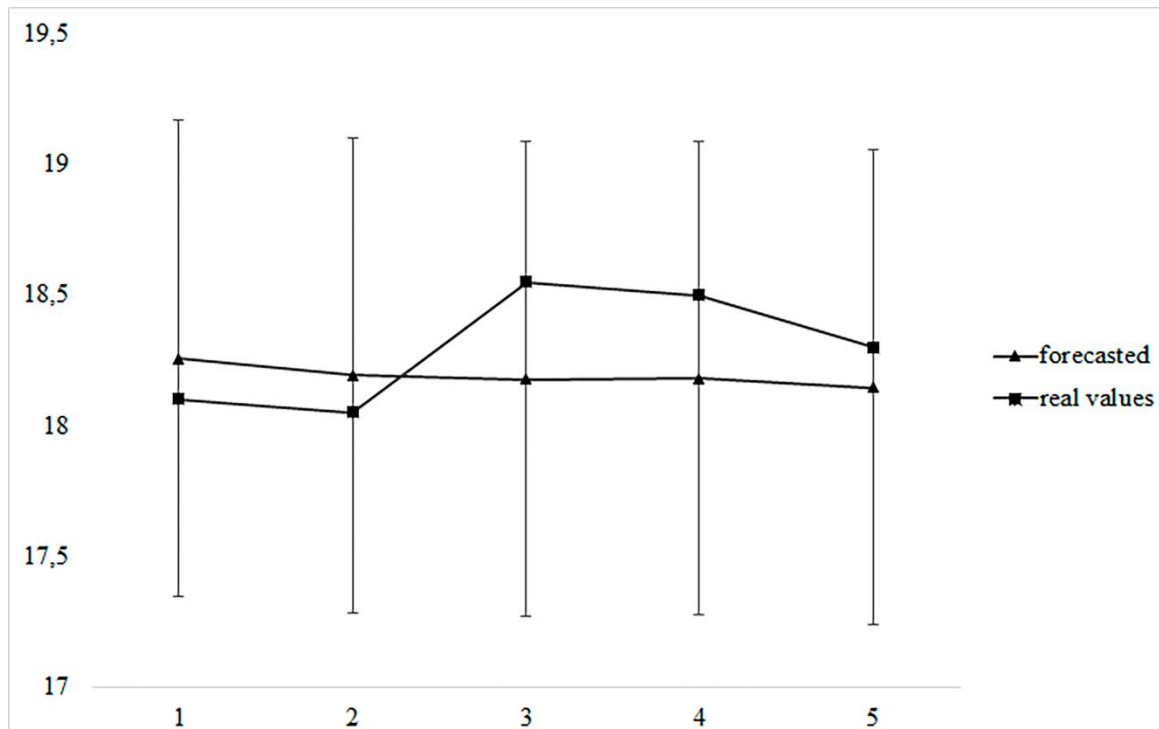


Рис. 5. Фактичні та прогнозні значення ряду DBD для горизонту прогнозування  $h = \overline{1..5}$

Список літератури:

1. Чучуєва І.А. Модель прогнозування часових рядів за вибіркою максимальної правдо подоби : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.00 / Московський державний технічний університет. Москва, 2012. 154 с.
2. Тихонов Э.Е. Методы прогнозирования условий рынка : учебное пособие. Невинномиск : Северокавказский государственный технический университет, 2006. 221 с.
3. Armstrong J.S., Adya M., Collopy F. Rule-based forecasting: using judgement in time series extrapolation. *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* / Ed. J.S. Armstrong. Norwell. MA : Kluwer Academic Publishers, 2001. P. 257–283.
4. David F. Hendry, Michael P. Clements. Pooling of forecasts. *Econometrics Journal*. 2004. Vol. 7. P. 1–31.
5. Mariana Oliveira, Luis Torgo. Ensembles for Time Series Forecasting. *Proceedings of Machine Learning Research: Workshop and Conference Proceedings*. 2015. Vol. 39. P. 360–370.
6. Wichard J.D., Ogorzalek M. Time series prediction with ensemble models. *Neurocomputing*. 2007. Vol. 70. № 13–15. P. 2371–2378.
7. David Shaub, Peter Ellis. Package 'forecastHybrid'. URL: <https://cran.r-project.org/web/packages/forecastHybrid/forecastHybrid.pdf> (дата звернення: 25.01.2019).
8. Норкін Б.В. Системний імітаційний аналіз та оптимізація страхового бізнесу. *Кібернетика і системний аналіз*. 2014. Т. 52. № 2. С. 112–125.
9. Білобородько О.І., Ємел'яненко Т.Г. Аналіз динамічних рядів : навчальний посібник. Дніпро : РВВ ДНУ, 2014. 80 с.
10. Долгіх А.О., Білобородько О.І., Байбуз О.Г. Знаходження оптимальних значень параметрів адаптивних моделей прогнозування часових рядів з використанням генетичного алгоритму. *Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій*. 2016. № 20. С. 11–22.
11. Hyndman R.J., Khandakar Y. Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R. *Journal of Statistical Software*. 2008. Vol. 27. № 3.
12. Hyndman R.J. Forecasting: Principles and Practice. University of Western Australia, 2014.
13. Борисов Э.С. Про методи навчання багаточарових нейронних мереж прямого розповсюдження. Частина 3 : Градієнтні методи другого порядку. URL: <http://mechanoid.su/neural-net-backprop3.html> (дата звернення: 25.01.2019).
14. Abbasov A.M., Mamedova M.H. Application of fuzzy time series to population forecasting. *CORP*. 2003.
15. Dag O., Yozgatligil C. GMDH: An R Package for Short Term Forecasting via GMDH-Type Neural Network Algorithms. *The R Journal*. 2016. Vol. 8. № 1. P. 379–386.
16. Partitioner Class. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/api/system.collections.concurrent.partitionerr?view=netframework-4.8> (дата звернення: 31.10.2019).
17. Chaining Tasks by Using Continuation Tasks. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/standard/parallel-programming/chaining-tasks-by-using-continuation-tasks> (дата звернення: 31.10.2019).
18. Долгіх А.О., Байбуз О.Г. Порівняльний аналіз ефективності моделей прогнозування часових рядів за допомогою багатокритеріальної процедури на прикладі фінансових показників. *Вісник Житомирського державного політехнічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2019. № 1 (83). С. 131–141.
19. YAHOO! Finance. URL: <https://finance.yahoo.com/> (дата звернення: 31.10.2019).

**Dolhikh A.O., Baibuz O.G. INFORMATION TECHNOLOGY OF ENSEMBLES FORECASTING USING PARALLEL COMPUTING**

Nowadays, ensembles of forecasting models are one of the promising areas of task solving, where predictive accuracy is more important than the ability to interpret the model. The main idea of ensembles is to teach several basic models and to aggregate the results of their work. Empirical studies show that combinations of forecasts on average often give better forecasts than methods based on the choice only one forecasting model. In the construction of ensembles, the issue of ensuring the diversity of models and the issue of effective training of ensemble members become especially actual. The article is devoted to solving these issues.

The method of building ensembles of time series forecasting models has been further developed in the current research. The proposed approach includes the construction of the following models: autoregressive integrated moving average model, the neural network model, the singular spectrum analysis model, adaptive models, the group method of data handling and the fuzzy logic model. To organize the training and quality evaluation of ensemble models, the means of organizing parallel calculations of the .NET framework have been used. The selection of models for the construction of the ensemble forecast is carried out using multi-criteria method. It allows to assess both the accuracy of forecasting on the training time sequence, and the results of the residual analysis. In addition, the article describes the software package implemented on the basis of these developments. The class diagram and details of realization of a software product have been presented.

By means of the developed software the analysis of time series of the financial nature has been carried out. It is shown that the use of the proposed ensemble method allows to increase the accuracy of forecasting and to reduce the time required for training and evaluation of ensemble member models. Directions and prospects of further research have been formulated.

**Key words:** time series, ensembles of forecasting models, adaptive models, artificial neural network, ARIMA, SSA, GMDH, parallel computing, forecasting quality.



**Жученко А.І.**

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

**Ситніков О.В.**

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

**Губар Б.П.**

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

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗОВНІШНЬОГО ТЕПЛООБМІНУ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

*У статті викладено основні положення щодо створення математичної моделі для регенеративної скловарної печі ванного типу. Процес скловаріння досить складний для експериментальних досліджень, датчики термопар устанавлюються у відповідних зонах печі, необхідна адекватна математична модель, яка буде максимально точно відобразити дані температур у точках скломаси, де установа датчиків неможлива технічно. Під час дослідження та проведення математичного моделювання використана структурно-параметрична схема печі, що враховує всі входи й виходи до об'єкта керування. Математичний опис скловарної печі включає опис рівняння зовнішнього теплообміну для скломаси, кладки й газу. Під зовнішнім теплообміном розуміють теплообмін між об'єктом і його оточенням: теплообмін між скломасою та відповідним їй навколишнім середовищем – кладкою та газовим простором. Для кожного зі складників розроблено власний математичний опис.*

*Складники печі (скломаса, кладка та газовий простір) мають по два контактні елементи між собою. Розроблена система рівнянь зовнішнього теплообміну, що отримується з рівнянь балансу випромінювання поверхні: ефективно й результуюче випромінювання. Відповідно до закону Ламберта, власне та відбиваюче випромінювання формують рівняння ефективного випромінювання поверхні скломаси та кладки. Виходячи з аналізу попередніх досліджень, у розв'язку задач математичного моделювання скловарної печі в першому наближенні результуюче випромінювання кладки прийнято нулю, температура скломаси та кладки взята рівним середньооефективним величинам. Розроблена й досліджена система рівнянь для теплових потоків скломаси та кладки покладена в основу створення структурної схеми скловарної печі, яка являє собою вид моделі, отриманий за допомогою схеми зв'язків між складовими елементами об'єкта.*

**Ключові слова:** математична модель, скломаса, зовнішній теплообмін, випромінювання, тепловий потік.

**Постановка проблеми.** Для аналізу й синтезу системи керування необхідно розроблення досконалої моделі об'єкта керування. Побудова моделі базується на формалізації закономірностей функціонування об'єкта. Одним із найефективніших методів побудови моделі складного об'єкта є його ідентифікація.

Якість продукції та економія пального значною мірою залежать від організації теплових режимів роботи печі [1]. Процес варіння скломаси відбувається в умовах граничної температури експлуатації кладки, інтенсифікація варіння скла стає можливою при раціональному використанні теплової енергії ванни печі. Задача з дослідження теплофізичних характеристик роботи печі

необхідна для режиму роботи печі, що відповідає заданим умовам енергоефективності. У свою чергу, дослідження можливе на основі результатів математичного моделювання внутрішнього теплообміну та створення системи керування, яка б ефективно підтримувала заданий тепловий режим [2]. Складність створення математичної моделі зумовлена всім різноманіттям фізичних явищ, що протікають у процесі варіння скломаси. Сталість теплотехнічних параметрів роботи печі відповідає отриманню скломаси з високим ступенем термічної однорідності. Підтримання заданого температурного режиму скловарної печі зумовлено процесами хімічного перетворення та сприяє нагріванню шихти до температури

плавлення, повного розчинення компонентів шихти в розплаві скла.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стан математичного моделювання скловарної печі, наведений у роботах [1–7], показав процеси, які протікають під час виготовлення скломаси, взаємозв'язок між процесами та складниками печі (до процесів належить теплообмін і гідродинамічний рух скломаси у ванні печі). Виходячи з розглянутих матеріалів, виявили, що не розглянута система рівнянь зовнішнього теплообміну для скломаси, яка, у свою чергу, отримується з балансу ефективного й результуючого випромінювання скломаси, кладки та газового середовища.

**Постановка завдання.** Об'єктом дослідження є регенеративна скловарна піч ванного типу з поперечним поданням полум'я, що встановлена на низці вітчизняних виробничих і зарубіжних підприємств. Математична модель печі, що буде розрахована, повинна враховувати всі технологічні особливості процесу теплообміну між складниками печі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Скловарна піч як об'єкт математичного моделювання містить декілька складників: скломасу, кладку та газовий простір. Кожен зі складників моделі повинен мати свій математичний опис для розрахунку взаємодії між складниками в моделі об'єкта керування.

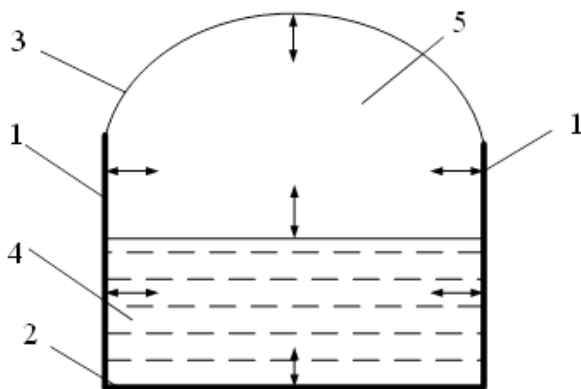


Рис. 1. Схема скловарної печі ванного типу в поперечному перерізі  
1 – бокові стінки, 2 – дно, 3 – склепіння, 4 – скломаса, 5 – газовий простір

Як видно зі схеми, скломаса контактує з газовим середовищем, стінками і дном (надалі 1, 2 і 3 позначаються як кладка), газовий простір – зі скломасою та кладкою, кладка – зі скломасою та газовим простором. Взаємозв'язок складників використовується при створенні системи рівнянь теплових потоків [3; 4].

Математичний опис скловарної печі як об'єкта дослідження включає рівняння зовнішнього

теплообміну для скломаси, кладки й газу. Під зовнішнім теплообміном розуміють теплообмін між об'єктом і його оточенням – теплообмін між скломасою та середовищем, що її оточує (кладкою та газовим простором). Система рівнянь зовнішнього теплообміну отримується з рівнянь балансу для ефективного й результуючого випромінювання поверхні та середовища у вигляді рівнянь теплових потоків відповідних груп, які беруть участь у теплообміні [5; 6; 7; 8]. При цьому приймається, що ефективне випромінювання поверхні скломаси та кладки підпорядковується закону Ламберта: поглинаючі здібності випромінювачів рівні для всіх променевих потоків і дорівнюють відповідним ступеням чорноти. Оптичні характеристики випромінюючого середовища та поверхні не залежать від просторових координат і беруться як середньоефективні величини [4; 8].

Уведемо припущення [9–13]: сталість густини ефективного випромінювання скломаси та кладки, сірі властивості випромінювачів, рівність температури випромінюючого середовища за загальним об'ємом простору, що випромінюється. Поглинальні здібності випромінювачів однакові для всіх променевих потоків і рівні визначеним ступеням чорноти. Температура скломаси та кладки береться рівною середньоефективним величинам. Використаємо формулу для розрахунку передачі тепла:

$$q [4] : q = \sigma_v (T_{\text{вип}}^4 - T_{\text{пром}}^4),$$

де  $\sigma_v$  – видимий коефіцієнт випромінювання,  $T_{\text{вип}}$  – температура випромінюючого середовища,  $T_{\text{пром}}$  – температура променесприймаючого середовища.

Ефективне випромінювання дзеркала скломаси  $E_{\text{еф.ск}}$  обраховується за формулою [3; 7; 8]:  $E_{\text{ск}} = E_{\text{влас}} + E_{\text{відр}}$ , де  $E_{\text{влас}}$  – власне випромінювання,  $E_{\text{відр}}$  – відбиваюче випромінювання.

Розглянемо окремо складники ефективного випромінювання дзеркала скломаси [3; 7; 8]:

$$E_{\text{влас}} = \sigma_0 \cdot \epsilon_{\text{ск}} \cdot F_{\text{в}} \cdot T_{\text{ск}}^4 = 446 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}}^4,$$

де  $\sigma_0$  – стала Стефана-Больцмана ( $5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$ ),  $\epsilon_{\text{ск}}$  – ступінь чорноти скломаси 0,82 [8; 14],  $T_{\text{ск}}$  – температура скломаси,  $F_{\text{в}}$  – поверхня ванни.

$$E_{\text{відр}} = E_{\text{відр.газ}} + Q_{\text{відр.кл}}$$

де  $E_{\text{відр.газ}}$  – відбиваюче випромінювання газу,  $Q_{\text{відр.кл}}$  – тепловий потік від кладки.

$$\begin{cases} E_{\text{відр.газ}} = \sigma_0 \cdot \epsilon_{\text{газ}} \cdot F_{\text{в}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{ск}}) \cdot T_{\text{газ}}^4, \\ Q_{\text{відр.кл}} = E_{\text{еф.кл}} \cdot \frac{F_{\text{к}}}{F_{\text{в}}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{газ}}) \cdot (1 - \epsilon_{\text{ск}}); \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_{\text{відр.газ}} = \sigma_0 \cdot \epsilon_{\text{газ}} \cdot F_{\text{в}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{ск}}) \cdot T_{\text{газ}}^4, \\ Q_{\text{відр.кл}} = E_{\text{еф.кл}} \cdot \psi_{\text{кл}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{газ}}) \cdot (1 - \epsilon_{\text{ск}}); \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_{\text{відр.газ}} \approx 21,75 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4, \\ Q_{\text{відр.кл}} \approx 0,2 \cdot E_{\text{еф.кл}}; \end{cases}$$

де  $\epsilon_{\text{газ}}$  – ступінь чорноти газу 0,222 [8; 14],  $T_{\text{газ}}$  – температура газу,  $F_{\text{кл}}$  – поверхня кладки,  $\Psi_{\text{кл}}$  – ступінь розвитку кладки, що дорівнює відношенню взаємовипромінюючих площ  $\Psi_{\text{кл}} = F_{\text{кл}}/F_{\text{ск}}$ ,  $F_{\text{ск}} = 96\text{м}^2$ ,  $F_{\text{кл}} = 141,1\text{м}^2$ , звідки:  $\Psi_{\text{кл}} = 1,47$ .

Таким чином,  $E_{\text{еф.ск}}$  розраховується за формулою, виходячи з відповідних значень степені чорноти тіла та площі дзеркала скломаси:

$$E_{\text{еф.ск}} = 446 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}}^4 + 21,75 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 1,47 \cdot E_{\text{еф.кл}}.$$

Ефективне випромінення кладки необхідно знайти. Розрахуємо власне випромінення кладки, відбиваюче випромінення кладки й відбиваюче випромінення газу  $E_{\text{влас.кл}}$ ,  $E_{\text{відр.кл}}$ ,  $E_{\text{відр.газ}}$  [3; 4; 8]:

$$E_{\text{влас.кл}} = \sigma_0 \cdot \epsilon_{\text{кл}} \cdot F_{\text{кл}} \cdot T_{\text{кл}}^4 = 744 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}}^4$$

$$E_{\text{відр.кл}} = E_{\text{відр.газ}} + Q_{\text{відр.ск}} + Q_{\text{відр.кл}}$$

$$E_{\text{відр.газ}} = \sigma_0 \cdot \epsilon_{\text{газ}} \cdot F_{\text{кл}} \cdot T_{\text{газ}}^4 \cdot (1 - \epsilon_{\text{кл}}) = 12,43 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4,$$

де  $\epsilon_{\text{кл}}$  – ступінь чорноти кладки (0,93) [8; 14],  $T_{\text{кл}}$  – температура кладки.

$$\begin{aligned} Q_{\text{відр.ск}} &= E_{\text{еф.ск}} \cdot (1 - \epsilon_{\text{газ}}) \cdot (1 - \epsilon_{\text{кл}}) = \\ &= E_{\text{еф.ск}} \cdot (1 - 0,222) \cdot (1 - 0,93) = 0,05 \cdot E_{\text{еф.ск}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{відр.кл}} &= E_{\text{еф.кл}} \cdot (1 - \Psi_{\text{ск}}) \cdot (1 - \epsilon_{\text{газ}}) \cdot (1 - \epsilon_{\text{кл}}) = \\ E_{\text{еф.кл}} \cdot (1 - 0,68) \cdot (1 - 0,222) \cdot (1 - 0,93) &= 0,02 \cdot E_{\text{еф.кл}} \end{aligned}$$

$$E_{\text{еф.кл}} = 744 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}}^4 + 12,43 \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,05 \cdot E_{\text{еф.ск}} + 0,02 \cdot E_{\text{еф.кл}}$$

де  $\Psi_{\text{ск}}$  – ступінь розвитку скломаси, що дорівнює відношенню взаємовипромінюючих площ  $\Psi_{\text{ск}} = F_{\text{ск}}/F_{\text{кл}}$ ,  $F_{\text{ск}} = 96\text{м}^2$ ,  $F_{\text{кл}} = 141,08\text{м}^2$ , отже,  $\Psi_{\text{ск}} = 0,68$ .

Існує залежність, що об'єднує результуюче, падаюче й ефективне випромінення [14]:  $E_{\text{рез}} = E_{\text{пад}} + E_{\text{еф}}$ , виходячи з якої необхідним для пошуку є значення падаючого ( $E_{\text{пад}}$ ) та результуючого ( $E_{\text{рез}}$ ) випромінення [3; 14]:

$$\begin{aligned} E_{\text{пад.ск}} &= \frac{E_{\text{відр.ск}}}{(1 - \epsilon_{\text{ск}})} = \frac{21,75 \cdot T_{\text{газ}}^4 \cdot 10^{-8} + 0,2 \cdot E_{\text{еф.кл}}}{(1 - 0,82)} = \\ &= 120,8 \cdot T_{\text{газ}}^4 \cdot 10^{-8} + 1,11 \cdot E_{\text{еф.кл}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{пад.кл}} &= \frac{E_{\text{відр.кл}}}{(1 - \epsilon_{\text{кл}})} = \frac{12,43 \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,05 \cdot E_{\text{еф.ск}} + 0,02 \cdot E_{\text{еф.кл}}}{(1 - 0,93)} = \\ &= 177,6 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,71 \cdot E_{\text{еф.ск}} + 0,28 \cdot E_{\text{еф.кл}} \end{aligned}$$

$$E_{\text{рез.ск}} = 120,8 \cdot T_{\text{газ}}^4 \cdot 10^{-8} + 1,11 \cdot E_{\text{еф.кл}} - E_{\text{еф.ск}}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{рез.кл}} &= 177,6 \cdot T_{\text{газ}}^4 \cdot 10^{-8} + 0,71 \cdot E_{\text{еф.ск}} + 0,28 \cdot E_{\text{еф.кл}} - E_{\text{еф.кл}} = \\ &= 177,6 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,71 \cdot E_{\text{еф.ск}} - 0,72 \cdot E_{\text{еф.кл}} \end{aligned}$$

У результаті отримана система з 4-х рівнянь з 4-ма невідомими:

$$\begin{cases} E_{\text{еф.ск}} = 446 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}}^4 + 21,75 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,2 \cdot E_{\text{еф.кл}}, \\ E_{\text{еф.кл}} = 744 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}}^4 + 12,43 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,05 \cdot E_{\text{еф.ск}} + 0,02 \cdot E_{\text{еф.кл}}, \\ E_{\text{рез.ск}} = 120,8 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 1,11 \cdot E_{\text{еф.кл}} - E_{\text{еф.ск}}, \\ E_{\text{рез.кл}} = 177,6 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4 + 0,71 \cdot E_{\text{еф.ск}} - 0,72 \cdot E_{\text{еф.кл}}; \end{cases}$$

де  $E_{\text{рез.ск}}$  – результуюче випромінення для теплового потоку скломаси  $q_{\text{ск}}$ ,  $E_{\text{рез.кл}}$  – результуюче випромінення для теплового потоку кладки  $q_{\text{кл}}$  [4]. Розв'язуємо систему відносно  $E_{\text{рез.ск}}$  та  $E_{\text{рез.кл}}$ :

$$q_{\text{ск}} = \frac{E_{\text{рез.ск}}}{F_{\text{ск}}} = \frac{-435,8 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}}^4 + 343,3 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}}^4 + 105,3 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}}^4}{96}.$$

Таким чином, тепловий потік для скломаси та кладки буде мати вигляд:

$$\begin{cases} q_{\text{ск}} = 3,5 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{\text{кл}}^4 - T_{\text{ск}}^4) + 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{\text{газ}}^4 - T_{\text{ск}}^4), \\ q_{\text{кл}} = 2,11 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{\text{ск}}^4 - T_{\text{кл}}^4) + 1,3 \cdot 10^{-8} \cdot (T_{\text{газ}}^4 - T_{\text{кл}}^4); \end{cases}$$

У результаті отримана система рівнянь для теплових потоків, що буде використана при створенні структурної моделі об'єкта [16].

Унаслідок того що процес скловаріння відбувається у вузькому температурному діапазоні, необхідно обмежитися лінеаризованими рівняннями для теплових потоків скломаси та кладки. Лінеаризація відбувається використовуючи розкладання в ряд Тейлора та нехтуючи величинами другого та вищого порядку внаслідок їх малого значення [4; 8; 15]. Доданки з приростом у степені 2 досить малі, тому прирівнюються до 0 [4]:

$$\begin{cases} q_{\text{ск}0} + \Delta q_{\text{ск}} = -4,54 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}0}^4 - 18,4 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}0}^3 \Delta T_{\text{ск}} + 3,57 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}0}^4 + \\ + 14,28 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}0}^3 \Delta T_{\text{кл}} + 1,1 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}0}^4 + 4,4 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}0}^3 \Delta T_{\text{газ}}, \\ q_{\text{кл}0} + \Delta q_{\text{кл}} = 2,11 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}0}^4 + 8,44 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}0}^3 \Delta T_{\text{ск}} - 3,41 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}0}^4 - \\ - 13,64 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}0}^3 \Delta T_{\text{кл}} + 1,3 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}0}^4 + 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}0}^3 \Delta T_{\text{газ}}; \end{cases}$$

де  $T_{\text{ск}0}$ ,  $T_{\text{кл}0}$ ,  $T_{\text{газ}0}$  – початкові значення температури скломаси, газу та кладки згідно з технологічним регламентом, що можуть змінюватися залежно від початку точки відліку.

Виконаємо перетворення за Лапласом відповідної системи рівнянь:

$$\begin{cases} q_{\text{ск}}(p) = a_1 \cdot T_{\text{ск}}(p) + a_2 \cdot T_{\text{кл}}(p) + a_3 \cdot T_{\text{газ}}(p), \\ q_{\text{кл}}(p) = b_1 \cdot T_{\text{ск}}(p) + b_2 \cdot T_{\text{кл}}(p) + b_3 \cdot T_{\text{газ}}(p); \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{де } a_1 &= -18,4 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}0}^3, a_2 = 12 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}0}^3, a_3 = 4,4 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}0}^3, \\ b_1 &= 8,44 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{ск}0}^3, b_2 = -13,64 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{кл}0}^3, b_3 = 5,2 \cdot 10^{-8} \cdot T_{\text{газ}0}^3; \end{aligned}$$

**Висновки.** Таким чином, отримана система рівнянь для теплових потоків, представлена в перетвореннях за Лапласом, буде покладена в основу створення структурної моделі об'єкта керування.

Список літератури:

1. Малышев С.Н. К вопросу управления тепловым режимом ванной стекловаренной печи. *Автоматизация технологических процессов в производстве стекла* : сборник науч. трудов. Москва, 1985. С. 57–61.
2. Мастрюков Б.С. Теплотехнические расчеты промышленных печей *Металлургия*. Москва, 1972. 368 с.
3. Суринов Ю.А. Об основных методах современной теории лучистого теплообмена. *Проблемы энергетики* : сборник / АН СССР. Москва, 1959. С. 423–469.
4. Лыков А.В. Терия теплопроводности. Москва : Высш. шк., 1967. 600 с.
5. Фетисов Б.А. Математическая модель внешнего теплообмена в пламенном пространстве ванной печи листового стекла. *Стекло и керамика*. 1996. № 5. С. 3–5.
6. Макаров Е.П., Кузнецов Ю.К. Моделирование тепло- и массообменных процессов, протекающих в газозлектрических стекловаренных печах : сборник науч. трудов. Москва, 1985. С. 26–30.
7. Шаеффер Н.А., Хойзнер К.Х. Технология стекла. Кишинёв : СТИ-Print, 1998. 279 с.
8. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. 5-е изд., перераб. и доп. Москва : Атомиздат, 1979. 416 с.
9. Дзюзер В.Я. Исследование теплообмена в стекловаренной печи с учётом селективности излучающей и поглощающей среды : тез. док. *Расчёт и оптимизация теплотехнических и электрохимических объектов*. Свердловск, 1981. С. 40.
10. Малышев С.Н. Исследование динамики температуры газового пространства ванной стекловаренной печи *Автоматизация технологических процессов в производстве стекла* : сборник науч. трудов. Москва, 1985. С. 46–54.
11. Лисовская Г.П., Сенатова В.А. Математическое моделирование влияния технологических и конструкционных параметров стекловаренных печей на конвекционные потоки и процессы гомогенизации стекломассы. *Исследования по интенсификации процессов промышленного стекловарения* : сборник науч. трудов. Москва, 1986. С. 111–120.
12. Тепло- и массообменные аппараты и установки промышленных предприятий : учебное пособие : в 2 т. / Б.А. Левченко, Э.Г. Братута, А.В. Ефимов и др. ; под. ред. Б.А. Левченко. Харьков : НТУ «ХПИ», 2000. Ч. 2. 333 с.
13. Судзински Я. О разработке математических моделей течения стеклянной массы в ваннах стекловаренных печах (теоретический анализ и численные алгоритмы). Москва : Ступень, 1994. 112 с.
14. Расчет лучистых тепловых потоков / Е.Л. Березаяокая и др. Москва : МАИ, 1989. 64 с.
15. Кубрак А.І., Жученко А.І., Кваско М.З. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем : навчальний посібник. Київ : Політехніка, 2004. 424 с.
16. Рапорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами : учебное пособие. Москва : Высш. шк., 2003. 299 с.

**Zhuchenko A.I., Sytnikov A.V., Gubar B.P. MATHEMATICAL MODEL OF EXTERNAL HEAT EXCHANGE OF GLASS FURNACE**

*The article presents the main provisions for creating a mathematical model for a regenerative glass furnace of the bathroom type. The glassmaking process is quite complex for experimental research, thermocouple sensors are installed in the appropriate areas of the furnace, an adequate mathematical model is needed, which will most accurately display temperature data at points of glass mass where the installation of sensors is not technically possible. During the research and mathematical modeling, the structural-parametric scheme of the furnace was used, which takes into account all the inputs and outputs to the control object. In this paper, the mathematical description of the glass furnace includes a description of the equations of external heat exchange for glass, masonry and gas. External heat exchange means heat exchange between an object and its environment: heat exchange between glass mass and its corresponding environment – masonry and gas space. For each of the components developed its own mathematical description.*

*Components of furnaces (glass, masonry and gas space) have two contact elements. The system of external heat exchange equations derived from the equations of surface radiation balance is developed in the work: effective and resultant radiation. According to Lambert's law, the intrinsic and reflective radiation form the equation of the effective radiation of the glass mass and masonry surface. Based on the analysis of previous studies, in solving the problems of mathematical modeling of the glass furnace, the first approximation of the resulting radiation of the masonry is zero, the temperature of the glass and masonry is taken equal to the effective values. The system of equations for heat fluxes of glass mass and masonry is developed and researched in the work, it is the basis of creation of the structural scheme of the glass furnace, which is a kind of model obtained by the scheme of connections between the constituent elements of the object.*

**Key words:** mathematical model, molten glass, external heat exchange, radiation, heat flux.

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/15>

**Завгородній В.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Завгородня Г.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Валявська Н.О.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Адаменко В.С.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Дороговцев Є.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Несмачний П.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## МЕТОД АВТОМАТИЧНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ КОНТЕНТУ НА ОСНОВІ ПРОЦЕДУРНИХ АЛГОРИТМІВ

*Робота присвячена розробці методу генерації ігрового контенту, який заснований на використанні ланцюгів Маркова. Система задається простором станів, що описують усі можливі її конфігурації. У такому випадку переходи між станами описуються як дискретні кроки, які характеризуються їх імовірностями.*

*Розглянуто алгоритм Монте-Карло для ланцюгів Маркова як методу отримання вибірки з простору станів. Вибірка означає вибір стану виходячи з імовірності вибору з урахуванням внутрішнього розподілу. Імовірність знаходження в стані пропорційна певній функції витрат, яка дає оцінку поточному стану, у якому знаходиться система. Показано, що навіть при надзвичайно великому просторі станів незалежно від складності системи цей алгоритм знаходитиме рішення з низькими витратами, якщо дати йому достатньо часу для сходження.*

*Також розглянуто розподіл Гіббса як розподіл з найменшою чутливістю до варіацій в обмеженнях. Для обчислення ймовірності переходу між станами в розподілі Гіббса використана функція витрат, яка є єдиним обмеженням, що накладається на розподіл станів.*

*Розглянуто алгоритм для процедурної генерації рівнів, який можна розбити на етапи: генерування та розміщення кімнат (створюється ігрове поле й розміщуються на ньому кілька випадкових кімнат, що не повинні перетинатися), з'єднання кімнат (усі кімнати треба зв'язати між собою коридорами) і створення стін (метод пройдесться по всій мапі та додасть стіни скрізь, де «порожні» клітини межують із клітинами кімнат і коридорів).*

*Застосування розглянутих алгоритмів дає змогу визначати метод для генерації будь-якого можливого результату, усвідомлено обирати оптимальний на підставі його оцінки.*

**Ключові слова:** метод генерації контенту, марковський процес, процедурні алгоритми, метод Монте-Карло, розподіл Гіббса, процедурна генерація рівнів.

**Постановка проблеми.** Ігрова індустрія з'явилася порівняно недавно, проте вже встигла стати величезною галуззю з колосальним прибутком у десятки мільярдів доларів США на рік [1–3]. Зрозуміти таку раптову популярність, що зростає, віртуальних ігор дуже легко: усе це пов'язано з широким розповсюдженням комп'ютерної техніки, включаючи появу Інтернету. Комп'ютерні

ігри, на відміну від інших розваг, є доступнішими для кінцевих користувачів [4; 5].

Зараз, щоб пограти, гравець повинен мати лише комп'ютер або ігрову приставку, копію самої гри з широким доступом до Інтернету, а щоб отримати копію гри, не потрібно виходити з дому. Крім того, для вибору відповідної гри споживачеві не потрібно мати особливу освіту, а більшість інших

розваг вимагають як мінімум розуміння необхідного обладнання [6; 7].

Останнім часом комп'ютерні ігри перестали розглядатися як програми, призначені виключно для відпочинку чи розваг. Завдяки ігровим технологіям створено спеціальні симуляційні комплекси, призначені для підготовки фахівців із різних сфер діяльності: управлінської, організаційної, транспортної, економічної тощо [8–10]. Таким чином, розвиток технології може бути одним із найперспективніших напрямів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Терміном «комп'ютерна гра» класифікується комп'ютерна програма, яка працює для організації ігрового процесу (геймплея), зв'язку з партнером по цій грі або сама виступає як партнер. Комп'ютерні ігри часто формуються на основі сторонніх джерел, таких як кінострічки або книги, але останнім часом стали помічати зворотні випадки, коли по знайомій ігровій серії починають видавати допоміжні матеріали, що розширюють усесвіт гри [11–12].

Більш того, спеціально створені ігри можуть виступати як навчальний матеріал або дають змогу гравцям застосувати їх у науково-дослідних цілях. Ці ігри рідко випускаються в широкі маси. За деякими іграми ведуться аматорські та професійні змагання, які називаються кіберспортом.

Комп'ютерні ігри здійснили настільки значний вплив на інформаційні технології, що останнім часом виникла стійка тенденція до гейміфікації неігрового прикладного програмного забезпечення. Таким чином, у деяких європейських школах почали використовувати відому гру *Minecraft* для навчання, а для армій стали робити особливі симулятори для занять боєм. Комп'ютерні ігри з 2011 року офіційно визнані урядом Сполучених Штатів Америки й американським Державним фондом окремим видом мистецтва, в одному ряду з театром і кінотеатром, а в Україні кіберспорт офіційно зарахований до видів спорту.

**Постановка завдання.** Мета дослідження – розглянути методи генерації контенту з використанням ланцюгів Маркова, а саме метод Монте-Карло, розподіл Гіббса та процедурну генерації рівнів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Метод генерації ігрового світу складається з кількох кроків. На початку генерується сама мапа, яка складається із сукупності тайлів різного типу ландшафту. Потім на локації розміщуються різноманітні ігрові об'єкти, наприклад, пастки, схованки, скрині, нейтральні чи дружні неігрові персонажі.

Насамперед необхідно згенерувати локації заздалегідь підготовленого розміру, які складаються з ділянок землі певного типу зі списку можливих типів ландшафту. Будь-який тип такого ландшафту має можливість появи й із іншими типами, включаючи самого себе. Генерація ландшафту в такому разі ґрунтується на генерації випадкових чисел.

Ланцюг Маркова – це випадковий процес, що задовольняє властивості Маркова та приймає кінцеве значення станів. Тобто це черговість випадкових заходів із кінцевою кількістю підсумків, що характеризується властивістю незалежності майбутніх станів від минулого. На майбутній стан процесу впливає лише поточний стан, а не черговість дій у минулому [13].

Ланцюги Маркова мають велику кількість застосувань як статистичні моделі процесів у реальному світі, таких як дослідження систем круїзного контролю в автотранспортних засобах, черг або ліній клієнтів, що прибувають в аеропорт, курсів обміну грошових одиниць і динаміка популяції тварин.

Марковські процеси вважаються основою для способів стохастичного моделювання, відомих як ланцюг Маркова Монте-Карло, які застосовуються для моделювання вибірки зі складних розподілів імовірностей, і знайшли використання в байєсівській статистиці та штучному інтелекті. Існують два види ланцюгів Маркова – ланцюги Маркова дискретного часу й ланцюги Маркова нескінченного часу [14; 15].

Ланцюги Маркова – це послідовність станів, якою рухається система, що описується переходами в часі. Переходи між станами стохастичні, тобто описуються ймовірностями, що є характеристикою системи. Система задається простором станів, що є простором для всіх можливих конфігурацій системи. Якщо система описана правильно, ми також можемо описати переходи між станами як дискретні кроки. Треба врахувати, що зі стану системи часто буває кілька можливих дискретних переходів, кожен із яких веде до різного стану системи. Імовірність переходу зі стану  $x$  до стану  $y$  дорівнює  $P_{xy}$ .

Марковський процес – це процес дослідження цього простору станів за допомогою ймовірностей, що передаються йому. Важливим є те, що марковські процеси «не мають пам'яті». Це означає, що ймовірності переходу з поточного стану до нового залежать тільки від поточного стану й не залежать від інших станів, відвіданих раніше, тобто  $P_{xy} = P(x, y)$ .

**Метод Монте-Карло для ланцюгів Маркова.**

Оскільки переходи між станами визначаються ймовірностями, то можна задати ймовірність «стійкого» перебування в стані (чи, якщо час прагне до нескінченності, середній час, що ми перебуватимемо в конкретному стані). Це внутрішній розподіл станів.

Тоді алгоритм Монте-Карло для ланцюгів Маркова (*Markov-Chain Monte-Carlo, МСМС*) – це методика отримання вибірки з простору станів. Вибірка означає вибір стану виходячи з ймовірності вибору з урахуванням внутрішнього розподілу. Ймовірність перебування в стані пропорційна певній функції витрат, яка дає «оцінку» поточному стану, у якому знаходиться система. Уважається, що якщо витрати низькі, то ймовірність перебування в цьому стані висока, і це співвідношення монотонне. Функція витрат задається як  $R(x)$ .

Навіть при надзвичайно великому просторі станів (можливо нескінченному, але «зліченно нескінченному») незалежно від складності системи алгоритм МСМС знаходитиме рішення з низькими витратами, якщо дати йому достатньо часу для сходження.

Подібне виконання дослідження простору станів є стандартною технікою стохастичної оптимізації та має безліч застосувань у таких галузях, як машинне навчання.

**Розподіл Гіббса.** Розподіл Гіббса – це розподіл максимальної ентропії при заданій множині обмежень. По суті, це означає, що якщо задати множину обмежень для ймовірностей системи, то розподіл Гіббса створить найменшу кількість припущень про форму розподілу. Розподіл Гіббса також є розподілом з найменшою чутливістю до варіацій в обмеженнях (за метрикою розбіжності Кульбака-Лейблера). Єдине обмеження, яке ми накладаємо на розподіл станів, – це функція витрат, тому ми використовуємо її в розподілі Гіббса для обчислення ймовірності переходу між станами:

$$P_{xy} = \exp\left(-\frac{R(y) - R(x)}{T}\right) * \frac{1}{G_x}, \quad (1)$$

де  $G$  – це функція розбиття множини переходів зі стану  $x$ . Це нормуючий множник, який гарантує, що сума ймовірностей переходів із будь-якого стану дорівнює 1.

$$G_x = \sum_y (P_{xy}). \quad (2)$$

Зауважимо, що якщо ми вирішимо, що наступний стан буде тим самим станом, то відносні витрати дорівнюють нулю, тобто ймовірність після нормалізації буде ненульовою (через форму розподілу з показником). Це означає, що в мно-

жину переходів необхідно включити можливість незміни станів.

Варто також зауважити, що розподіл Гіббса параметризується обчислювальною температурою  $T$ . Одна з ключових переваг використання ймовірностей при дослідженні простору станів полягає в тому, що система може виконувати переходи до більш витратних станів (оскільки вони мають ненульову ймовірність переходу), перетворюючи алгоритм на «нежадібний» метод оптимізації.

При прагненні температури до нескінченності ймовірність будь-якого окремого переходу прагне одиниці таким чином, що при нормалізації множини ймовірностей усіх переходів зі стану вони стають рівноймовірними (або розподіл Гіббса наближається до нормального розподілу), незважаючи на те, що їх витрати більші!

При наближенні обчислювальної температури до нуля ймовірнішими стають переходи з меншими витратами, тобто можливість кращих переходів підвищується.

За виконання дослідження/оптимізації простору станів ми поступово знижуємо температуру. Цей процес називається «імітацією відпалу». Завдяки цьому ми спочатку можемо легко вийти з локального мінімуму, а в кінці вибирати найкращі рішення.

Коли температура досить мала, то всі ймовірності прагнуть до нуля, за винятком імовірності відсутності переходу. Так відбувається тому, що відсутність переходу має нульову різницю витрат, тобто перебування в тому ж стані не залежить від температури. Через форму показової функції при  $T=0$  це виявляється єдиною можливістю з ненульовим значенням, тобто після нормалізації вона перетворюється на одиницю. Отже, наша система зійдеться до стійкої точки й подальше охолодження більше не буде потрібно. Це невід’ємна властивість створення ймовірностей за допомогою розподілу Гіббса.

Процес сходження системи можна налаштувати за допомогою зміни швидкості охолодження. Якщо охолодження відбувається повільніше, то в результаті ми зазвичай приходимо до вирішення з меншими витратами (певною мірою), але ціною більшої кількості кроків збіжності. Якщо охолодження відбувається швидше, то вища ймовірність того, що система на ранніх етапах потрапить у пастку піддіянки з більшими витратами, тобто ми отримаємо «менш оптимальні» результати.

Отже, марковський процес не просто генерує випадкові результати, а намагається згенерувати «хороші» результати й із певною ймовірністю йому це вдасться.

За визначенням довільних функцій витрат унікальний оптимум не повинен існувати. Цей метод імовірнісної оптимізації генерує лише наближення до оптимуму, намагаючись мінімізувати функцію витрат, і через виконання вибірки щоразу генеруватиме різні результати.

Сам процес вибірки може виконуватися за допомогою методу зворотного перетворення над функцією розподілу дискретної множини переходів.

**Процедурна генерація рівнів.** У деяких системах часто буває складно визначити простий алгоритм, що генерує гарні результати, особливо в разі складних систем. Завдання довільних правил генерації не тільки складне, а й обмежене лише нашою уявою та обробкою граничних випадків.

Якщо система задовольняє певному набору вимог, то застосування *МСМС* дає змогу нам не хвилюватися про підбір алгоритму чи правил. Натомість ми визначаємо метод для генерації будь-якого можливого результату й усвідомлено вибираємо хороший на підставі його «оцінки».

Розглянемо алгоритм для процедурної генерації мап, який можна розбити на три етапи:

1. Генерування та розміщення кімнат.
2. З'єднання кімнат коридорами.
3. Створення стін.

**Генерування та розміщення кімнат.** Створимо ігрове поле й розмістимо на ньому кілька випадкових кімнат, які стануть основою нашої мапи.

Для початку заведемо структури для мапи та кімнат у ній (відразу задаємо розміри мапи):

```
class Chart {
public:
    struct Location {
        int x, y, w, h;
    };
    Chart(int width, int height): chart_width(width),
    chart_height(height) {
        chart_data.resize(width * height, 0);
    }
private:
    int chart_width, chart_height; // розміри мапи
    std::vector<int> chart_data; // фінальні дані мапи
    std::vector<Location> chart_locations; // кімнати
};
```

Одна з вимог для нової кімнати: вона не повинна перетинатися з наявними, але, щоб кімнати стояли щільно одна до одної, необхідно додати в *Location* таку функцію для перевірки перетину:

```
bool Location::intersect(const Location &r) const {
    return !(r.x >= (x + w)
    || x >= (r.x + r.w) ||
    }
```

Тепер можна згенерувати кілька кімнат із випадковим розташуванням і розмірами, для цього необхідно додати новий метод:

```
void Chart::generate(int locationCount) {
    chart_locations.clear();
    // другий цикл запобігає залипанню, якщо на
    мапу вже не поміщається жодна кімната
    for (int i = 0; i < locationCount; ++i)
        for (int j = 0; j < 1000; ++j) {
            // ширина та висота кімнати в межах [10,40]
            const int w = 10 + rand() % 31;
            h = 10 + rand() % 31;
            // уникаємо «прилипання» кімнати до краю мапи
            const Location location = {3 + rand() % (chart_width
            - w - 6), 3 + rand() % (chart_height - h - 6), w, h};
            // знайдемо першу кімнату, з уже наявних, яка
            перетинається з новою
            auto intersect = std::find_if(std::begin(chart_
            locations), std::end(chart_locations), [&location]
            (const Location &r){
                return location.intersect(r);
            });
            // якщо нова кімната не має перетинів - дода-
            ємо її
            if (intersect == std::end(chart_locations)) {
                chart_locations.push_back(location);
                break;
            }
        }
    }
```

Тепер є набір випадкових кімнат, який досить легко можна перетворити на *2D*-масив мапи:

```
// занулюємо мапу індексом 0
chart_data.assign(chart_width * chart_height, 0);
// простір кімнат заповнюємо індексом 1
for (const Location &locations : chart_locations) {
    for (int x = 0; x < locations.w; ++x) for (int y = 0;
    y < locations.h; ++y) {
        chart_data[(locations.x + x) + (locations.y + y) *
        chart_width] = 1;
    }
}
```

**З'єднання кімнат коридорами.** Тепер усі ці кімнати треба зв'язати між собою коридорами, інакше як герой переміщатиметься мапою? І знову ідея досить проста: послідовно переберемо кімнати на мапі та шукаємо шлях від середини однієї кімнати до середини наступної в списку, так отримуючи гарантований прохід від першої до останньої кімнати.

Для пошуку шляху використовуємо базовий алгоритм *A\** (*A star*):

```
struct Dot {
```



```

int x, y, price;
bool operator==(const Dot &p) const {
return x == p.x && y == p.y;
}
bool operator<(const Dot &p) const {
return price > p.price;
}
};
void Chart::generatePassage(const Dot &start,
const Dot &finish) {
// для зберігання напрямку на «батьківську» клі-
тину
std::vector<int> parents(chart_width * chart_
height, -1);
// пріоритетна черга доступних клітин, відсор-
тована за «вартістю»
std::priority_queue<Dot> active;
active.push(start);
// Напрями можливих переміщень
static const int directions[4][2] = {{1,0}, {0,1},
{-1,0}, {0,-1}};
while (!active.empty()) {
// беремо «найдешевшу» клітину зі списку
доступних
const Dot = active.top();
active.pop();
if (dot == finish)
break;
// продовжуємо пошук у доступних напрямках
for (int i = 0; i < 4; ++i) {
Dot d = {dot.x + directions[i][0], dot.y +
directions[i][1], 0};
if (d.x < 0 || d.y < 0 || d.x >= chart_width || d.y >=
chart_height)
continue;
// якщо ми ще відвідували задану клітину
if (parents[d.x + d.y * chart_width] < 0) {
// обчислюємо «вартість» зазначеної клітини
d.price = calcPrice(d, finish);
active.push(d);
parents[d.x + d.y * chart_width] = i;
}
}
}
// шлях знайдено – тепер прокладаємо його на
мапі, починаючи з кінця
Dot dot = finish;
while (!(dot == start)) {
chart_data[dot.x + dot.y * chart_width] = 1;
const int *directon = directions[parents[dot.x +
dot.y * chart_width]];
dot.x += directon [0];
dot.y += directon [1];
}
}

```

Функція *calcPrice()* повертає «вартість» клітини, що обчислюється так, що нам вигідніше переміщатися вже наявними кімнатами й коридорами, ніж створювати нові. Плюс невелика евристика, яка дає змогу нам цілеспрямовано йти до кінцевої точки. Із цими параметрами можна грати самостійно.

*Створення стін.* Для повноти не вистачає ще однієї невеликої деталі – стін. Звичайно, можна обійтися й без них, але, як правило, стіни можна красиво намалювати, візуально розмежовуючи простір мапи. Тому додамо новий метод, який пройдеться по всій мапі й додасть стіни скрізь, де «порожні» клітини межують із клітинами кімнат та коридорів

```

void Chart::generateSide() {
// Зміщення для сусідніх клітин
static const int offsets[8][2] = {
{-1,-1}, {0,-1}, {1,-1}, {1, 0},
{1, 1}, {0, 1}, {-1, 1}, {-1, 0},
};
// Ігноруємо границю мапи, щоб не перевіряти
граничні умови
for (int x = 1; x < chart_width - 1; ++x)
for (int y = 1; y < chart_height - 1; ++y) {
if (chart_data[x + y * chart_width] == 0)
for (int i = 0; i < 8; ++i) {
// якщо по сусідству є хоч одна клітина кімнати
чи коридору – розміщуємо стіну (індекс 2)
if (chart_data[(x + offsets[i][0]) + (y + offsets[i]
[1]) * chart_width] == 1) {
chart_data[x + y * chart_width] = 2;
break;
}
}
}
}
}
}

```

**Висновки.** У статті досліджено техніку автоматичної генерації контенту на основі процедурних алгоритмів. Проаналізовано варіанти основної структури даних для генератора ігрових мап і наведено остаточну реалізацію гнучкої, універсальної та розширюваної структури даних. Детально описано алгоритми процедурної генерації контенту, які використовуються для побудови ігрових рівнів. Наведено список класів і методів, що описує реалізацію цих алгоритмів. На основі представленої гнучкої структури даних може бути розроблено програму-генератор двовимірних ігрових мап, що забезпечить можливість її розширення з подальшим інтегруванням не тільки в комп'ютерних або мобільних іграх, а й у тренувальних симуляторах для підготовки фахівців різних галузей діяльності людини, у тому числі транспортної сфери.

Список літератури:

1. Jeong K., Lee J., Kim J. A Study on New Virtual Reality System in Maze Terrain. *Int. J. Hum. Comput. Interact.* 2018. № 34. P. 129–145. URL: <https://doi.org/10.10-80/10447318.2017.1331535>.
2. Lambie R. *Build Your Own First-Person Shooter in Unity*. Raspberry Pi Press, 2020. 140 p.
3. Hocking J. *Unity in Action: Multiplatform Game Development in C#*. 2nd edition. Manning Publications Co, 2018. 400 p.
4. Baron D. *Hands-on Game Development Patterns with Unity 2019*. Packt Publishing, 2019. 242 p.
5. Kok B. *Beginning Unity Editor Scripting: Create and Publish Your Game Tools*. Apress, 2021. 274 p.
6. Engelbert R. *Word Games With Unity*. Engelbert Publishing, 2018. 457 p.
7. Bangs E. *Unity*. Tachyon Publications LLC, 2021. 304 p.
8. Murray J.W. *C# Game Programming Cookbook for Unity 3D*. CRC Press, 2021. 316 p.
9. Peterson K. *Unity Game Development: Programming C# in Unity Engine, a guide book for beginners*. Independently published, 2021. 151 p.
10. Moore A., Aronowitz A. *C# for Unity: Beginning C# Programming with Unity*. NLN Inc, 2021. 232 p.
11. Alves C. *Unity 3d: Build, customize, and optimize professional games using unity 3d*. Independently published, 2021. 232 p.
12. Linowes J. *Unity Virtual Reality Projects (1st ed.)*. Packt Publishing, 2015. 288 p. URL: <https://www.perlego.com/book/4096/unity-virtual-reality-projects-pdf>
13. Methods and models for assessment of reliability of structural-complex systems / A. Zavgorodnya, V. Zavgorodnii, V. Maiko, V. Malikov, D. Zhuk. *World Science*. 2018. № 11 (39). P. 5–14. URL: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_ws/30-112018/6227](https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30-112018/6227).
14. Завгородній В.В., Завгородня Г.А. Метод кількісної оцінки ризику технічних систем. *Транспортні системи і технології*. 2018. Вип. 32–33. С. 87–95. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2018-32-2-87-95>.
15. Завгородня Г.А., Завгородній В.В. Аналіз методів виробки рішень при виникненні техногенних аварій у системах управління реального часу. *Транспортні системи і технології*. 2019. Вип. 34. С. 175–181. URL: <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2019-34-2-1>.

**Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Valyavska N.O., Adamenko V.S.,  
Dorogovtsev E.V., Nesmachny P.V. METHOD OF AUTOMATIC CONTENT  
GENERATION BASED ON PROCEDURAL ALGORITHMS**

*The work is devoted to the development of the method of game content generation based on the use of Markov chains. The system is defined by the space of states describing all possible configurations. In this case transitions between states are described as discrete steps characterized by their probabilities.*

*We consider the Monte Carlo algorithm for Markov chains as a technique for obtaining sampling from the state space. Sampling means selecting states based on the probability of selection based on the internal distribution. The probability of being in a state is proportional to a certain cost function, which gives an estimate of the current state the system is in. It is shown that even with an extremely large space of states, regardless of the complexity of the system, this algorithm will find a low-cost solution if given enough time to climb.*

*We also consider the Gibbs distribution as the distribution with the lowest sensitivity to variations in constraints. To calculate the transition probability between states in the Gibbs distribution, a cost function was used, which is the only constraint imposed on the distribution of states.*

*An algorithm for procedural generation of levels is considered, which can be divided into stages: generation and placement of rooms (a playing field is created and several random rooms are placed on it, which should not intersect), connection of rooms (all rooms should be connected by corridors) and creating walls (the method will run across the map and add walls wherever “empty” cells border cells in rooms and corridors).*

*The application of the considered algorithms makes it possible to define a method for generating any possible result and consciously choose the optimal one based on its evaluation.*

**Key words:** content generation method, Markov process, procedural algorithms, Monte Carlo method, Gibbs distribution, procedural level generation.

УДК 004.9

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/16>

**Кан Ю.Є.**

Херсонський національний технічний університет

**Ляшенко О.М.**

Херсонський національний технічний університет

**Киричук Д.Л.**

Херсонський національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ПОБУДОВИ МОБІЛЬНОЇ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ З РОЗВИТКУ ЦИФРОВОЇ ГРАМОТНОСТІ

*У роботі проведено дослідження методів та алгоритмів побудови мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності.*

*На підставі проведеного дослідження запропоновано Android-додаток «Digital Literacy», що містить навчальні курси з розвитку цифрової грамотності. Android-додаток містить шість навчальних курсів, які формують комбінацію знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, інших особистих якостей у сфері інформаційно-комунікаційних і цифрових технологій, що визначає здатність особи успішно соціалізуватися, провадити професійну та подальшу навчальну діяльність із використанням таких технологій.*

*Для побудови архітектури мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності обрано модульний вид, що показує систему як структуру, у якій пов'язані за функціональністю модулі, об'єднані в групи (рівні). Основою мобільного додатку є набір систем і служб, що дають змогу отримувати доступ до даних інших програм, відображати сповіщення користувача в рядку статусу та керувати життєвим циклом мобільного додатку.*

*Для побудови мобільної програмної системи обрано інтегроване середовище розробки Android Studio, що засновано на програмному забезпеченні IntelliJ IDEA, від компанії JetBrains.*

*При створенні мобільної програмної системи враховано такі особливості: різні версії ОС Android і варіанти архітектури центрального процесора – програмна система коректно працює на широкому спектрі версій ОС Android, кожна з яких має свої особливості й обмеження; різні дозволи та пропорції екранів мобільних пристроїв – інтерфейс програмної системи коректно відображається на мобільних пристроях за рахунок використання одиниць вимірювання, що не залежать від роздільної здатності.*

*Головним завданням мобільної програмної системи є формування та розвиток цифрових навичок і цифрових компетентностей користувачів, що сприятимуть розвитку цифрової економіки країни.*

**Ключові слова:** мобільна програмна система, цифрова грамотність, цифрові компетентності, мобільні пристрої.

**Постановка проблеми.** Зі збільшенням темпів розвитку цифрових технологій, упровадженням інноваційних рішень у всіх сферах суспільного життя виникає необхідність у підвищенні якості підготовки фахівців відповідно до сучасних вимог [1].

Також виникає необхідність підтримки процесів опанування ними певної комбінації знань, умінь і навичок у сфері інформаційно-комунікаційних і цифрових технологій (цифрова компетентність) [1].

Так, цифровою компетентністю є динамічна комбінація знань, умінь, навичок, способів мислення, поглядів, інших особистих якостей у сфері інформаційно-комунікаційних і цифрових технологій, що визначає здатність особи успішно

соціалізуватися, провадити професійну та/або подальшу навчальну діяльність із використанням таких технологій.

Таким чином, дослідження методів та алгоритмів побудови мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності є актуальним завданням відповідно до процесів глобальної цифровізації економіки в більшості країн світу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У 2021 році прийнято Національну концепцію розвитку цифрових компетентностей до 2025 року, що затверджена Розпорядженням Кабінету Міністрів України № 167-р [1].

Концепція розвитку цифрових компетентностей до 2025 року окреслює виклики стосовно

розвитку цифрових компетентностей в українському суспільстві, визначає шляхи їх подолання й очікувані результати від її впровадження, закладає підґрунтя для створення національної стратегії та стратегічного плану дій щодо розвитку цифрових компетентностей у суспільстві [1; 2].

Також Міністерство цифрової трансформації (Мінцифри) оприлюднило Рамку цифрової компетентності для громадян України – це інструмент, створений для того, щоб покращити рівень цифрових компетентностей українців, допомогти у створенні державної політики та плануванні освітніх ініціатив, спрямованих на підвищення рівня цифрової грамотності й практичного використання засобів і сервісів ІТ-технологій конкретними цільовими групами населення [3].

У 2021 році Мінцифри запустило національний проєкт із цифрової грамотності Дія.Цифрова освіта [4]. У межах проєкту тести на цифрову грамотність можна скласти за допомогою таких додатків.

Цифрограм 1.0 пропонує перевірити цифрову грамотність будь-якому громадянину. Завдання тесту систематизовані за сферами знань європейської рамки цифрових компетентностей для громадян DigComp 2.1, адаптованої українськими експертами [5].

Цифрограм 2.0 також пропонує перевірити цифрову грамотність будь-якому громадянину. У тесті визначено 30 цифрових компетентностей, які вимірюються за шістьма сферами [2; 5]: основи комп'ютерної грамотності, інформаційна та медіаграмотність – уміння працювати з даними, створення цифрового контенту, комунікація та взаємодія в цифровому суспільстві, безпека в цифровому середовищі, вирішення технічних проблем – навчання впродовж життя в цифровому суспільстві.

Цифрограм для держслужбовців. Кожен держслужбовець має володіти знаннями з безпеки в цифровому середовищі. Також сфери створення контенту й роботи з даними, інформаційної й медіаграмотності, комунікації та взаємодії – це найнеобхідніші складники для роботи будь-якого держслужбовця [2; 5].

Цифрограм для вчителів. Цей тест створено експертами Академії цифрового розвитку у співпраці з експертами Міністерства освіти і науки України на основі рамки професійних компетенцій для вчителів відповідно до Наказу МОН України від 15 січня 2019 року № 38 [6].

Цифрограм для вчителів, на відміну від цифрограмів для громадян, має максимальний бал у

63 бали та містить 21 професійну цифрову компетенцію і 5 сфер [2; 5]: учитель у цифровому суспільстві, професійний розвиток, використання й аналіз цифрових ресурсів, навчання й оцінювання учнів, розвиток цифрової компетентності учнів.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є дослідження методів та алгоритмів побудови мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності.

**Виклад основного матеріалу.** Для побудови архітектури мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності обрано модульний вид, що показує систему як структуру, у якій пов'язані за функціональністю модулі, об'єднані в групи (рівні) (рис. 1) [7].

Основою мобільного додатку є набір систем і служб:

1. Система подання (View System) – це набір View, який служить для побудови зовнішнього вигляду мобільного додатку й включає такі компоненти, як списки, таблиці, поля введення, кнопки тощо.

2. Контент-провайдери (Content Providers) – це служби, які дають змогу мобільному додатку отримувати доступ до даних інших програм, а також надавати доступ до своїх даних.

3. Менеджер ресурсів (Resource Manager) призначено для доступу до рядкових, графічних та інших типів ресурсів.

4. Менеджер сповіщень (Notification Manager) дає змогу мобільному додатку відображати сповіщення користувача в рядку статусу.

5. Менеджер дій (Activity Manager) керує життєвим циклом мобільного додатку та надає систему навігації з історії роботи з діями.

Архітектура включає набір C/C++ бібліотек, які використовуються різними компонентами ОС. Доступ до функцій цих бібліотек реалізовано за допомогою Application Framework.

Основою мобільної програмної системи є фрагменти. Фрагменти можна розглядати як міні-Activity, які розташовуються в основному Activity й мають свій життєвий цикл (Lifecycle).

Об'єкт Fragment поєднує риси виду View та активності Activity. Подібно View він може входити до складу ViewGroup або бути частиною макета сторінки. Але фрагмент не є підкласом View, додати його до ViewGroup можна лише за допомогою FragmentTransaction. Подібно Activity фрагмент має життєвий цикл, який реалізує інтерфейси ComponentCallbacks і ContextMenuListener. Але, на відміну від активності, у фрагмента немає контексту (Context) і його життєвий цикл зале-

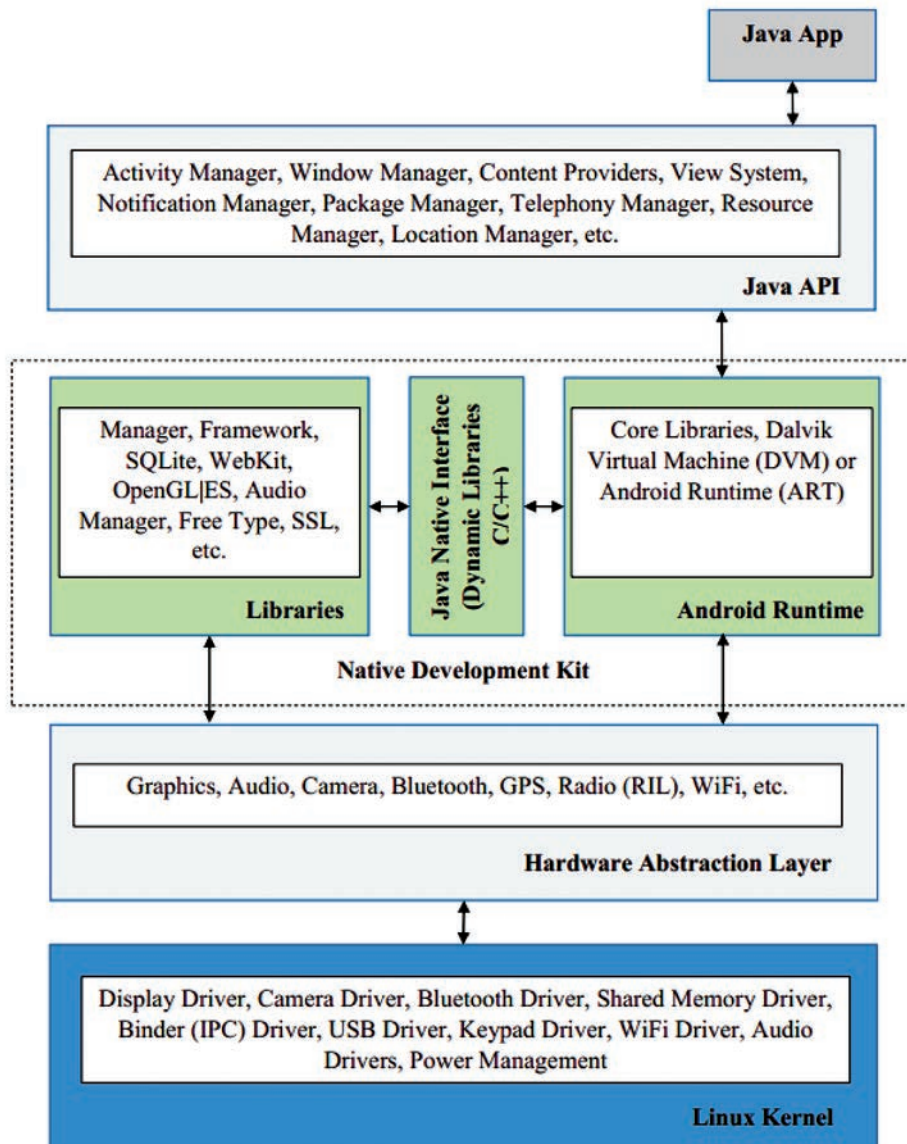


Рис. 1. Архітектура мобільної програмної системи

жить від контексту активності, до якої цей фрагмент відноситься [8].

Як і будь-який інший об'єкт, фрагмент може або входити до складу XML-визначення макета, або додаватися до View за допомогою програмування.

У мобільній програмній системі з розвитку цифрової грамотності фрагменти додано до складу XML-визначення макета.

Життєвий цикл Fragment реалізовано за таким алгоритмом [8]:

1. Виклик методу `onAttach()`. Метод буде викликаний найпершим ще до методу `onCreate()` для приєднання фрагменту до Activity.

2. Виклик методу `onCreateView()`. Система викликає цей метод, коли фрагмент прокреслюється вперше.

3. Виклик методу `onViewCreated()`. Метод буде викликаний одразу після `onCreateView()`.

4. Виклик методу `onActivityCreated()`. Метод буде викликаний після методів `onCreate()` та `onCreateView()` і може використовуватися для ініціалізації об'єктів фрагменту.

5. Виклик методу `onStart()`. Виклик цього методу здійснюється один раз, після чого фрагмент стає видимим для користувача.

6. Виклик методу `onPause()`. Метод викликається системою, коли користувач закінчив роботу з фрагментом. У цьому методі зазвичай зберігають результати роботи користувача.

7. Виклик методу `onStop()`. Робота фрагмента буде зупинена викликом методу `onStop()`.

8. Виклик методу `onDestroyView()`. Метод викликається перед методом `onDestroy()`.

9. Виклик методу `onDestroy()`. Метод викликається для очищення стану фрагмента, але Android не гарантує його виклик.

10. Виклик методу `onDetach()`. Метод буде викликаний після `onDestroy()`, щоб повідомити про те, що фрагмент був остаточно відокремлений від Activity.

Розглянемо далі програмні методи побудови макету інтерфейсу користувача мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності.

Файл `activity_main.xml` визначає розмітку для головної активності (головного екрану) мобільної програмної системи «Digital Literacy».

Макет головної активності містить структурні елементи, з яких складається інтерфейс користувача. Такі структурні елементи називаються віджетами.

Android SDK включає багато віджетів, які можна налаштовувати для отримання потрібного оформлення й поведінки. Кожен віджет є екземп-

ляром класу View або одного з підкласів (наприклад, TextView або Button).

Схему головного екрану мобільної програмної системи «Digital Literacy» подано на рис. 2.

Розмітку головної активності (`activity_main.xml`) створено за допомогою XML. Кожному віджету в розмітці відповідає елемент XML. Ім'я елемента визначає тип віджета. Кожен елемент має набір атрибутів XML. Атрибути можна розглядати як інструкції з налаштування віджетів.

На рис. 3 представлено ієрархію віджетів для розмітки XML мобільної програмної системи «Digital Literacy».

Кореневим елементом ієрархії View у цьому макеті є елемент `LinearLayout`, у якому вказано простір імен XML ресурсів:

Android <http://schemas.android.com/apk/res/android>.

`LinearLayout` успадковується від підкласу View з ім'ям `ViewGroup`. Віджет `ViewGroup` призначений для зберігання та розміщення інших віджетів. `LinearLayout` використовується в тих випадках, коли бажано побудувати віджети в один стовпець або рядок. Інші підкласи `ViewGroup` – `FrameLayout`, `TableLayout` і `RelativeLayout`.

Якщо віджет міститься в `ViewGroup`, він називається нащадком (child) `ViewGroup`. Кореневий елемент `LinearLayout` має двох нащадків: `TextView` та інший елемент `LinearLayout`. У `LinearLayout` є також шість власних нащадків `Button`.

Атрибути `android:layout_width` та `android:layout_height`, що визначають ширину й висоту, необхідні практично для всіх різновидів віджетів. Як правило, їм задається значення `match_parent` або `wrap_content`:

1) `match_parent` – розміри View визначаються розмірами `ViewGroup`;

2) `wrap_content` – розміри View визначаються розмірами вмісту.

У кореневому елементі `LinearLayout` атрибути ширини й висоти дорівнюють `match_parent`. Елемент `LinearLayout` є кореневим, але в нього все одно є батьківський клас – подання Android для розміщення ієрархії View програми.

В інших віджетах макету ширині й висоті задається значення `wrap_content`.

Мобільна програмна система «Digital Literacy» має в складі 6 додаткових Activity, що призначені для роботи з навчальними курсами, вибір яких здійснюється на головному Activity програмної системи (рис. 4).

Для розробки мобільної програмної системи обрано інтегроване середовище розробки Android Studio, що засновано на програмному забезпеченні IntelliJ IDEA від компанії JetBrains, має такі додаткові можливості для розробки Android-додатків [9]:

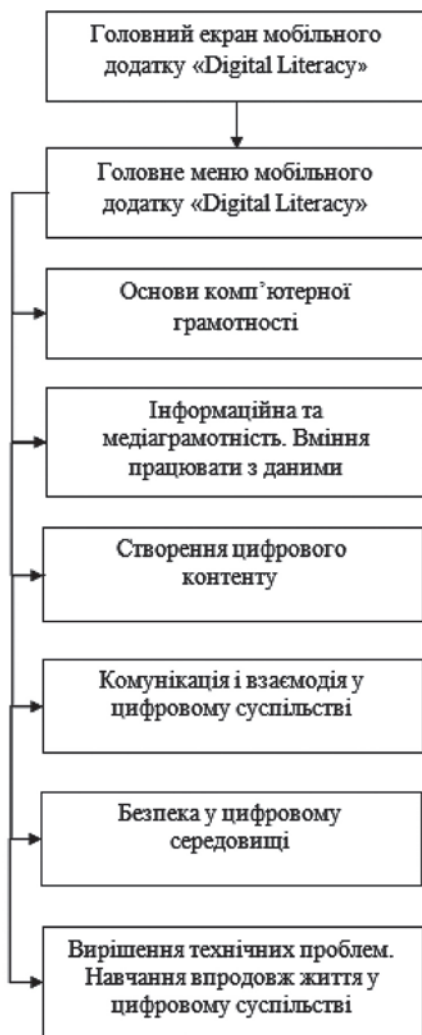


Рис. 2. Схема головного екрану мобільної програмної системи «Digital Literacy»

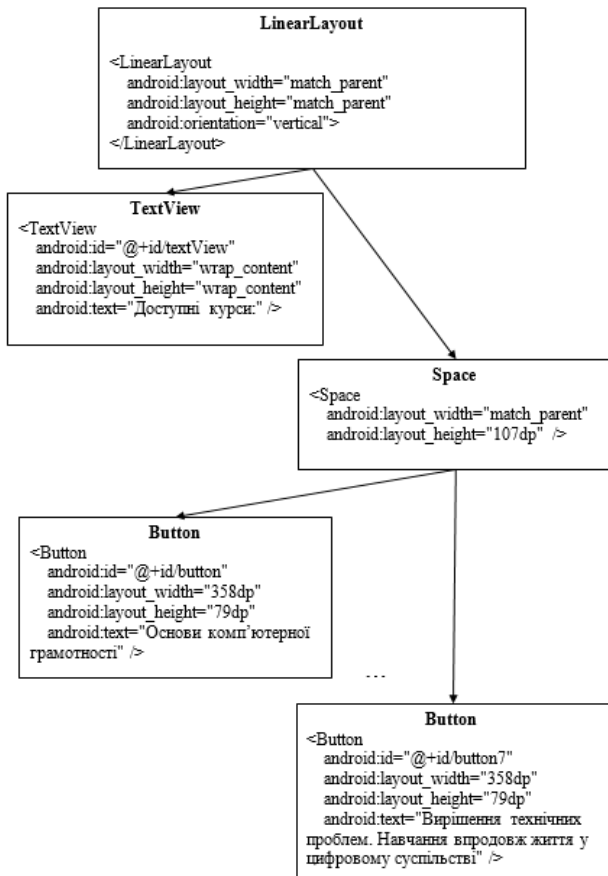


Рис. 3. Ієрархія віджетів «Digital Literacy»

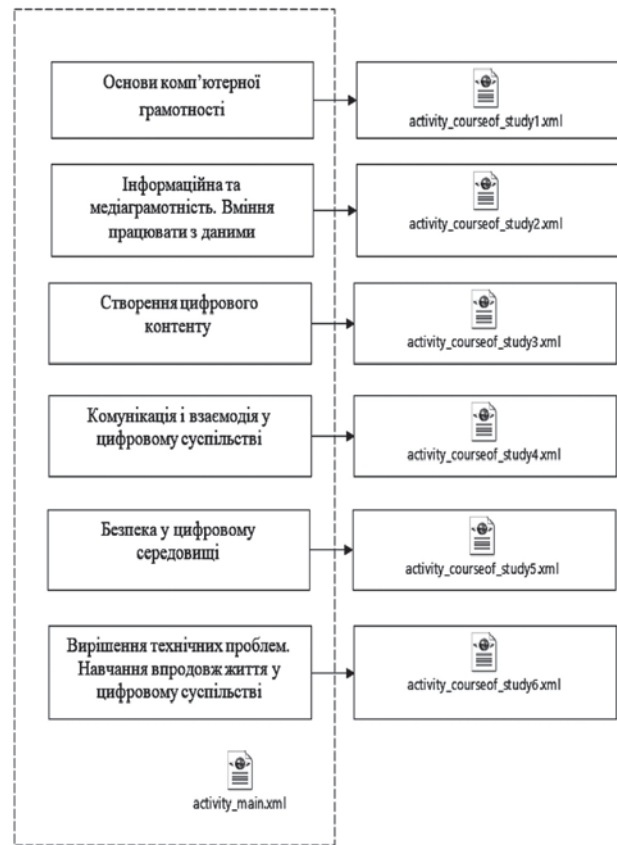


Рис. 4. Додаткові Activity відповідно до доступних початкових курсів

1. Візуальний редактор макетів (Visual layout editor). Visual layout editor дає можливість створювати складні макети за допомогою ConstraintLayout і переглядати їх на будь-якому розмірі екрану, вибравши одну з різних конфігурацій пристрою або просто змінивши розмір вікна попереднього перегляду.

2. Аналізатор APK (APK Analyzer). APK Analyzer дає можливість зменшити розмір додатка Android, перевіривши вміст файлу APK додатка, навіть якщо його створено не за допомогою Android Studio.

3. Швидкий емулятор (Fast emulator). Fast emulator дає можливість встановлювати й запускати програми швидше, ніж за допомогою фізичного пристрою, моделювати різні конфігурації та функції, зокрема ARCore, платформу Google для створення можливостей доповненої реальності.

4. Гнучка система побудови (Flexible build system). Flexible build system – це система збирання Android Studio на основі Gradle, що дає змогу розробнику налаштувати збірку для створення кількох її варіантів для різних пристроїв з одного проєкту.

5. Профайлери в реальному часі (Realtime profilers). Realtime profilers – це вбудовані інстру-

менти профілювання, що надають статистику в реальному часі про процесор, пам'ять і мережеву активність мобільного додатку.

Приклад роботи мобільної програмної системи подано на рис. 5–6.

**Висновки.** У роботі проведено дослідження моделей, методів та алгоритмів побудови мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності. Розроблено архітектуру мобільної програмної системи з розвитку цифрової грамотності. Для побудови архітектури програмної системи обрано модульний вид, що показує систему як структуру, у якій пов'язані за функціональністю модулі об'єднані в групи (рівні). Побудовано макет інтерфейсу користувача мобільної програмної системи «Digital Literacy». Побудовано ієрархію віджетів програмної системи. Побудовано ієрархію 6 додаткових Activity, що призначені для роботи з навчальними курсами, вибір яких здійснюється на головному Activity програмної системи.

Основним завданням мобільної програмної системи є формування та розвиток цифрових навичок і цифрових компетентностей користувачів, що сприятимуть розвитку цифрової економіки країни.

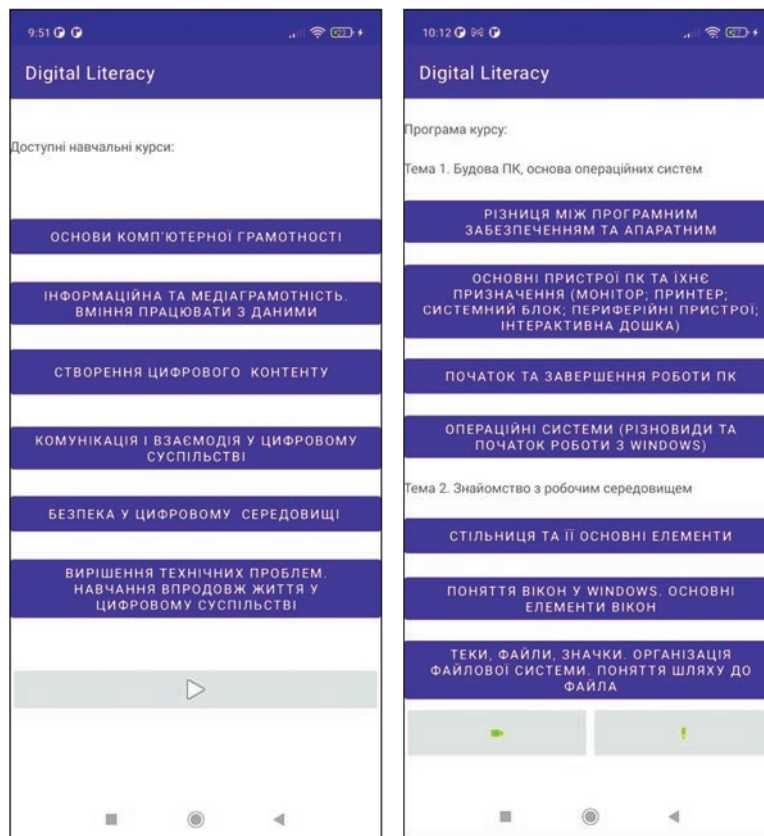


Рис. 5. Програма курсу «Основи комп'ютерної грамотності»

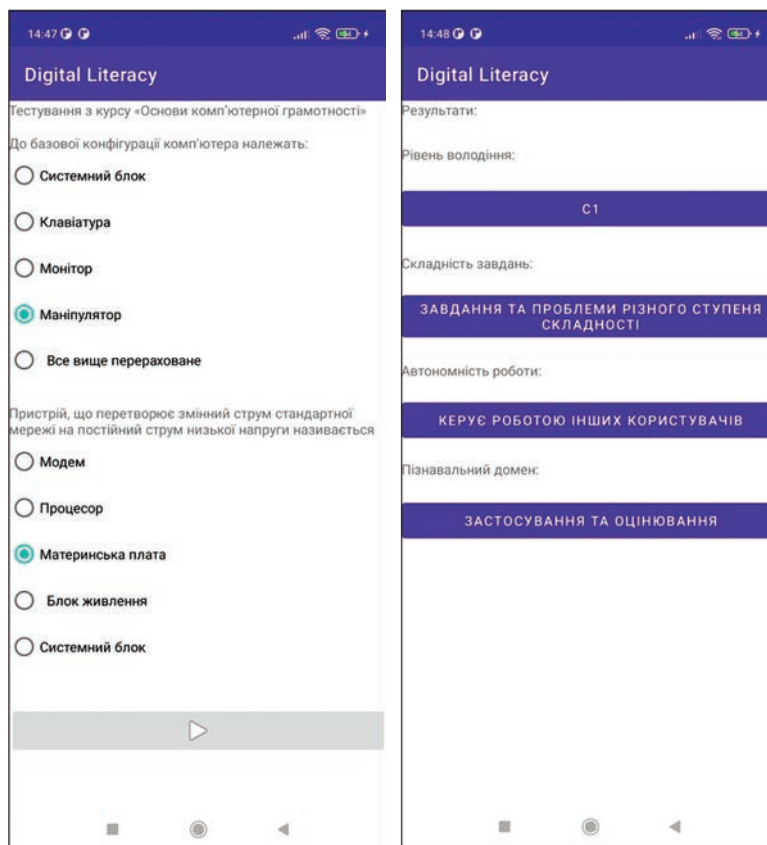


Рис. 6. Результати роботи



Список літератури:

1. Про схвалення Концепції розвитку цифрових компетентностей та затвердження плану заходів з її реалізації : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 3 березня 2021 р. № 167-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 09.12.2021).
2. Національне тестування цифрових компетентностей громадян України. URL: <https://khoda.gov.ua/prilozennja-do-nac%D1%96onalnogo-testuvannja-cifrovih-kompetentnostej-gromadjan-ukra%D1%97ni%21> (дата звернення: 09.12.2021).
3. Опис Рамки цифрової компетентності для громадян України. URL: [https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/news\\_post/2021/3/mintsifra-oprilyudnyue-ramku-tsifrovoi-kompetentnosti-dlya-gromadyan-OP-CJK.pdf](https://thedigital.gov.ua/storage/uploads/files/news_post/2021/3/mintsifra-oprilyudnyue-ramku-tsifrovoi-kompetentnosti-dlya-gromadyan-OP-CJK.pdf) (дата звернення: 09.12.2021).
4. Дія. Цифрова Освіта. Національна онлайн-платформа для розвитку цифрової грамотності. URL: <https://osvita.diia.gov.ua/> (дата звернення: 09.12.2021).
5. Цифрограм. URL: <https://osvita.diia.gov.ua/digigram> (дата звернення: 09.12.2021).
6. Про створення робочої групи з розроблення опису цифрової компетентності педагогічного працівника : Наказ Міністерства освіти і науки України від 15 січня 2019 р. № 38. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/pro-stvorennja-robochoyi-grupi-z-rozroblennja-opisu-cifrovoyi-kompetentnosti-pedagogichnogo-pracivnika> (дата звернення: 09.12.2021).
7. Development of mobile gis technology for monitoring spatially distributed emergencie / O. Liashenko, D. Kyrychuk, H. Raiko, I. Dorovska, Y. Chebukin. *In International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, SGEM.* 2019. Vol. 20. P. 887–895.
8. Программирование под Android / З. Медник, Л. Дорнин, Б. Мик, М. Накамура. 2-е изд. Санкт-Петербург : Питер, 2013. 560 с.
9. Васильев Н.П., Заяц А.М. Введение в гибридные технологии разработки мобильных приложений : учебное пособие для ВО. Санкт-Петербург : Лань, 2020. 160 с.

**Kan Yu.Ye., Liashenko O.M., Kyrychuk D.L. RESEARCH OF METHODS AND ALGORITHMS FOR BUILDING A MOBILE SOFTWARE SYSTEM FOR THE DEVELOPMENT OF DIGITAL LITERACY**

*Studies of methods and algorithms for building a mobile software system for the development of digital literacy were carried out.*

*Based on the study, the Android application “Digital Literacy” was proposed, which contains training courses on the development of digital literacy. The Android application contains six training courses that form a combination of knowledge, skills, ways of thinking, views, other personal qualities in the field of information and communication and digital technologies, which determines a person's ability to successfully socialize, conduct professional and further educational activities using such technologies.*

*To build the architecture of the mobile software system for the development of digital literacy, a modular view was chosen, showing the system as a structure in which functionally related modules are grouped into groups (levels). The basis of the mobile application is a set of systems and services that allow you to access data from other applications, display user notifications in the status bar and manage the life cycle of the mobile application.*

*An integrated Android Studio development environment based on JetBrains' IntelliJ IDEA software was chosen to develop the mobile software system.*

*When developing the software, the following features were taken into account: various versions of Android OS and architecture options for the central processor – the software package works correctly on a wide range of Android OS versions, each of which has its characteristics and limitations; various resolutions and proportions of screens of mobile devices – the interface of the software complex is correctly displayed on mobile devices, due to the use of units of measurement independent of resolution.*

*The main task of the mobile software system is the formation and development of digital skills and digital competencies of users that will contribute to the development of the digital economy.*

**Key words:** mobile software system, digital literacy, digital competencies, mobile devices.

**Кваша Ю.В.**

Національний університет «Одеська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗМІЩЕННЯ ЦЕНТРУ МАС ДВОКОЛІСНОГО САМОБАЛАНСУЮЧОГО РОБОТА НА ЯКІСТЬ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ

*Підійшовши до четвертої промислової революції, людство стало дедалі більше використовувати роботи в повсякденному житті. Роботи виконують хатні обов'язки, вирішують наукові завдання, стають складниками промислових систем керування й навіть військових підрозділів. Дослідження незнайомих землянам планет, океанічних глибин, переміщення вантажів, виконання завдань за умови наявності радіоактивного випромінювання або високих температур, відсутності або низької концентрації кисню в повітрі, залучення роботів до виконання типових завдань на заводах і фабриках – лише короткий список сфер, де сьогодні вже працюють перші прототипи.*

*Реалізація завдань управління роботами відкриває для сфери автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій широке поле досліджень. Сьогодні однією з найбільш розповсюджених в Україні моделей роботів є роботи-балансери. Це й складники системи з перевезення вантажів у портах, і помічники-розвідники рятувальних служб під час обвалів у шахтах чи визволенні людей з-під завалів житлових будинків, і добре знайомі кожному Сегвей. Головним завданням управління такими прототипами є стабілізація їхнього руху відповідно до заданого маршруту.*

*Після вирішення завдання керування руху двоколісних роботів можна приступати до надання прототипу додаткових функцій. Наприклад, завдання керування рухом робота за допомогою Bluetooth чи Wi-fi модулів, можливість оминати перешкоди на шляху, підйом і переміщення вантажу, присідання до корпусу руки-маніпулятора, засобів фото- й відеофіксації тощо.*

*Об'єктом управління дослідженої в статті системи є двоколісний самобалансуючий робот. Розглянуто основні принципи побудови моделі перевернутого маятника, на якому базується математична модель об'єкта управління.*

*Приведено перелік необхідних деталей для побудови прототипу двоколісного робота, показано схему каскадної автоматизованої системи керування таким прототипом, описано принцип регулювання швидкості руху. Проведено експериментальне дослідження впливу зміщення центру мас прототипу на якість регулювання його швидкості руху. Показано графіки відповідних перехідних процесів і надано їх аналіз.*

**Ключові слова:** двоколісний робот, самобалансуючий робот, регулювання швидкості руху, модель перевернутого маятника, каскадна система регулювання, зміщення центру мас.

**Постановка проблеми.** За свідченням експертів Boston Consulting Group, уже у 2030 році світовий ринок роботехніки може збільшитися в десять разів, досягнувши \$260 млрд США. Усього спеціалісти виділяють три шляхи розвитку цієї індустрії:

1. Зростання індивідуалізації. Цей шлях найбільш близький і зрозумілий відповідно до того, що відбувається в науково-технічній сфері сьогодні. Компанії почнуть створювати кастомізованих роботів. Їх основним завданням стане виконання завдань окремих споживачів. Наприклад, це може бути робот-збирач овочів, фруктів чи ягід або робот-медик, який буде здатний брати зразки крові для аналізу.

2. Поширення автоматизації. У такому випадку роботи можуть зайняти повноцінні робочі місця:

з'являться роботи-кур'єри, роботи, призначені для збірки окремих приладів чи роботи, здатні обслуговувати автомобілі на заправних станціях.

3. Розвиток штучного інтелекту. Такі роботи будуть здатні виконувати складні й динамічні завдання в аеропортах, на вокзалах чи в готелях.

Розробка самобалансуючих двоколісних роботів є перспективний напрямом розвитку інженерії сьогодні. Роботи-балансери можуть замінити людську працю у виконанні типових завдань переміщення, а також стати базою для розробки більш складних прототипів.

Отже, необхідно мати чітке розуміння щодо балансування двоколісних роботів, щоб у майбутньому перейти до ускладнення їхнього функціоналу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Двоколісний самобалансуючий робот є рухомою

електромеханічною системою, як об'єкт управління є нестійким і має нелінійну природу. Кожне колесо робота керується незалежним кроковим двигуном або двигуном постійного струму.

Завдання керування полягає в підтримці прототипу у вертикальному положенні рівноваги в нерухомому стані, а також у розрахунку оптимального кута нахилу прототипу під час його руху.

Вертикальне положення рівноваги двоколісного самобалансуючого робота досягається аналогічним чином завдання стабілізації перевернутого маятника на візку.

З математичної точки зору завдання стабілізації перевернутого маятника може бути приведено до двох основних кроків:

1. Якщо кут нахилу зміщений управо, то візок має рухатися вправо й навпаки.

2. Положення візку  $x$  стосовно його центру мас стабілізується шляхом перерахунку нульового кута положення візку. Це величина відхилення від положення рівноваги, яку система намагається звести до нуля. Вона зумовлює відхилення стрижня перевернутого маятника стосовно центру візка та спричиняє стабілізацію положення там, де кут відхилення розташований точно вертикально. Будь-які зміщення чи відхилення роблять систему нестабільною.

Якщо переміщення візку буде позитивним, то неочікуваний рух управо спричинить наступним кроком рух уліво. Щоб стабілізувати положення маятника, система виконає ще один рух знову вправо. Отже, стабільним станом для системи двоколісного самобалансуючого робота, за основу математичної моделі якого взята модель перевернутого маятника, є коливальний рух у межах допустимого інтервалу відхилення регулювання величини від показника завдання.

У статті [1] запропонована конструкція та система керування в реальному часі двоколісного робота, побудованого за принципом перевернутого маятника.

У статті [2] описана математична модель двоколісного самобалансуючого робота, оснащеного двома моторами-редукторами постійного струму, у просторі станів.

У статті [3] розглянуто метод навігації двоколісного робота в неструктурованому просторі з наявними в ньому перешкодами. Запропоновано використання нечіткого регулятора для вирішення завдання керування.

У статті [4] представлено процеси розробки прототипу двоколісного самобалансуючого робота та його моделювання в просторі станів за допомогою програми Matlab Simulink.

У роботі [5] автором спроектовано та сконструйовано обладнання для двоколісного балансуєчого робота за принципом Сегвей. Для усунення недоліків системи, побудованої лише на основі аналітичної моделі без урахування витрат на тертя у двигунах, запропоновано SISO ПІД-компенсатор і SISO-компенсатор випередження-запізнення.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження якості регулювання швидкості руху автоматизованої системи управління двоколісного самобалансуючого робота за умови зміщення його центру мас за допомогою власноруч збудованого прототипу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У статті досліджена модель самобалансуючого двоколісного робота з двома ведучими колесами. Робот побудовано на основі двох платформ з органічного скла, двох крокових двигунів із використанням плати Arduino Micro з процесором ATmega 32U4.

На верхній платформі розташовано плата Arduino Micro, драйвери крокових двигунів, акселерометр MPU 6050 і модуль Bluetooth. На нижній платформі реалізована схема живлення 5В та 12В, джерело живлення у вигляді трьох батарейок INR 18650-30Q. Крокові двигуни NEMA17 JK42HS40-1704 кріпляться безпосередньо до лівого й правого колеса та з'єднуються з драйверами на нижній платформі. Висоту кріплення кожної платформи можна довільно змінювати.

Зовнішній вигляд прототипу представлений на рис. 2.а.

Алгоритм самобалансування двоколісного робота реалізований із використанням каскадної системи регулювання з ПІ-регулятором швидкості й ПІД-регулятором кута нахилу прототипу.

Збурення надходить в об'єкт управління. Це може бути поштовх або будь-яке інше зміщення, у результаті чого робот виходить із положення рівноваги. ПІ-регулятор швидкості розраховує оптимальний цільовий кут нахилу прототипу. Ця величина порівнюється з положенням прототипу в теперішній момент часу.

Розрахована різниця між цільовим кутом і наявним кутом нахилу прототипу надходить у ПІД-регулятор кута нахилу прототипу. Тут обчислюється величина керуючого впливу, яка надходить у драйвери крокових двигунів, а звідки – до самих моторів. Колеса обертаються.

Налаштування ПІ-регулятора швидкості й ПІД-регулятора кута нахилу робота підібрані експериментальним шляхом. Програмний код для Arduino Micro написано з використанням середовища Arduino IDE.

Керування роботом здійснюється зі смартфона на базі Android-системи з використанням Bluetooth-модуля. Для управління напрямком руху робота розроблено додаток на основі Kewlsoft Bluetooth Electronics. Інтерфейс додатку для керування напрямком руху двокісного самобалансуючого робота представлено на рис. 1.

**Результати дослідження.** Базовим станом моделі вважається робот із піднятою верхньою платформою. Зміна центру мас робота досягається шляхом зміщення верхньої платформи вниз. Базовий та експериментальний види прототипу показано на рис. 2.

Після зміщення центру мас налаштування регулятора зміни не зазнавали. Ступінчатий вхідний сигнал моделюється за допомогою джойстика та надходить до прототипу з використанням техно-

логії Bluetooth. Пристрій приведено в положення «вверх» у максимальному відхиленні одним рухом.

Перехідний процес після надання ступінчатого вхідного сигналу на модель у базовому й експериментальному станах показано на рис. 3.

Характеристика перехідних процесів після надання ступінчатого впливу на модель у базовому й експериментальному стані описана в таблиці 1.

Проаналізувавши графіки перехідних процесів, зображених на рис. 3, і дані, представлені в таблиці 1, можемо стверджувати таке: зміщення центру мас прототипу покращує якість його керування.

Амплітуда коливань у досліді з використанням двокісного робота з центром мас вище колісної платформи вища, ніж у випадку, коли центр мас знаходиться ближче до коліс. Період коливань



Рис. 1. Інтерфейс додатка для керування напрямком руху двокісного самобалансуючого робота

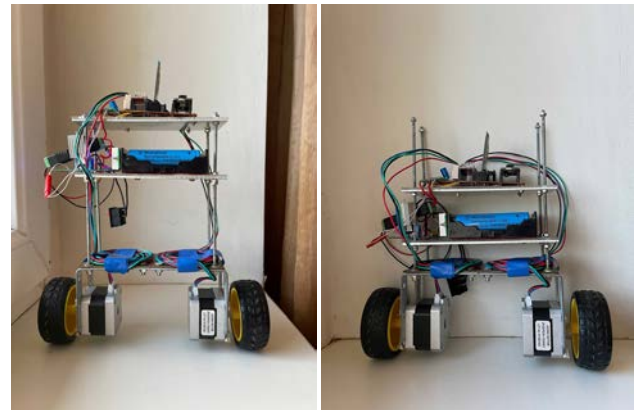


Рис. 2. Двокісний самобалансуючий робот: а) базовий стан; б) експериментальний стан

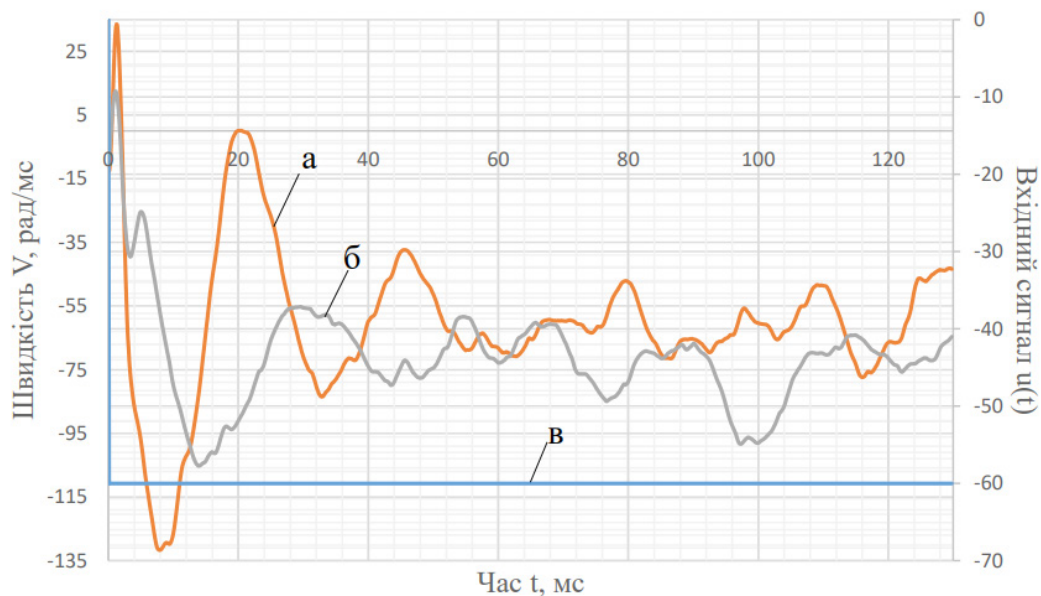


Рис. 3. Перехідний процес після надання ступінчатого впливу на модель: а) у базовому стані; б) в експериментальному стані; в) вхідний сигнал

прототипу в експериментальному вигляді більшій, ніж у базовому. Це є показником більш плавного перехідного процесу.

Під час другого експерименту вхідний сигнал надається за допомогою пружини. На рис. 4 зображено перехідні процеси після виведення робота зі стану рівноваги шляхом поштовху в базовому й експериментальному стані прототипу.

Характеристика перехідних процесів після надання ступінчатого впливу на модель у базовому й експериментальному стані описана в таблиці 2.

Проаналізувавши графіки перехідних процесів, показані на рис. 4, а також дані, подані в таблиці 2, можемо стверджувати, що прототип в експериментальному стані забезпечує більш якісний перехідний процес.

Величина максимального відхилення після зміщення центру мас ближче до блоку коліс

стала значно меншою. Перехідний процес більш плавний, робот стабілізується краще. На графіку процес стабілізації відображений коливальними рухами з амплітудою від -25 рад/мс до 15 рад/мс. Зменшилися час регулювання та період коливань.

**Висновки.** У результаті дослідження теоретичних матеріалів і проведення експериментів визначено: після зміщення центру мас ближче до колісної платформи якість регулювання покращується. У дослідях із прототипом в експериментальному стані спостерігається менша величина максимального відхилення, час регулювання та період коливань у стабільному стані.

При розробці прототипів двоколісних самобалансуючих роботів надалі краще основну масу робота розміщувати ближче до платформи коліс, щоб покращити якість його руху.

Таблиця 1

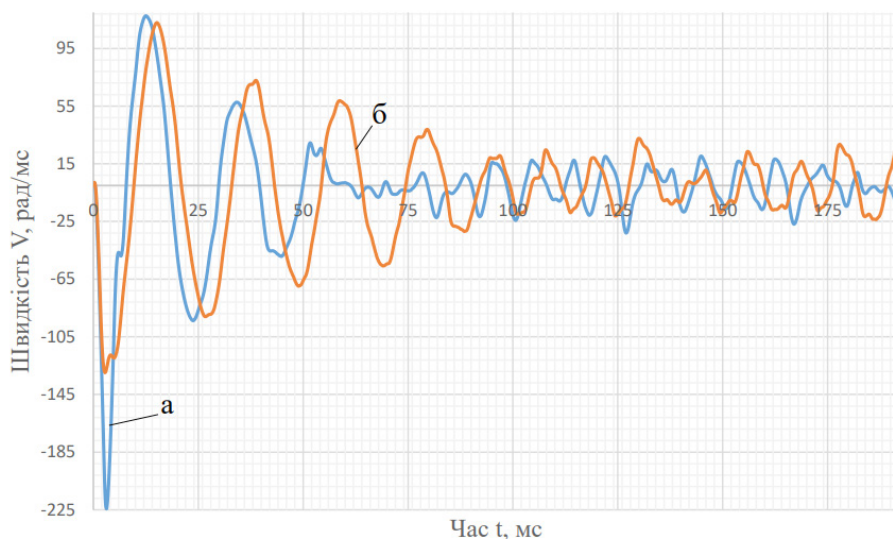
**Характеристика перехідних процесів після надання ступінчатого впливу на модель у базовому та експериментальному стані**

Характеристика	Базовий стан моделі	Експериментальний стан моделі
Величина максимального відхилення, рад/с	131,65	105,29
Час регулювання $T_p$ , мс	-	-
Період коливань $T_k$ , мс	18,5	27,7

Таблиця 2

**Характеристика перехідних процесів після надання ступінчатого впливу на модель у базовому та експериментальному стані**

Характеристика	Базовий стан моделі	Експериментальний стан моделі
Величина максимального відхилення, рад/мс	224,37	129,78
Час регулювання $T_p$ , мс	90,8	84,7
Період коливань $T_k$ , мс	23,2	21,7



**Рис. 4. Перехідні процеси після надання імпульсного вхідного впливу на модель: а) у базовому стані; б) в експериментальному стані**

Список літератури:

1. Nawawi S.W., Ahmad M.N., Osman J.H.S. Real-Time Control of a Two-Wheeled Inverted Pendulum Mobile Robot. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2008. Vol. 2. № 3. P. 406–412.
2. Modeling of two-wheeled self-balancing robot driven by DC gearmotors by / P. Frankovský, L. Dominik, A. Gmitterko, I. Virgala, P. Kurylo, O. Perminova. *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*. 2017. Vol. 22. № 3. P. 739–747. URL: <https://sciendo.com/pdf/10.1515/ijame-2017-0046> (дата звернення: 10.12.2021).
3. Kocaturk B. Motion control of wheeled mobile robots. *Interdisciplinary Description of Complex Systems*. 2015. № 13 (1). P. 41–47 URL: <https://www.indecs.eu/2015/indecs2015-pp41-47.pdf> (дата звернення: 29.11.2021).
4. Modeling and Control of a Two-Wheeled Auto-Balancing Robot: a didactic platform for control engineering education. URL: [http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full\\_papers/FP556.pdf](http://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/full_papers/FP556.pdf) (дата звернення: 19.12.2021).
5. Bageant M.R. Balancing a Two-Wheeled Segway Robot. Massachusetts Institute of Technology. Boston, USA, 2011. 57 p. URL: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/69500/775672333-MIT.pdf?sequence=2> (дата звернення: 03.01.2022).

**Kvasha Yu.V. RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE DISPLACEMENT OF TWO-WHEELED SELF-BALANCING ROBOT'S CENTER OF MASS ON THE QUALITY OF SPEED REGULATION**

*As the fourth industrial revolution approached, humanity began to use work more and more in everyday life. Robots do their homework, solve scientific problems, become part of industrial management systems and even military units. Exploring planets unfamiliar to the earth, ocean depths, moving cargo, performing tasks in the presence of radiation or high temperatures, lack or low concentration of oxygen in the air, attracting robots to perform typical tasks in plants and factories-just a short list of areas where they work today the first prototypes.*

*The implementation of work management tasks opens a wide field of research for the field of automation and computer-integrated technologies. Today, one of the most common models of robots in Ukraine are balancer robots. These are both components of cargo transportation systems in ports, and rescue assistants during landslides in mines or the release of people from the rubble of residential buildings, and are well known to every Segway. The main task of managing such prototypes is to stabilize their movement in accordance with the specified route.*

*After solving the problem of controlling the movement of two-wheeled robots, you can begin to provide a prototype of additional functions. For example, the task of traffic control works with Bluetooth or Wi-fi modules, the ability to avoid obstacles in the way, lifting and moving loads, attaching to the body of the hand-manipulator, photo and video fixation and more.*

*The object of control studied in this article of the system is a two-wheeled self-balancing robot. The basic principles of construction of the inverted pendulum model, on which the mathematical model of the control object is based, are considered.*

*The article lists the necessary details for the construction of a prototype two-wheeled robot, shows a diagram of a cascade automated control system for such a prototype, describes the principle of speed control. An experimental study of the effect of displacement of the center of mass of the prototype on the quality of regulation of its speed. The article shows the graphs of the corresponding transients and provides their analysis.*

**Key words:** *two-wheeled robot, self-balancing robot, speed control, inverted pendulum model, cascade control system, center of mass displacement.*

**Киричек Г.Г.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Щетинін М.О.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## УПРАВЛІННЯ КОНФІГУРАЦІЄЮ СЕРВЕРІВ НА ОСНОВІ ANSIBLE

У роботі запропоновано модель системи управління конфігурацією серверів і метод її програмної реалізації. У ході реалізації системи вирішено такі завдання: досліджені та порівняні наявні системи управління конфігурацією серверів; проведено аналіз і вибір технологій для реалізації системи управління; змодельована система управління; розгорнутий і налаштований майстер-сервер; на майстер-сервері конфігуровано систему управління та проведена її інтеграція з графічним інтерфейсом; створені сценарії для розгортання серверів із різними операційними системами й конфігураціями; проведено тестування реалізованої системи. Система включає графічний інтерфейс клієнта, сервер управління Ansible та клієнтські сервери. Для управління системою використовується графічний інтерфейс із відкритим вихідним кодом AWX, який взаємодіє із сервером управління й користувачем. Як хостинг-платформу для розгортання проєкту обрано сучасну хмарну хостинг-платформу Google Cloud. Сервер управління Ansible містить список клієнтських серверів і їх груп, сценарії, написані з використання мов Python та YAML, убудовані та сторонні модулі, написані мовою Python і плагіни. Графічний інтерфейс AWX як базу даних використовує PostgreSQL. Для виконання сценаріїв сервер управління конфігурацією підключається до клієнтських серверів за допомогою протоколу SSH. Метою роботи є проведення досліджень, вибір методів конфігурування серверів на основі різних операційних систем і реалізація системи управління конфігурацією серверів з метою вдосконалення процесу їх налаштування й конфігурації. Об'єктом дослідження є процес реалізації системи управління конфігурацією серверів. Предметом дослідження є моделі, методи, алгоритми та програмні засоби реалізації цієї системи. Ручне розгортання серверів займає вдвічі більше часу при розгортанні з попередньо встановленими вебсервером, сервером баз даних і службою PHP-FPM і навіть у чотири рази більше часу при розгортанні серверів із базовою конфігурацією. Одержаний результат можна використовувати для розгортання серверів із різними операційними системами та конфігураціями.

**Ключові слова:** система управління конфігурацією серверів, Ansible, CentOS, Ubuntu, YAML, Python, SSH.

**Постановка проблеми.** Розвиток вебтехнологій протягом останніх двох десятиліть і світовий карантин 2020–2021 рр. призвели до значної популяризації вебхостингу. Тому велика кількість приватних осіб та особливо підприємців зацікавилася можливістю займатися комерційною діяльністю в мережі Інтернет [1]. Отже, подібний сплеск популярності через значні затрати часу робить розгортання нових серверів вручну дуже неефективним. Виходячи із цього, більшість великих, середніх і навіть малих хостинг-компаній переходять або вже перейшли на розгортання серверів за допомогою систем управління конфігурацією [2; 3]. Ці системи автоматизують дії з налаштування та спрощують складні операції, які постійно повторюються й необхідно виконувати при черговому розгортанні серверу [4]. Це дає змогу значно зекономити час, коли необхідно налаштовувати велику кількість серверів або вносити зміни до їх конфігурацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі розглянуто 4 найбільш популярні системи управління конфігурацією серверів (далі – СУКС): Ansible, Puppet, Chef і Salt [5]. У таблиці 1 наведено порівняння найважливіших характеристик розглянутих СУКС. Наведені дані показують, що Puppet [6] і Chef [2] є доволі складними СУКС, тому що обидві системи мають клієнт-серверну архітектуру та вимагають наявності баз даних.

Окрім цього, як Puppet, так і Chef, на відміну від Ansible [7] і Salt [3], підтримують роботу виключно в середовищі Linux, що робить їх менш універсальними системами. Системи Ansible та Salt доволі схожі, але Salt не має офіційного графічного інтерфейсу користувача та не виконує операції покроково, а це призведе до більш складного налаштування в разі виникнення проблем [8]. Вимоги, які висуваються до реалізованої системи, мають відповідати певним критеріям і мати майстер-сервер із конфі-

Порівняння систем управління конфігурацією серверів

	Ansible	Puppet	Chef	Salt
Мова програмування	Python	C++	Ruby	Python
Мова конфігурування	YAML	Puppet DSL	Ruby	YAML
База даних	-	PuppetDB	PostgreSQL	-
Метод обміну даними	SSH	Mcollective	RabbitMQ	ZeroMQ
Підтримувані ОС	FreeBSD, Linux, macOS, Solaris	Linux	Linux	FreeBSD, Linux
Наявність агента	-	+	+	+
Архітектура	Серверна	Клієнт-серверна	Клієнт-серверна	Серверна
Метод розгортання	Push	Pull	Pull	Push
Покрокове виконання	+	-	+	-
Наявність офіційного графічного інтерфейсу	+	+	+	-

гурованою СУКС; наявність графічного інтерфейсу користувача; можливість розгортання серверів із використанням різних операційних систем і конфігурацій, обраних користувачем із певного переліку.

**Постановка завдання.** Спираючись на мету роботи й вимоги до системи, визначимо завдання, які необхідно виконати в ході роботи: дослідити та порівняти наявні СУКС; провести аналіз і вибір технологій для реалізації системи управління; змодельовати систему; розгорнути й налаштувати майстер-сервер; конфігурувати СУКС на майстер-сервері та провести інтеграцію з графічним інтерфейсом; створити сценарії для розгортання серверів із різними операційними системами й конфігураціями; провести тестування реалізованої системи та проаналізувати результати.

Система складається з трьох основних частин: графічний інтерфейс користувача; сервер

управління Ansible та клієнтські сервери [5]. Для управління системою використовується графічний інтерфейс з відкритим вихідним кодом AWX, який взаємодіє із сервером управління й користувачем. Сервер управління Ansible містить список клієнтських серверів і їх груп, сценарії, написані з використання мов Python [9] і YAML [10], вбудовані та сторонні модулі, написані мовою Python, а також різноманітні плагіни. Для виконання сценаріїв сервер управління підключається до клієнтських серверів за допомогою протоколу SSH [11].

**Виклад основного матеріалу.** Метою роботи є проведення досліджень, вибір методів конфігурування серверів на основі різних операційних систем і реалізація системи управління конфігурацією серверів з метою вдосконалення процесу їх налаштування й конфігурації. Об'єктом дослідження є процес реалізації системи управління

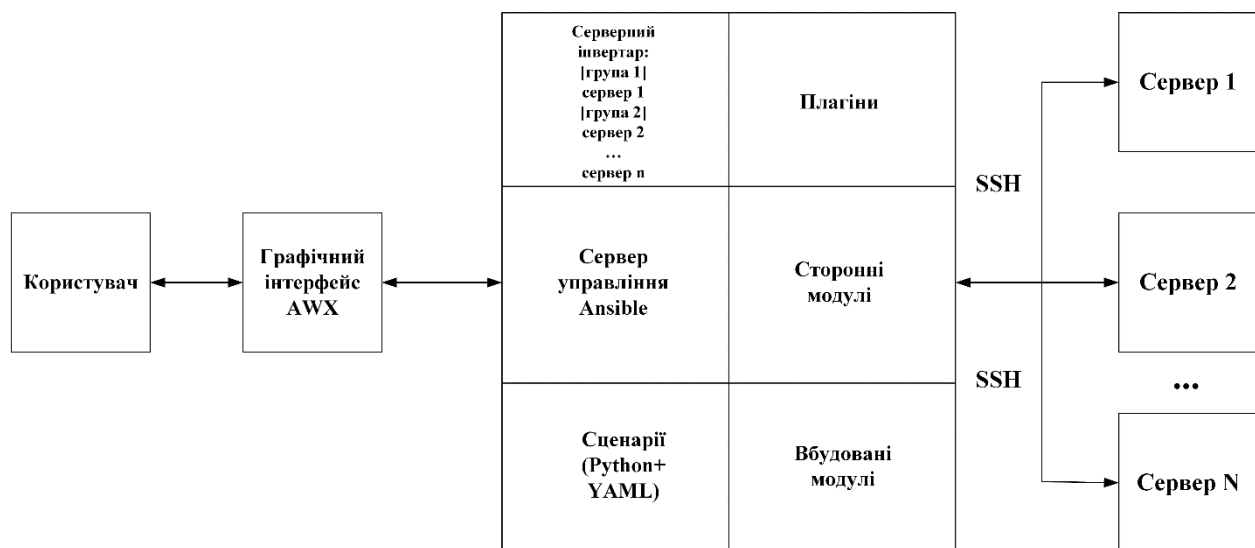


Рис. 1. Загальна модель системи



конфігурацією серверів. Предметом дослідження є моделі, методи, алгоритми та програмні засоби реалізації цієї системи.

Загальна модель системи (рис. 1) включає такі модулі й етапи функціонування: HTTP-запити від користувача, надіслані за допомогою веббраузера, отримує графічний інтерфейс AWX; він обробляє їх і пересилає для виконання серверу управління Ansible; сервер запускає необхідні сценарії на вказаній групі серверів за допомогою протоколу SSH і повертає результат графічному інтерфейсу AWX, який після обробки результату повертає користувачу HTTP-відповіді.

Використання ОС CentOS Stream 8 [12] як основи для сервера Ansible та графічного інтерфейсу AWX вимагає розміщення певним чином файлів сценаріїв і файлів, які використовуються в цих сценаріях. Як хостинг-платформу для розгортання проекту обрано сучасну хмарну хостинг-платформу Google Cloud [13]. Кореневим каталогом для проектів при використанні AWX служить каталог `/var/lib/awx/projects`, у якому, як приклад, використовуємо каталог проекту `university`. У кореновому каталозі проекту маємо точки входу, які служать для завантаження груп сценаріїв у певному порядку. Каталоги груп сценаріїв розміщуються в каталозі `roles` кореневого каталогу проекту. Групи сценаріїв включають каталог `tasks` із файлом `main.yml` усередині, який завжди є точкою входу в певну групу сценаріїв.

Додаткові файли сценаріїв у будь-якій кількості також розміщені в цьому каталозі й написані мовою Python [9] із використанням формату YAML [10]. Окрім цього, каталоги груп сценаріїв містять у каталогах `files` і `templates`, відповідно, файли, які не потребують модифікації, та шаблони, які перед використанням потребують певної модифікації. При цьому Ansible, як і деякі інші системи управління конфігурацією, для створення сценаріїв вимагає використовувати процедурний стиль програмування [14]. Перевагами цього стилю є повторне використання коду в різних місцях програми без необхідності його копіювання; використання концепції пам'яті як сховища, уміст якого може оновлюватися операторами програми, і послідовне виконання операторів для перетворення початкового стану пам'яті [15].

Далі частково наведемо файли, створені та розміщені відносно кореневого каталогу проекту:

- `Base.yml` та `LAMP.yml` – точки входу для завантаження груп сценаріїв, призначених для розгортання серверів із базовою конфігурацією та попередньо встановлених вебсервером; сервером баз даних і службою PHP-FPM, відповідно;

- у `roles/apache/files/`: `mod_deflate.conf` і `mod_expires.conf` – файли конфігурації модуля `deflate` й `expires` для Apache; далі в `roles/apache/tasks` розташовані сценарій і точка входу встановлення й налаштування Apache;

- у `roles/apache/templates/`: `apache2.conf` – головний файл конфігурації Apache для ОС Ubuntu; `hostname.conf` – файл конфігурації головного імені сервера для вебсервера Apache; `httpd.conf` – головний файл конфігурації Apache для ОС CentOS; `index.html` – файл, що містить головне ім'я сервера й розташовується в кореновому каталозі Apache; `ssl_centos.conf` – файл конфігурації модуля `ssl` для Apache в ОС CentOS і `ssl_ubuntu.conf` – файл конфігурації модуля `ssl` для Apache в ОС Ubuntu [16];

- у `roles/base/tasks/`: `centos.yml` – сценарій базового налаштування серверів, які використовують ОС CentOS; `main.yml` – точка входу в групу сценаріїв базового налаштування серверів; `ubuntu.yml` – сценарій базового налаштування серверів, які використовують ОС Ubuntu;

- у `roles/cleanup/`: `cleanup.yml` – сценарій для очистки серверів від даних налаштування; `main.tml` – точка входу в групу цих сценаріїв;

- у `roles/core/`: `files/local_bin.sh` – файл конфігурації системної змінної; `files/ysctl.conf` – файл конфігурації змінних ядра Linux; `tasks/core.yml` – сценарій підготовки сервера до встановлення вебсервера, сервера баз даних і служби PHP-FPM; `tasks/main.yml` – точка входу в групу цих сценаріїв;

- у `roles/mail/`: `files/master.cf` – файл для перевизначення директив поштового сервера Postfix; `tasks/mail.yml` – сценарій встановлення й налаштування Postfix; `tasks/main.yml` – точка входу в групу цих сценаріїв; `templates/main_centos.cf` – головний файл конфігурації Postfix для ОС CentOS; `templates/main_ubuntu.cf` – файл конфігурації Postfix для ОС Ubuntu;

- у `roles/mariadb/`: `files/limits.conf` – файл конфігурації обмежень для сервера баз даних MariaDB; `/files/MariaDB.repo` – файл конфігурації репозиторію для MariaDB; `tasks/main.yml` – точка входу у групу цих сценаріїв; `tasks/mariadb.yml` – сценарій встановлення й налаштування MariaDB;

- у `roles/php/`: `files/php.ini` – головний файл конфігурації PHP; `tasks/php.yml` – сценарій встановлення й налаштування PHP-FPM; `tasks/main.yml` – точка входу в групу цих сценаріїв;

- у `roles/preflight/tasks/`: `preflight.yml` – сценарій перевірки сервера перед запуском інших сценаріїв; `main.yml` – точка входу в групу сценаріїв, яка відповідає за перевірку сервера перед запуском інших сценаріїв;

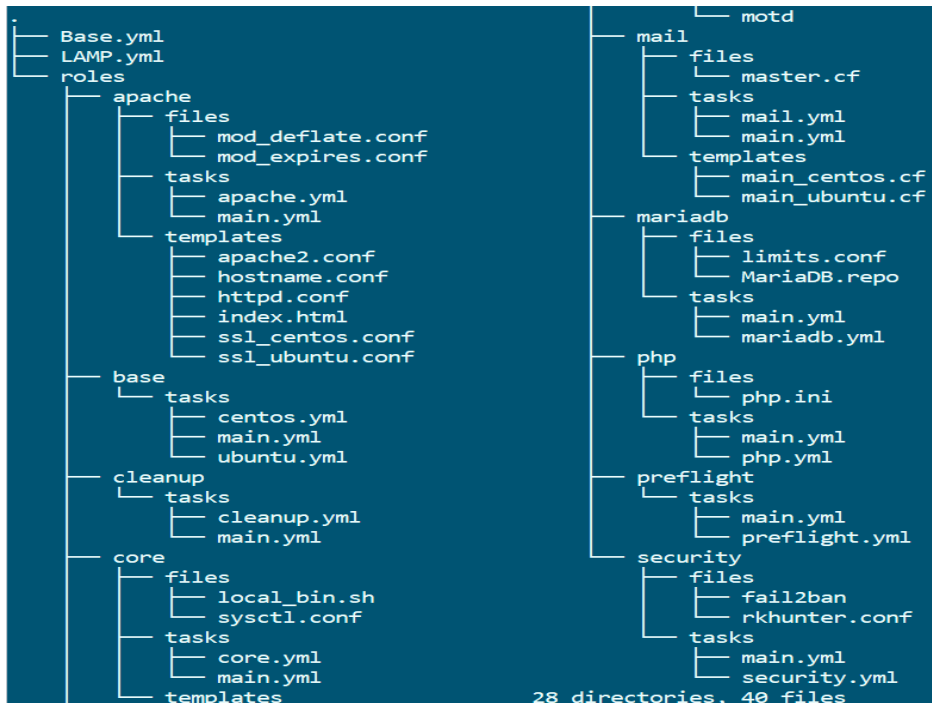


Рис. 2. Файлова структура проекту

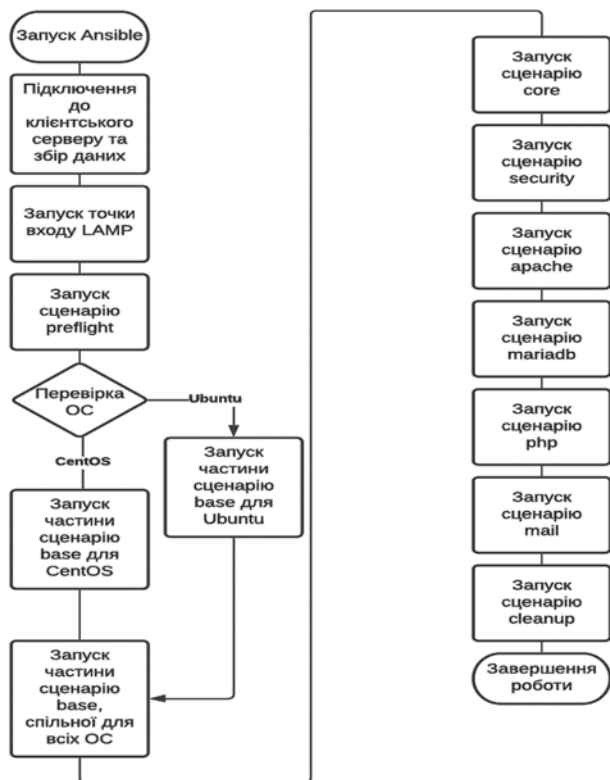


Рис. 3. Алгоритм роботи сценарію LAMP

– у roles/security/: files/fail2ban – файл конфігурації журналів служби Fail2Ban; files/rkhunter.conf – файл конфігурації застосунку rkhunter;

tasks/security.yml – сценарій із налаштування системи безпеки; tasks/main.yml – точка входу в групу сценаріїв із налаштування системи безпеки.

Графічне зображення структури проекту наведено на рисунку 2.

Алгоритм роботи LAMP із попередньо встановленими вебсервером; сервером баз даних і службою PHP-FPM наведено на рисунку 3.

Для запуску сценаріїв необхідно підключитися до серверу Ansible за протоколом SSH, перейти в каталог «/var/lib/awx/projects/university» за допомогою команди «cd/var/lib/awx/projects/university» й запустити обрану точку входу, використовуючи команду «ansible-playbook точка.yml», де «точка» є назвою точки входу. Серверний інвентар при використанні інтерфейсу Ansible завантажується з файлу «/etc/ansible/hosts».

Результати тестування швидкості розгортання серверів різної конфігурації за допомогою системи й порівняння зі швидкістю ручного розгортання наведені на рисунку 4.

З наведених результатів бачимо, що ручне розгортання серверів займає вдвічі більше часу при розгортанні з попередньо встановленими вебсервером, сервером баз даних і службою PHP-FPM, навіть у чотири рази більше часу при розгортанні серверів із базовою конфігурацією.

Далі наведемо порівняння швидкості розгортання серверів із різною конфігурацією за допомогою AWX та командного рядку Ansible (рис. 5).



Рис. 4. Результати тестування швидкості розгортання серверів

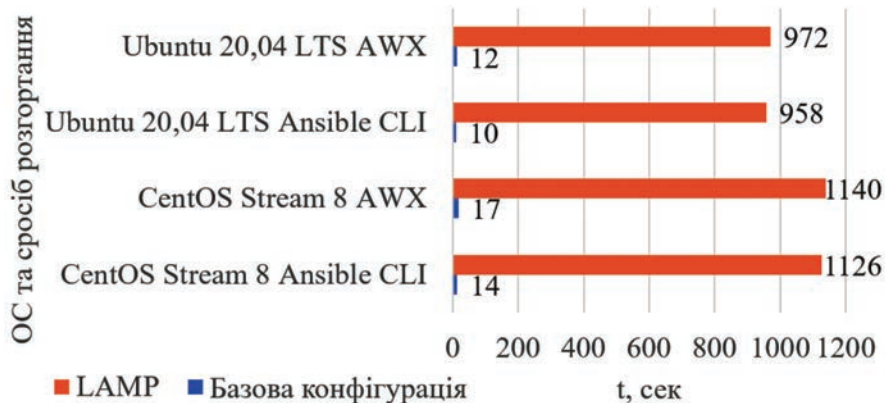


Рис. 5. Порівняння швидкодії AWX і командного рядка Ansible

З наведених результатів тестування можна побачити, що використання графічного інтерфейсу AWX дещо знижує швидкість системи, але втрати швидкодії не є значними.

**Висновки.** У ході виконання роботи вирішено такі завдання: досліджено та порівняно наявні системи управління конфігурацією серверів; проведено аналіз технологій для реалізації задач управління конфігурацією серверів; змодельовано систему; розгорнуто та налаштовано майстер-сервер, на якому сконфігуровано систему управління конфігурацією та проведено інтеграцію з графічним інтерфейсом AWX; створено сценарії для

розгортання серверів із різними операційними системами та конфігураціями; проведено тестування системи. З наведених результатів бачимо, що ручне розгортання серверів займає вдвічі більше часу при розгортанні з попередньо встановленими вебсервером, сервером баз даних і службою PHP-FPM, навіть у чотири рази більше часу при розгортанні серверів із базовою конфігурацією. Завдяки використанню Ansible реалізована система може використовуватися на будь-якому сервері з Unix-подібною ОС і здатна розгортати сервери на основі операційних систем CentOS Stream 8 і Ubuntu 20.04 LTS із конфігурацією, обраною користувачем.

**Список літератури:**

1. Рудьковський О.Р., Киричек Г.Г. Програмний комплекс з підтримки розподіленої взаємодії мережевих пристроїв та додатків. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Вип. 32 (71). № 2. С. 229–234.
2. Marschall M. *Chef Infrastructure Automation Cookbook*. Second Edition. Birmingham : Packt Publishing, 2015. 258 p.
3. Sebenik C. Hatch, Salt T. *Essentials: Getting Started with Automation at Scale*. Sebastopol : O’Reilly Media Inc., 2015. 163 p.
4. Киричек Г.Г., Гаркуша В.Ю. Віртуалізація хостів на основі Proxmox VE в умовах надлишкового використання ресурсів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2021. Вип. 32 (71). № 1. С. 78–84.

5. Киричек Г.Г., Щетинін М.О. Конфігурація серверів з використанням Ansible. *Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects* : International scientific conference. Riga, 2021. P. 15–17.
6. Rhett J. Learning Puppet 4: A Guide to Configuration Management and Automation. Sebastopol : O'Reilly Media Inc., 2016. 550 p.
7. Geerling J. Ansible for DevOps. Victoria : Lenpub, 2015. 296 p.
8. Puppet vs. Chef vs. Ansible vs. SaltStack. URL: <https://jetpatch.com/blog/agent-management/puppet-vs-chef-vs-ansible-vs-saltstack>.
9. Kirichek G., Kurai V. Implementation quadtree method for comparison of images. *14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering, TCSET 2018-Proceedings*. Lviv-Slavske, 2018. P. 129–132.
10. What is YAML? URL: <https://blog.stackpath.com/yaml>.
11. How does SSH work? URL: <https://www.hostinger.com/tutorials/ssh-tutorial-how-does-ssh-work>.
12. About CentOS. URL: <https://www.centos.org/about>.
13. Google Cloud Platform. URL: <http://wiseit.com.ua/cloud-services/google-cloud-platform>.
14. Основні поняття програмування. URL: <http://lib.mdpu.org.ua/e-book/sharov/lecture/lec11.htm>.
15. White G. Sivitanides M. Cognitive Differences Between Procedural Programming and Object Oriented Programming. San Marcos : Texas State University at San Marcos, 2005. 350 p.
16. About the Ubuntu project. URL: <https://ubuntu.com/about>.
17. Keating J. Mastering Ansible. Packt Publishing Ltd, 2015. 214 p.

#### **Kirichek G.G., Shchetinin M.O. ANSIBLE-BASED SERVERS CONFIGURATION MANAGEMENT**

*The paper proposes a model of server configuration management system and a method of its software implementation. During the implementation of the system the following tasks were solved: researched and compared existing server configuration management systems; conducted analysis and selection of technologies for the implementation of the management system; simulated control system; deployed and configured master server; the control system is configured on the master server and its integration with the graphical interface is carried out; created scenarios for deploying servers with different operating systems and configurations and tested the implemented system. The system includes a graphical client interface, Ansible management server, and client servers. The system is managed by an open-source graphical user interface AWX, which interacts with the management server and the user. The modern cloud hosting platform Google Cloud was chosen as the hosting platform for the project deployment. Ansible management server contains a list of client servers and their groups, scripts written using Python and YAML, embedded and third-party modules written in Python, and plugins. The AWX GUI uses PostgreSQL as the database. And to run scripts, the configuration management server connects to client servers using SSH. The purpose of the work is to conduct research, select methods for configuring servers based on different operating systems, and implement a server configuration management system to improve the process of setting up and configuring them. The research object is the process of implementing a server configuration management system. The research subject is models, methods, algorithms, and software tools for implementing this system. Deploying servers manually takes twice as long to deploy with a pre-installed web server, database server, and PHP-FPM, and even four times as long to deploy servers with a basic configuration. The result can be used to deploy servers with different operating systems and configurations.*

**Key words:** servers configuration management system, Ansible, CentOS, Ubuntu, YAML, Python, SSH.

УДК 004.05

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/19>**Климчук І.О.**

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

**Потапова К.Р.**

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

**Тарасенко-Клятченко О.В.**

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

**ПРО ОСОБЛИВОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВУКОВОГО ІНТЕРФЕЙСУ  
ДЛЯ ЛЮДЕЙ З ПОРУШЕННЯМИ МОВНОГО АПАРАТУ**

У статті досліджено методи розпізнавання мови людей з порушенням мовного апарату по короткому словнику з використанням *mel-кепстральних коефіцієнтів*. Визначено, що однією з головних форм взаємодії для людини є мовлення. Мова є носієм інформації, що використовується людиною для передачі повідомлень сигналом. За фізичною природою доведено, що це акустичний сигнал, який безперервно змінюється в часі. Визначено, що стрімко зростаючі обчислювальні потужності, створення систем розпізнавання мови залишається надзвичайно складною проблемою. Комерційні програми з розпізнавання мовлення з'явилися на початку дев'яностих років. Доведено, що ці програми використовують люди, які через травми рук не в змозі набирати велику кількість тексту або мають порушення мовного апарату. Програми переводять голос користувача в текст. Імовірність точного перекладу у таких програм не дуже висока, але з часом вона поступово покращується. У наш час на ринку є низка програм розпізнавання мови, які можна використовувати в домашніх умовах або на роботі. Важливі частини визначено у сучасних стандартних уже заснованих алгоритмах з розпізнавання мовлення – це моделювання мови та акустичне моделювання. Доведено, що розпізнавання у подібних наявних методах відбувається окремими словами в обмеженому словнику, а зі збільшенням словника збільшується час розпізнавання, що є суттєвим недоліком. Визначено, що найефективніший метод розпізнавання по короткому словнику – з використанням *mel-кепстральних коефіцієнтів*, які часто використовуються як характеристики мовних сигналів. Метод має дуже невеликий набір значень, який у разі розпізнавання успішно замінює тисячі відліків мовного сигналу. У цьому методі набагато менший обсяг даних, ніж спектрограма або тимчасове уявлення сигналу. Для кращого результату розглянуто спосіб розбиття вихідного слова на відрізки невеликої тривалості і як обчислювати коефіцієнти для кожного з них.

**Ключові слова:** розпізнавання мови, мовний сигнал, короткий словник, *mel-кепстральні коефіцієнти*, програмний додаток, порушення мовного апарату.

**Постановка проблеми.** Однією з головних форм взаємодії для людини є мовлення. Зазвичай методи розпізнавання мовлення використовують люди, які мають порушення мовного апарату.

Головна мета розпізнавання мовлення – це отримання різної інформації через вхідний мовленнєвий сигнал: про що говориться, хто саме говорить, якою мовою, в якому фізичному стані перебуває мовець тощо. Проблеми, що вирішує метод:

1) автоматичне перетворення мовленнєвого сигналу на текст;

2) введення інформації голосом, диктувальна машина;

3) пошук ключових слів і фраз у потоці мовлення;

4) смислова інтерпретація голосових повідомлень;

5) ідентифікація та верифікація диктора;

6) адаптація до голосу диктора та акустичного каналу;

7) розпізнавання мови, якою говорить диктор, його акценту;

8) усний переклад з однієї мови на іншу.

**Аналіз наявних рішень.** У наш час системи розпізнавання мови для загального призначення ґрунтуються на прихованих моделях Маркова. Приховані моделі Маркова користуються попу-

лярністю тому, що їх можна навчити автоматично. У використанні нейронні мережі роблять менше помітних припущень щодо статистичних властивостей ознак, ніж НММ. Користуючись для оцінки ймовірностей мовний сегмент, нейронні мережі дозволяють дискримінаційне навчання природним та ефективним способом. Допускаючи, що джерела збудження і форма голосового тракту можуть бути повністю незалежні, мовний апарат людини можемо представити як вигляд сукупностей генераторів тональних сигналів і шумів, а також фільтрів [8]. Схематично це можна представити так:

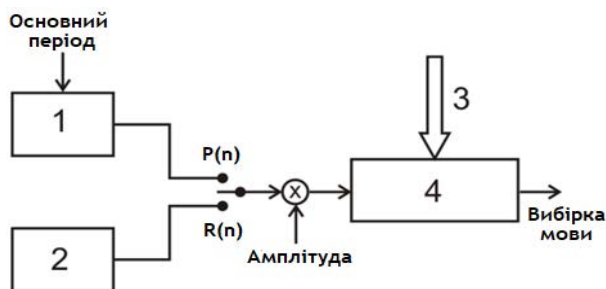


Рис. 1. Сукупність генераторів, сигналів і шумів

1. Генератор імпульсної послідовності (тонів).
2. Генератор випадкових чисел (шумів).
3. Коефіцієнти цифрового фільтра (параметри голосового тракту).
4. Нестационарний цифровий фільтр.

Для задачі розпізнавання слів можна взяти перші 13 з 24 обчислених коефіцієнтів [1], але скільки-небудь придатні результати в такому випадку починалися з 16. У будь-якому разі це набагато менший обсяг даних, ніж спектрограма або тимчасове уявлення сигналу.

Для кращого результату можна розбити вихідне слово на відрізки невеликої тривалості й обчислювати коефіцієнти для кожного з них [9].

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження можливості використання методу mel-кепстральних коефіцієнтів для розпізнавання мови людей з порушенням мовного апарату.

Для досягнення мети розв'язуються такі наукові завдання:

- розглянути структуру мовного сигналу та виконати його опис;
- розглянути загальну структуру системи автоматичного розпізнавання мови;
- розглянути побудову блоку виділення ознак;
- дослідити метод mel-кепстральних коефіцієнтів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Питання людино-машинної взаємодії є одними з найважливіших у разі створення нових

комп'ютерів. Найбільш ефективними засобами взаємодії людини з машиною були б ті, які є природними для неї: через візуальні образи і мову.

Створення мовних інтерфейсів могло б знайти застосування у системах самого різного призначення [2]:

- 1) голосове управління для людей з обмеженими можливостями;
- 2) надійне управління бойовими машинами, «розуміючими» тільки голос командира;
- 3) автовідповідачі, що опрацьовують в автоматичному режимі сотні тисяч дзвінків на добу (наприклад, у системі продажу авіаквитків);
- 4) та інше.

При цьому мовний інтерфейс повинен включати у себе два компоненти: систему автоматичного розпізнавання мови для прийому мовного сигналу і перетворення його в текст або команду, і систему синтезу мовлення, що виконує протилежну функцію – конвертацію повідомлення від машини в мову.

Це зумовлюється як її міждисциплінарним характером (необхідно володіти знаннями у філології, лінгвістиці, цифровій обробці сигналів, акустиці, статистиці, розпізнаванні образів і т. д.), так і високою обчислювальною складністю розроблених алгоритмів. Останнє накладає суттєві обмеження на системи автоматичного розпізнавання мови – на обсяг оброблюваного словника, швидкість отримання відповіді і його точність.

Всі описані вище проблеми об'єднує необхідність створення компактного, надійного, самостійного і максимально швидкодіючого пристрою. Таким чином, пошук нових архітектурних рішень щодо розпізнавання мови є актуальною темою. Одним з перспективних напрямів є дослідження і використання методу mel-кепстральних коефіцієнтів по короткому словнику.

**Мовний сигнал і його опис.** Мова – це історично сформована форма спілкування людей за допомогою мовних конструкцій, створених на основі певних правил [3]. Тоді як усне мовлення – звукове коливання, що характеризується частотою і амплітудою.

Більшість сигналів (мовних у тому числі) мають схожість, тому для обробки їх на цифрових комп'ютерах вони перетворюються на дискретні сигнали за допомогою аналого-цифрового перетворення (АЦП).

**Загальна структура системи автоматичного розпізнавання мови.** У разі автоматичного розпізнавання мови (САРМ) можна виділити такі етапи: виділення ознак, навчання і розпізнавання

(рис. 2). Спершу з вихідного сигналу отримують вектор ознак – дуже короткий опис мовного сигналу, в якому присутня тільки корисна інформація для розпізнавання. Для цього використовуються методи, що працюють як у частотній сфері, так і в тимчасовій, але у разі використання цього методу проблема подання мови не вирішується. Тому дослідження ведуться дотепер [4].

Послідовність векторів ознак довжиною  $T$  називають акустичною або послідовністю, що спостерігається,  $O=(o_1, o_2, \dots, o_T)$ . За допомогою цієї послідовності людина передає ланцюжок слів  $W=(w_1, w_2, \dots, w_N)$ . Сама задача розпізнавання мови ставиться таким чином: необхідно відшукати ланцюжок слів  $W$ , який відповідає акустичній послідовності  $O$  [5].

Для правильного розпізнавання потрібно повністю перевірити всі ланцюжки слів  $W$ , але це нереально в реальному житті та практиці. Для того щоб полегшити завдання, можна вводити різні обмеження. Можна розпізнавати тільки ізольовані слова за допомогою граматики мови або зуження завдання.

**Побудова блоку виділення ознак.** Завдання блоку виділення ознак – побудувати ланцюжок

векторів ознак  $O=(O_1, O_2, \dots, O_T)$  вихідного сигналу. Як було зазначено раніше, мова – нестационарний сигнал. Однак через інертність мовного тракту в межах досить короткого проміжку часу від 10 до 40 мс його характеристики не змінюються, тобто його можна вважати стаціонарним [3]. Тому блок виділення ознак сканує вхідний сигнал короткочасним ковзаючим вікном, у межах якого і складається один вектор ознак  $O_t$  (рис. 3).

**Mel-кепстральний метод виділення ознак.** Дослідження показали, що найкраще мова представляється ознаками, отриманими в частотній сфері. До таких ознак належать коефіцієнти лінійного передбачення (Linear Predictive Codes – LPC), перцепційні коефіцієнти лінійного передбачення (Perceptual Linear Prediction – PLP), mel-кепстральні коефіцієнти (Mel-Frequency Cepstral Coefficients – MFCC). Ці три ознаки ґрунтуються на акустичній моделі мовостворення, згідно з якою мовний сигнал можна представити у вигляді сигналу на виході лінійної системи з мінливими в часі параметрами, збудженої квазіперіодичними імпульсами (у разі проголошення вокалізованого звуку) або випадковим шумом (у разі невокалізованих звуків).

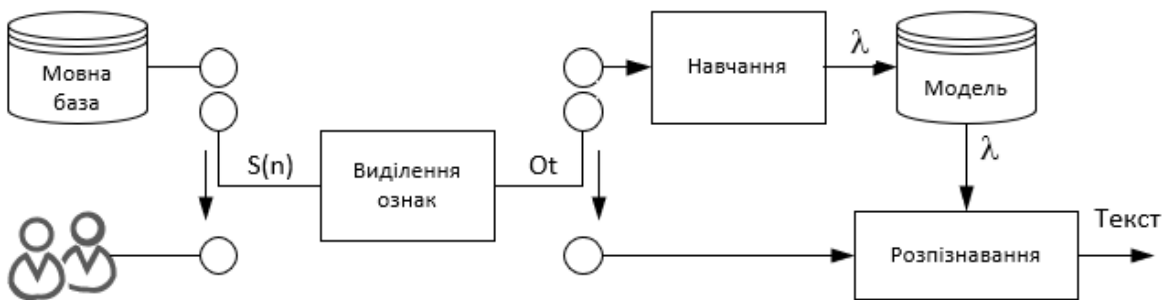


Рис. 2. Загальна схема CAPM



Рис. 3. Виділення ознак

Оцінка параметрів цієї лінійної системи і є завданням методу знаходження ознак у частотній сфері. Головною метою методів лінійного передбачення є можливість апроксимації поточного відліку мовного сигналу [6]:

$$s(n) = \sum_{k=1}^p a_k s(n-k), \quad (1)$$

де  $\{a_k\}$  – коефіцієнти лінійного передбачення.

Метод MFCC може відокремити сигнал збудження від параметрів мовного тракту, використовуючи гомоморфні перетворення. Для цього за допомогою дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) переходять у частотну область, де обчислюють логарифм спектра вхідного сигналу, а потім виконують обчислення ДПФ (ОДПФ) або дискретне косинусне перетворення. Як і в PLP, для моделювання сприйняття мови людиною перед знаходженням логарифма на спектр вхідного сигналу накладають набір мел-фільтрів, смуги пропускання яких вибираються по мел-шкалі, рухаючись у сторону високих частот.

Перевагою MFCC порівняно з LPC і PLP є простота реалізації за схожих показників. Підвищення швидкодії методу обґрунтовується ефективністю процедури знаходження ДПФ і ОДПФ – швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Аналізуючи всі стани галузі розпізнавання мови, можна побачити, що натеper MFCC застосовується найбільш широко.

Знаходження MFCC здійснюється в декілька етапів (рис. 4).

1. Нормалізація початкового сигналу, що дозволить вирівняти його амплітуду і посилення високих частот. Форманти низьких частот мають велику амплітуду порівняно з формантами більш високих частот, хоч останні теж несуть важливу для розпізнавання інформацію. Тому до вхідного сигналу застосовують фільтр:

$$s'(n) = s(n) - 0.95 \cdot s(n-1), \quad (2)$$

2. Виділення короткочасної ділянки сигналу (~32 мс.) і накладання віконної функції  $w(k)$

для мінімізації витоку спектра. Одержаний сегмент називають фреймом довжиною  $K$  відліків і подальшу роботу ведуть у межах фрейму:

$$x_t(k) = s'(k+t \cdot K) \cdot w(k), \quad 0 \leq k \leq K-1 \quad (3)$$

Таким чином, вектор ознак отримують для кожного  $0 \leq t \leq T$  фрейму вхідного сигналу  $s'(n)$ . Як віконну функцію зазвичай використовують функцію Хемінга:

$$w(k) = 0.54 - 0.46 \cdot \cos\left(\frac{2\pi k}{K-1}\right), \quad (4)$$

3. Обчислення ДПФ для фрейму:

$$X_t(m) = \sum_{k=0}^{K-1} x_t(k) \cdot e^{-j2\pi mk/K} \quad (5)$$

Для обчислення ДПФ використовується алгоритм швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

4. Накладення набору  $Q$  мел-фільтрів на фрейм у частотній області так, що на виході кожного  $q$ -го фільтра знімають енергію  $Y_t(q)$  у смугі пропускання цього фільтра. Таким чином моделюють сприйняття мови людиною: роздільна здатність слуху зростає у разі руху по спектру від низьких частот до високих. Центральні частоти  $Fq$  мел-фільтрів вибираються за так званою мел-шкалою, яка залежить від звичайної по логарифмічному закону (рис. 5):

$$F_{mel} = 2095 \cdot \log_{10}\left(1 + \frac{F_{Hz}}{700}\right), \quad (6)$$

5. Логарифмування  $Y_t(q)$ . На цьому кроці виконуються гомоморфні перетворення. Для того щоб відокремити сигнал збудження від характеристики фільтра, обчислюється логарифм модуля  $Y_t(q)$ :

$$L_t(q) = \log|Y_t(q)|, \quad (7)$$

6. Обчислення ОДПФ. На останньому етапі отримують мел-кепстральні коефіцієнти шляхом обчислення ОДПФ для  $L_t(q)$ . При цьому, оскільки  $L_t(q)$  дійсний і симетричний, ОДПФ буде еквівалентно дискретному косинусному перетворенню:

$$Q_t(p) = \sum_{q=1}^Q L_t(q) \cdot \cos\left(p \cdot \left(q - \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\pi}{Q}\right), \quad p = 0, \dots, P. \quad (8)$$

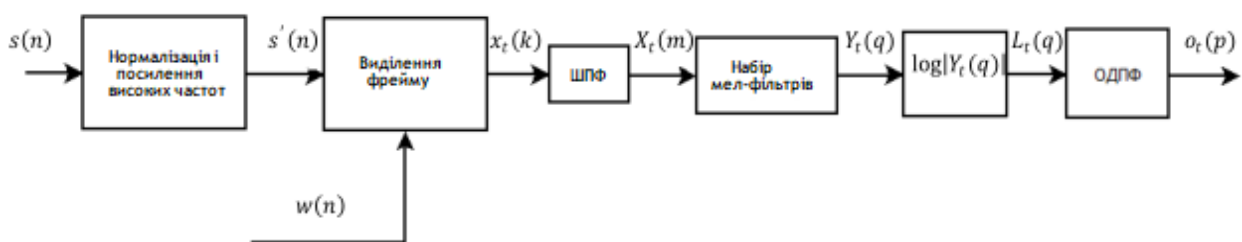


Рис. 4. Знаходження мел-кепстральних коефіцієнтів



У результаті отримують  $P$  коефіцієнтів, при цьому хоча  $P$  може дорівнювати  $Q$  зазвичай беруть лише половину значень MFCC. Це пояснюється тим, що кепстра сигналу збудження зазвичай «правіше» кепстра мовного тракту.

Таким чином, на розпізнавач надходить  $p$ -мірний вектор  $ot$ , що містить мел-кепстральні коефіцієнти для  $t$ -го фрейму [7].

**Висновки.** У цій роботі детально розглянуто метод використання мел-кепстральних коефіцієнтів з точки зору організації звукового інтерфейсу для людей із дефектами мовлення.

Основні результати роботи полягають у такому:

1. Проведено аналіз задачі представлення і розпізнавання мови, виділені основні компоненти систем автоматичного розпізнавання мови.

2. Розглянуто методи попередньої обробки і виділення ознак мовного сигналу, серед яких вибрано підхід, що оснований на знаходженні мел-кепстральних коефіцієнтів.

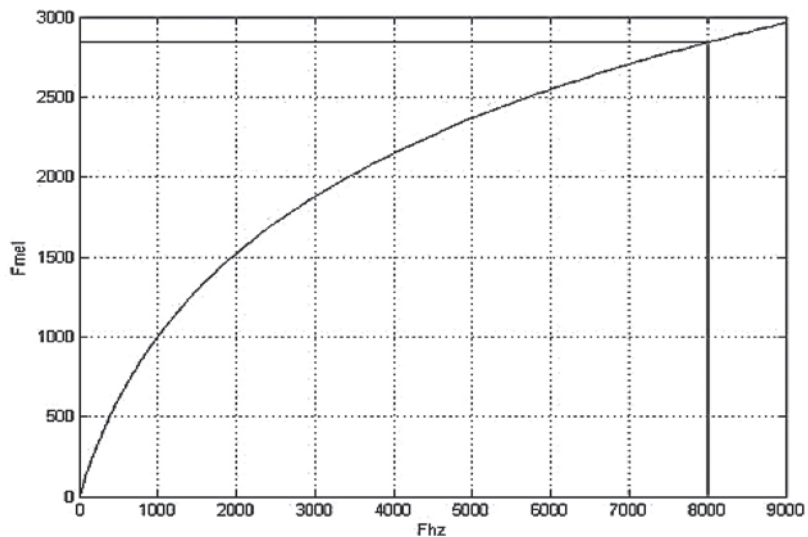


Рис. 5. Відповідність частот звичайної шкали частотам мел-шкали

**Список літератури:**

1. Davis S. and Mermelstein P. Comparison of Parametric Representations for Monosyllabic Word Recognition in Continuously Spoken Sentences. In *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 28, No. 4, 1980.
2. Ronzhin A., Karpov A. Russian Voice Interface. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2007. Vol. 17, No. 2, pp. 321–336.
3. Вінцюк Т.К. Аналіз, розпізнавання і інтерпретація мовних сигналів. Київ : Наукова думка, 1987. 264 с.
4. Ognev I.V., Ognev A.I., Paramonov P.A., Sutula N.A. The use of extrema distribution as a feature vector for speech patterns recognition. The 11th International Conference “*Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies*”, Vol. 1, 2013. Pp. 114–117.
5. Claudio Vecchetti, Lucio Prina Ricotti. *Speech Recognition. Theory and C++ Implementation*. Wiley. 1999, 428 p.
6. Рабинер Л., Шафер Р. Цифровая обработка речевых сигналов. Москва : Радио и связь, 1981. 496 с.
7. Шарий Т.В. О проблеме параметризации речевого сигнала в современных системах распознавания речи. *Вісник Донецького національного університету*, 2008, Вип. 2, с. 536–54.
8. The 11th International scientific and practical conference “*European scientific discussions*” (September 12–14, 2021). Potere della ragione Editore, Rome, Italy, 2021, 337 p., UDC 001.1, ISBN 978-88-32934-02-1, Pp. 64–68.
9. UDC 001.1 The 7th International scientific and practical conference “*Results of modern scientific research and development*” (September 19–21, 2021). Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2021. 336 p. ISBN 978-84-15927-33-4, Pp. 105–108.

**Klymchuk I.O., Potapova K.R., Tarasenko-Klyatchenko O.V. FEATURES OF ORGANIZATION OF SOUND INTERFACE FOR PEOPLE WITH SPEECH DEFECTS**

The article investigates the methods of speech recognition of people with speech disorders in a short dictionary using Mel-cepstral coefficients. It is determined that one of the main forms of human interaction is speech. Language is a carrier of information used by humans to transmit messages – a signal. By physical nature, it is proven that this is an acoustic signal that is constantly changing over time. It is determined that the rapidly growing computing power, the creation of language recognition systems remains an extremely difficult problem. Commercial speech recognition programs appeared in the early 1990s. It has been proven that people who, due to hand injuries, are unable to type a large amount of text or have speech disorders use these programs. Programs translate the user’s voice into text. The probability of accurate translation

*in such programs is definitely not very high, but over time, it gradually improves. There are a number of language recognition programs on the market today that can be used at home or at work. Important parts are defined in modern standard already established algorithms for speech recognition – it's language modeling and acoustic modeling. It is proved that recognition in such existing methods occurs in separate words in a limited dictionary, and with the increase of the dictionary the recognition time increases, which is a significant disadvantage. It is determined that the most effective method of recognition by short vocabulary – using mel-keprtral coefficients, which are often used as a characteristic of speech signals. The method has a very small set of values, which in recognition has been proven to successfully replace thousands of samples of speech signal. This method has much less data than the spectrogram or temporal representation of the signal. For the best result, the method of dividing the source word into segments of short duration is considered, and the coefficients for each of them are calculated.*

**Key words:** *speech recognition, speech signal, short dictionary, mel-keprtral coefficients, software application, speech apparatus disorders.*

**Кунгурцев О.Б.**

Державний університет «Одеська політехніка»

**Новикова Н.О.**

Одеський національний морський університет

## ПОБУДОВА МОДЕЛІ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ В ПРОЦЕСІ ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

*Розглянуто варіанти побудови моделі предметної галузі. Показано, що формування моделі зазвичай відбувається після виявлення вимог на пізніх етапах формування автоматизованих систем. Запропоновано будувати модель предметної галузі організації, для якої розробляється інформаційна система, на етапі формування вимог до інформаційної системи. Показано, що з цією метою можна використовувати документи, що підлягають аналізу для вироблення вимог. Встановлено, що основою моделі предметної галузі може бути словник предметної галузі. Проведено аналіз даних, що використовуються в процесі формування вимог до інформаційної системи, яка розробляється. Встановлено, що для побудови моделі предметної галузі можна використовувати додаткову інформацію про терміни (дії, посилання на документи) та документи (зв'язок зі структурою організації, функція).*

*Запропоновано розширений словник предметної галузі за рахунок введення понять «дія» та «об'єкт дії», встановлення зв'язку між термінами, що виконують функції дії та об'єкта дії, а також визначення посилань на документи, в яких ці терміни використовуються.*

*Створено математичну модель предметної галузі, що поєднує розширений словник предметної галузі та довідник документів. Для отримання довідника вибрані для аналізу документи проходять кластеризацію. У довіднику міститься інформація про тему документа, функції та підрозділи. Математична модель дозволяє об'єднувати документи в тематичні кластери, формувати відповіді на запити щодо термінів та документів. Для термінів можна визначити їхнє тлумачення, функції у системі та взаємодію, а також приналежність до документів. Для документів є можливість організувати пошук за темами, за термінами, що входять до них, за функціями та підрозділами. Також є можливість ранжування документів за рівнем відповідності до запиту. Виконано апробацію та обговорення запропонованих рішень. Результати апробації показали суттєве скорочення часу отримання інформації про предметну галузь у межах запропонованої моделі.*

**Ключові слова:** словник предметної галузі, термін, модель, предметна галузь, об'єкт.

**Постановка проблеми.** Розробка інформаційних систем (ІС) починається з аналізу предметної галузі (ПГ) організації. Це надзвичайно трудомісткий та відповідальний етап виявлення вимог, що виконується висококваліфікованим спеціалістом – системним аналітиком. У процесі спілкування із замовником системний аналітик має зрозуміти його мову. Для цього складаються словники предметних галузей (СПГ) [1], з яких можна сформувати тезауруси. Джерелами інформації для побудови СПО в основному є документи, що використовуються в організації замовника. У процесі аналізу вимог до ІС також вивчається структура та розподіл обов'язків у організації замовника. Отримана інформація шляхом її структуризації та накопичення може бути представлена як модель ПГ та бути основою для побудови онтології ПГ організації замовника [2]. Питання про важливість та принципи використання онтологій, побу-

дованих на основі аналізу документів, розглядається в [3].

Модель онтології заведено представляти у вигляді [4]

$$O = \langle T, R, F \rangle,$$

де  $T$  – кінцева множина понять (концептів) предметної галузі,

–  $R$  – кінцева множина відносин між поняттями,

–  $F$  – кінцева множина функцій інтерпретації, заданих на концептах та/або відносінах.

У процесі розроблення вимог до ІС є можливість визначити  $T$  у вигляді термінів предметної галузі та деяких їх властивостей, а також частково визначити  $R$  і  $F$  у вигляді зв'язків термінів через документи та організаційну структуру.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних даних мав на меті знайти рішення, пов'язані з побудовою моделі ПГ або її

онтології на початкових етапах проектування ІС, паралельно з виявленням вимог до ІС. Це дозволить суттєво скоротити витрати на побудову моделі ПГ.

У роботі [4] зазначено, що побудова онтології потребує великих ресурсів та часу, запропоновано автоматизувати цей процес. Однак вихідними даними для побудови мають бути ретельно підібрані та класифіковані документи, що важко виконати на етапі збирання та аналізу вимог. У роботі [5] розглянуто побудову універсального словника на основі аналізу документів для предметної галузі наукової літератури. Завдання спрощене завдяки використанню анотацій для класифікації документів. У статті [6] запропоновано приписувати документам додаткові характеристики, що визначаються середовищем їх використання та значенням, що буде використано у цій роботі. У роботі [7] запропоновано напівавтоматичний метод побудови онтології. Однак він спеціалізований для аналізу текстових даних Twitter та предметної галузі тероризму. Проблема зв'язку онтологій розглянута в [8]. Проте запропонована технологія передбачає лише окремий випадок – автоматизацію створення онтології предметної галузі шляхом перетворення заздалегідь отриманих файлів у форматі Excel у файли OWL. У роботі [9] пропонується вводити спеціальні формати для документів, що зберігаються у великих базах даних як з метою побудови онтологій, так і з метою виконання запитів. Таке рішення являє інтерес для ІС на стадії їх експлуатації, але не на стадії розробки. У роботах [10; 11] запропоновано на основі текстів будувати семантичні мережі як основу для онтологій ПГ. Очевидно, що таке рішення хоч і дозволить отримати якісний результат, але пов'язане із залученням значних ресурсів, що є неприйнятним на стадії побудови ІС.

ПГ організації, для якої створюється ІС, практично завжди неоднорідна, отже, аналізовані документи мали би бути класифіковані. Оскільки класифікація за змістом далеко не завжди виконується в організаціях [12], має сенс використовувати попередню кластеризацію [13], застосувавши її до всіх, а не лише до коротких документів.

Відомо, що складання словника предметної галузі є трудомістким процесом, що вимагає спеціальних знань. Тому має сенс скористатися наявними рішеннями [14], в основу якого покладено частотний аналіз корпусу документів.

На підставі аналізу літератури можна сформулювати таку проблему. Є необхідність інформацію, що одержана у процесі збору вимог до проєктованої ІС, доповнити, структурувати та

інтерпретувати таким чином, щоб отримати модель ПГ, яка має самостійне застосування та придатна для створення онтології ПГ.

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є скорочення часу та ресурсів на побудову моделі ПГ у процесі розробки ІС.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано такі завдання:

- визначити необхідні з погляду побудови моделі ПГ дані та артефакти, які використовуються в процесі аналізу вимог до ІС, що проєктується;
- розширити визначення терміна з ПГ шляхом відображення дій;
- створити математичну модель ПГ;
- виконати апробацію запропонованих рішень.

#### **Побудова моделі предметної галузі.**

**Ефективне використання даних, що одержуються в процесі аналізу вимог до проєктованої ІС.** Одне з перших завдань, що вирішуються у процесі формулювання вимог, – побудова словника предметної галузі (СПГ). Словник є основою спілкування розробника і замовника, побудови інтерфейсів користувачів, складання інструкцій. Зазвичай словник складається на підставі аналізу документів, що характеризують ПГ замовника, і може бути поданий у такому вигляді [14]:

$$Dv = \langle Fw, mDe \rangle, \quad (1)$$

- де  $Dv$  – словник;
- $Fw$  – передмова;
- $mDe$  – множина словникових статей.

Кожна стаття словника може бути представлена кортежем:

$$De = \langle Tr, mTs, Tin \rangle, \quad (2)$$

де  $Tr$  – текст терміна та його ідентифікатор у словнику. У загальному випадку термін може бути багатослівним;

- $mTs$  – множина синонімів терміна;
- $Tin$  – дефініція (тлумачення) терміна.

Подання  $De$  досить для вирішення завдань аналізу вимог. Проте системний аналітик спільно з експертом ПГ у процесі побудови СПГ виконує значно більший обсяг робіт, ніж це потрібно для побудови словника. Крім цього, з документів, які обробляються для словника, можна отримати додаткову інформацію, корисну для моделі ПГ. Визначимо цю інформацію та джерела її отримання.

– Кожен термін може бути визначений як дія або об'єкт дії.

– Кожен термін може бути забезпечений множиною посилань на документи, у яких він виявлений.

– Документи однієї організації належать до різних тем (підпорядків), наприклад, до основної діяльності, управління кадрами, матеріально-технічного постачання тощо, отже, документи перед аналізом проходять класифікацію або кластеризацію [13].

– Документи, що створюються в процесі аналізу вимог, які також використовуються для побудови СПГ (опис варіантів використання, бізнес вимог тощо), містять функції, які має вирішувати ІС.

– Документи пов’язані з підрозділами організації замовника, де вони створюються та використовуються.

#### Математична модель предметної галузі.

Проведений аналіз раніше не використаних джерел інформації дозволяє подати математичну модель ПГ у вигляді двох компонентів: розширеного словника  $DvExt$

$$DvExt = \langle Fw, mDeExt \rangle, \quad (3)$$

де  $mDeExt$  – множина розширених словникових статей,

та довідника документів  $Dd$

$$Dd = \{mDf\},$$

де  $mDf = \langle Did, Dc, mDf, mDep \rangle$  є довідкою про документ, яка містить

- $Did$  – ідентифікатор документа;
- $Dc$  – кластер, до якого належить документ;
- $mDf$  – функція, яка пов’язана із документом;
- $mDep$  – множина підрозділів, що використовують документ.

Зв’язок між словником  $DvExt$  та довідником  $Dd$  підтримується посиланнями статей словника на документи.

Представимо розширену статтю СПГ у вигляді:

$$DeExt = \langle Tr, mTs, Tin, Type, mA, mOb, mRDid \rangle \quad (4)$$

де  $Tr$  – термін;

–  $Type$  – тип терміна; якщо  $Tr$  – термін-дія, то  $Type$  приймає значення  $a$  (action), в іншому випадку –  $o$  (object);

–  $mA$  – множина дій, у яких бере участь термін  $Tr$ ;

–  $mOb$  – множина об’єктів, пов’язаних з діями з множини  $mA$ ;

–  $mRDid$  – множина посилань на документи, в яких було виявлено.

Пропонується така методика визначення статті розширеного словника  $DvExt$ .

1. Визначення типу об’єкта. Процедура виявлення типу об’єкта ґрунтується на використанні тлумачного словника української або іншої мови [23]. Представимо статтю тлумачного словника у вигляді:

$$DeG = \langle C, mTin, mA \rangle \quad (5)$$

де  $C$  – поняття, що визначається,

$mTin$  – множина його дефініцій;

$mAttr$  – множина атрибутів визначення поняття, таких як рід, закінчення, приклад використання та ін. Серед цих атрибутів для віддіслівних іменників повинна бути фраза виду «дія за значенням дієслова...». Позначимо цей атрибут  $V$  (verb).

Оскільки термін  $Tr$  у словнику  $Dv$  у загальному випадку є словосполучення, то на такому етапі зручно буде його уявити як множину слів –  $Tr \Rightarrow mW$ . Тоді умову виявлення дії можна представити у вигляді:

$$Cond = C \in mW \wedge V \in mA. \quad (6)$$

Якщо  $Cond = true$ , то  $Type$  приймає значення  $a$ , в іншому випадку –  $o$ .

2. Множина синонімів заповнюється термінами  $mTs$  з відповідного запису  $De$ .

3. Визначення множини дій і множини об’єктів, пов’язаних з діями з множини  $mA$ . Тут слід передбачити різні операції для термінів-дій та термінів-об’єктів.

Для термінів-дій до множини дій записується сам термін:  $mA = \{Tr\}$ .

Далі слід визначити множини об’єктів, пов’язаних з діями з множини  $mA$ .

Попередньо проаналізуємо терміни-дії та їхні синоніми, які містять кілька слів. Введемо операцію  $\in_A$  визначення належності терміна-об’єкта терміну-дії:

$$Tr_{OBJ} \in_A Tr_{ACT}, \quad (7)$$

де  $Tr_{OBJ}$  – термін-об’єкт,  $Tr_{ACT}$  – термін-дія. Результатом виконання операції буде  $true$ , якщо термін-об’єкт входить у термін-дія, і  $false$  у протилежному випадку. Наприклад, якщо термін-дія визначений словосполученням «розрахунок заробітної плати», а термін-об’єкт – «заробітна плата», то термін-об’єкт належить терміну-дії.

На підставі сказаного можна визначити множину  $mA'$  для деякого об’єкта-дії  $Tr_{ACT}$

$$mA' = \{Tr_{OBJ} \mid Tr_{OBJ} \in_A Tr_{ACT} \vee Tr_{OBJ} \in_A mTs_j \wedge mTs_j \in mTs\} \quad j=1, ns. \quad (8)$$

Крім цього, оскільки термін-дія виступає у ролі підмета в реченні, а серед решти членів речення можуть зустрічатися терміни-об’єкти, то має сенс доповнити  $mOb$  усіма термінами-об’єктами з такого речення. Для цього потрібний другий прохід синтаксичного аналізатора, за якого для кожного речення  $Offer$  повинна виконуватися операція визначення елементів множини  $mA'' = \{Tr_{OBJ} \mid \exists Tr_{ACT} = subject \wedge Tr_{OBJ} \in Offer\}$ .

Наприклад, якщо як терміни раніше виділено «співробітник» та «прибутковий податок», то в результаті аналізу речення «Розрахунок заробіт-

ної плати співробітників» передбачає облік прибуткового податку та інших відрахувань, до множини  $mA$  будуть додані терміни «співробітник» та «прибутковий податок».

Після завершення другого проходу можна визначити остаточний варіант множини  $mA$

$$mA = mA' \cup mA'' \quad (9)$$

Операції з виявлення дій для термінів-об'єктів можна виконати під час другого проходу синтаксичного аналізатора паралельно до обчислення множини  $mA$  для термінів-дій.

Для кожного речення *Offer* повинні виконуватись дві операції. Перша – визначає дію, пов'язану з терміном-об'єктом

$$mA = \{predicate_i \mid T_{Obj} = subject \wedge T_{Obj} \in Offer, \wedge (\exists T_{Obj} \in Offer \wedge T_{Obj}) \neq predicate\} \quad (10)$$

де  $predicate_i$  є присудком у реченні, де термін-об'єкт грає роль підмета. Речення повинне містити інші терміни, окрім терміна у ролі підмета. Індекс при присудку і терміні вводить для забезпечення можливості поставити у відповідність присудку терміни, які беруть участь у такій дії.

Друга операція визначає терміни-об'єкти, які беруть участь у такій дії, але не є підметом у реченні.

$$mOb = \{T_{Obj} \mid T_{Obj} \neq subject \wedge T_{Obj} \in Offer\} \quad (11)$$

У цьому дослідженні ми обмежилися лише виявленням дій, у яких може брати участь термін-об'єкт. Виявлення інших атрибутів та умов виконання дій – предмет подальшого дослідження.

Крім дії рівня терміна, всі об'єкти через посилення на документ  $mRDid$  можуть бути визначені як елементи дії рівня певного документа  $Did_i$ . Наприклад, усі терміни документа «*Опис варіанта використання. Замовлення обладнання*» можна віднести до дії «замовлення обладнання».

**Можливі способи та сфери застосування моделі предметної галузі.** У процесі розробки нового програмного продукту «під замовлення» складається тезаурус, що дозволяє замовнику та виконавцю проекту досягти однакового розуміння термінів із предметної галузі. Запропонована модель ПГ повністю виконує завдання тезаурусу і додатково, визначаючи дії над об'єктами, дозволяє визначити функції елементів ПГ.

Моделі ПГ можна використовувати на етапі уточнення функціональних вимог до системи, що розробляється, зокрема, у разі опису прецедентів [15]. Оскільки самі назви прецедентів рекомендується починати з віддієслівних іменників («реєстрація», «замовлення», «оформлення», ...), то в моделі ПГ можна визначити об'єкти, які використовуються у відповідних операціях.

У разі побудови моделі реляційної бази даних (РБД) часто використовують поняття «сутність» і «зв'язок» [16]. У моделі ПГ терміни є суттю, а дії фактично визначають зв'язки. Наявність або відсутність зв'язків по дії між термінами визначає наявність або відсутність зв'язків у РБД.

Одним зі способів інтеграції баз даних є побудова об'єктних моделей, що інтегруються РБД [17]. У цьому разі модель ПГ може бути побудована не на основі вихідних текстових документів, а на підставі конкретного змісту та зв'язків РБД. У такому вигляді модель ПГ може надати максимум інформації щодо оцінки ідентичності сутностей із різних РБД.

Натепер для багатьох ІС бажано створювати інтерфейс природною мовою, що істотно збільшує кількість користувачів системи. Модель ПГ може бути основою для побудови таких інтерфейсів, оскільки обмежує набір термінів, зрозумілих для ІС з точки зору змісту інформації, що зберігається, і дій над нею.

Запропонована модель може бути основою для виконання різних запитів щодо пошуку документів у корпоративній системі [18] шляхом виявлення у запиті термінів і дій та зіставлення їх з інформацією, що зберігається *DvExt*.

Апробація та обговорення результатів дослідження. Для побудови моделі предметної галузі на підставі аналізу текстових документів було проаналізовано предметну галузь «Електрична сфера в Україні». Для експерименту було взято такі документи: «Про затвердження Правил користування електричною енергією для населення» [19], «Інструкція зі складання актів про порушення правил користування електричною енергією для населення» [20], документи містили 9760 слів.

Експеримент проводився в операційному середовищі Windows 10, мова програмування – java. Для виділення термінів використовувалося програмне забезпечення для створення тлумачного словника предметної галузі [14]. Для визначення дефініцій виділених термінів використовувався програмний продукт Dictionary Of Interpretations [21]. Для виконання синтаксичного аналізу використали синтаксичний аналізатор [22]. Результати експерименту були представлені у XML файлі.

На підставі аналізу відібраних документів було отримано словник для предметної галузі «Електрична сфера в Україні». Фрагмент словника представлений у табл. 1.

На підставі аналізу термінів, що увійшли до словника предметної галузі, було створено роз-

ширений словник предметної галузі, фрагмент якого представлений у таблиці 2.

На підставі аналізу записів у табл. 2 в автоматизованому режимі зроблено такі твердження, що характеризують предметну галузь (слова в дужках внесені експертом).

«Енергопостачальник укладає угоду».

«Енергопостачальник поставляє електроенергію».

«Енергопостачальник припиняє (подачу) електроенергії».

«Споживач повинен укласти угоду».

«Споживач може внести (пропозиції до) угоди».

«Споживач сплачує за електроенергію».

«Оплата послуг здійснюється (за) підключення».

«Оплата послуг здійснюється (за) ремонт».

Відповідно до методики, запропонованої в роботі [23], було визначено час складання розширеного словника ПГ для поданих документів в автоматизованому режимі та в режимі ручної роботи. У першому випадку воно становило 1 годину (з урахуванням часу редагування твер-

джен аналітиком), у другому – 12,5 години. Таким чином, було зафіксовано скорочення часу аналізу ПГ більш ніж у 10 разів.

У проведеному експерименті було використано документи з Інтернету. У подальших експериментах планується розширити предметну галузь додатковою інформацією про документи, наприклад, датою створення, типом тощо, а також додатковою інформацією про структуру організації-замовника ІС. Також планується сформувати мову запитів до моделі ПГ.

**Висновки.** Проведено аналіз даних, що використовуються в процесі формування вимог до ІС, яка розробляється. Встановлено, що для побудови моделі ПГ можна використовувати додаткову інформацію про терміни (дії, посилання на документи) та документи (зв'язок зі структурою організації, функція).

Запропоновано розширений СПГ за рахунок введення понять «дія» та «об'єкт дії», встановлення зв'язку між термінами, визначення посилань на документи.

Таблиця 1

Фрагмент словника предметної галузі

Термін <i>Tr</i>	Частота входжень <i>F</i>	Синоніми <i>mTs</i>	Визначення <i>Tin</i> з тлумачного словника
Енергопостачальник	0,0217	продавець	учасник оптового ринку електричної енергії, який купує електричну енергію з метою продажу її споживачам
Електроенергія	0,0341	енергія	енергія, що передається електричним струмом
Споживач електричної енергії	0,0203	замовник, покупець	громадянин або організація, яка замовляє, отримує товари, послуги, роботи

Таблиця 2

Фрагмент розширеного словника предметної галузі

Термін <i>N</i>	Тип <i>Type</i>	Синоніми <i>Ns</i>	Дія <i>A</i>	Термін <i>Na</i>	Тлумачення <i>T</i>
Енергопостачальник	obj	продавець	припиняє, укладає, постачає	договір, електроенергія	учасник оптового ринку електричної енергії, що купує електричну енергію з метою продажу її споживачам
Електроенергія	obj	енергія	визначається, оплачується	споживач	енергія, що передається електричним струмом
Споживач електричної енергії	obj	замовник, покупець	може внести (пропозиції), повинен укласти, сплачує	оплата, угода	громадянин або організація, яка замовляє, отримує товари, послуги, роботи
Оплата послуг	act	розрахунок	здійснюється, зараховується	Підключення, ремонт	розрахунок з організацією-постачальником за витрачену електроенергію, за виконання проектних, ремонтних та інших робіт
Вимкнення електроенергії	act	роз'єднання, вимкнення	здійснюється	споживач	тимчасове відключення електропостачання великих груп споживачів постачальником

Створено математичну модель ПГ, що поєднує розширений СПГ та довідник документів, що містить інформацію про тему документа, функції та підрозділи. Математична модель дозволяє давати відповіді на запити, на які

раніше неможливо було відповісти, або відповідь вимагала багато часу.

Виконано апробацію запропонованих рішень. Результати показали суттєве скорочення часу отримання інформації про ПГ.

#### Список літератури:

1. Wiegers K., Beatty J. Software Requirements. 3rd ed. Redmond, WA : Microsoft Press, 2013. 637 p. ISBN 978-0-7356-7966-5.
2. Цуканова Н.И. Онтологическая модель представления и организации знаний : учебное пособие для вузов. 2015 г. 272 с. ISBN 978-5-9912-0454-5 [http://www.techbook.ru/book.php?id\\_book=759](http://www.techbook.ru/book.php?id_book=759).
3. Быстров И.И., Тарасов Б.В., Хорошилов А.А., Радоманов С.И. Основы применения онтологии и компьютерной лингвистики при проектировании перспективных автоматизированных информационных систем. *Системы и средства информатики*, 2015. Том 25, выпуск 4. С. 128–149. DOI: <https://doi.org/10.14357/08696527150410>.
4. Куркин А.Н. Исследование методов автоматической генерации онтологии на основе структурированного материала. *Современная техника и технологии*, 2016. № 10. URL: <https://technology.snauka.ru/2016/10/10842>.
5. Constantin A., Peroni S., Pettifer S., Shotton D., Vitali F. The Document Components Ontology (DoCO). *Semantic Web*. 2016. Vol. 7, No 2. P. 167–181. DOI: 10.3233/SW-150177.
6. Furner J. The Ontology of Documents, Revisited. *Proceedings from the Document Academy*. 2019. Vol. 6. Iss. 1 , Article 1. DOI: 10.35492/docam/6/1/114 <https://ideaexchange.uakron.edu/docam/vol6/iss1/1>.
7. Jinda R., Seeja K.R., Jain S. Construction of domain ontology utilizing formal concept analysis and social media analytics. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*. 2020. Vol. 1. P. 62–69. DOI: 10.1016/j.ijcce.2020.11.003.
8. ElAsri H., Jebbor F., Benhlima L. Building a Domain Ontology for the Construction Industry. *Towards Knowledge Sharing International Conference on Digital Technologies and Applications ICDTA*. 2021. P. 1061–1071.
9. Lembo D., Scafoglieri F. M. Ontology-based Document Spanning Systems for Information Extraction. *International Journal of Semantic Computing*. 2020. Vol. 14, No. 01. P. 3–26. DOI:10.1142/S1793351X20400012.
10. McCrae J.P., Bosque-Gil J., Gracia J., Buitelaar P., Cimiano Ph. OntoLex-Lemon Model: development and applications. URL: <http://john.mccr.ae/papers/mccrae2017ontolex.pdf> (дата звернення: 21.11.2020).
11. Горшков С., Кондратьев К., Шебалов Р. Онтологии: от текста к фактам. URL: <https://www.osp.ru/os/2020/04/13055699> (дата звернення: 06.11.2020).
12. Плешкевич А.А., Королев И.Д. Классификация документов в системе электронного документооборота. *Молодой ученый*. 2018. № 10 (196). С. 21–24. URL: <https://moluch.ru/archive/196/48705/>.
13. Kungurtsev O., Zinovatna S., Potochniak Ia., Novikova N. Development of methods for pre-clustering and virtual merging of short documents for building domain dictionaries. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 5, No 2(107). P. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215190>.
14. Kungurtsev O., Zinovatnaya S., Potochniak Ia., Kutasevych M. Development of information technology of term extraction from documents in natural language. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, No. 2 (96). P. 44–51. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.147978>.
15. Kungurtsev O., Novikova N., Reshetnyak M., Cherepinina Ya., Gromaszek K., Jarykbassov D. Method for defining conceptual classes in the description of use cases. *Proc. SPIE 11176, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. 2019. 1117624. DOI: 10.1117/12.2537070.
16. Hernandez M.J. Database Design for Mere Mortals: A Hands-On Guide to Relational Database Design. 3rd edition. Addison-Wesley, 2013. 680 p.
17. Хоп Г., Вульф Б. Шаблоны интеграции корпоративных приложений. Издательство «Диалектика», 2019. 672 с.
18. Ward S. How to Create a Document Management System. URL: <https://www.thebalancesmb.com/creating-a-document-management-system-2948084> (дата звернення: 22.05.2021).
19. Про затвердження Правил користування електричною енергією. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.
20. Инструкция по составлению актов о нарушении правил пользования электрической энергией для населения. URL: <http://leg.co.ua/instrukcii/energonadzor/instrukciya-po-sostavleniyu-aktov-o-narushenii-pravil-polzovaniya-elektricheskoy-energiey-dlya-naseleniya.html>.
21. Kungurtsev O., Novikova N., Kozhushan M. Automation of Serching for Terms in the Explanatory Dictionary. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*. Issue 3(62). 2020. P. 9–100.



22. Автоматическая Обработка текста. URL: <http://www.aot.ru/> (дата звернення: 2.03.2021).

23. Кунгурцев А.Б., Поточняк Я.В., Силяев Д.А. Метод автоматизированного построения толкового словаря предметной области. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 2(22). С. 58–63.

**Kungurtsev O.B., Novikova N.O. CONSTRUCTING OF A SUBJECT AREA MODEL  
IN THE PROCESS OF THE INFORMATION SYSTEM DESIGNING**

*The options for constructing of a subject area model are considered. It is shown that the process of a model forming usually occurs after the identification of requirements at the late stages of the automated systems formation. It is proposed to construct the subject area model of the organization, for which an information system is developed at the stage of forming the requirements for IS. It is shown that for this purpose it is possible to use documents which are to be analyzed to develop requirements. It is found that the vocabulary of the subject area can serve as the basis for the subject area model. The analysis of the data used in the process of forming the requirements for the developed IS is carried out. It is found that to construct a subject area model, it is possible to use additional information about terms (operations, links to documents) and documents (connection with the organization structure, function).*

*An extended vocabulary of the subject area is proposed by introducing the concepts of “operation” and “object of operation” and establishing connections between terms which perform functions of an operation and an object of operation, as well as defining references to documents in which these terms are used.*

*The mathematical model of the subject area, which combines an extended vocabulary of the subject area and a reference book of documents, is created. To obtain a reference book, the documents selected for analysis undergo clustering. The reference book contains information on the topic of the document, function and subunit. The mathematical model makes it possible to combine documents into thematic clusters, form responses to queries regarding terms and documents. There is a possibility for terms to define their interpretations, functions in the system and their interactions, as well as their belonging to documents. It is possible for documents to organize a search by topics, by terms included in them, by functions and subunits. It is also possible to rank documents in accordance with relevance to the request. Approbation and discussion of the proposed solutions are completed. The results of approbation showed a significant reduction in the time for obtaining information about the subject area within the scope of the proposed model.*

**Key words:** *vocabulary of the subject area, term, model, subject area, object.*

*Левкін Д.А.*

Державний біотехнологічний університет

## ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ І МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*У статті запропоновані математичні моделі і чисельні методи для розрахунку і оптимізації параметрів процесу термічної дії на багатошарові матеріали. Автором удосконалені існуючі розрахункові та прикладні оптимізаційні математичні моделі в частині врахування структури досліджуваного матеріалу і технічних характеристик рухомих джерел.*

*В основі розрахункової математичної моделі процесу термічної дії на багатошаровий об'єкт лежить нелокальна крайова задача системи еволюційних псевдодиференціальних рівнянь у багатошаровому середовищі. Фізичні характеристики досліджуваних об'єктів можна задати виходячи, наприклад, з методів експертного оцінювання параметрів випромінювачів. Коректність крайової задачі доведена з використанням методів, заснованих на теорії псевдодиференціальних операторів над простором узагальнених функцій степеневого зростання (спадання). При цьому, попри збільшення часу, необхідного для здійснення ітераційного процесу пошуку і перебору локальних екстремумів функції мети, а також ускладнення виду крайових задач, їх реалізація дозволить підвищити точність пошуку рекордних значень технічних параметрів. Для зменшення часових витрат автор пропонує застосувати спеціалізовані аналогові чи гібридні сіткові процесори, за допомогою яких можливо практично миттєво реалізувати крайові задачі на комп'ютерах.*

*Як приклад багатошарової системи, яка містить зосереджені дискретні джерела фізичних полів, в статті розглянутий ембріон під дією джерел точкового лазерного випромінювання. Автором розв'язана оптимізаційна задача зменшення травмованості ембріону за рахунок удосконалення методики моделювання та оптимізації складних біотехнологічних систем. Наведені дослідження лежать в сфері прикладних задач економіко-математичного моделювання складних систем, які містять джерела дії фізичних полів.*

**Ключові слова:** математичні моделі, крайова задача, ітераційний процес, прикладні задачі, економіко-математичне моделювання.

**Постановка проблеми.** Проблема розробки нових і вдосконалення вже наявних методів економіко-математичного моделювання систем з розподіленими параметрами має величезне значення, і пов'язане це насамперед з тим, що для аналізу стану таких систем необхідно використовувати методи з різних наукових галузей. Найчастіше вчені розв'язують часні задачі, а для об'єднання їх досліджень буде потрібно запропонувати міждисциплінарний науковий підхід, який базується на теорії аналізу і синтезу складних систем. Також відзначимо, що стан модельованих процесів описується за допомогою нелокальних крайових задач для диференціальних рівнянь, отримати аналітичний розв'язок яких досить складно. Реалізація ж крайових задач на комп'ютерах призводить до збільшення часу для здійснення ітераційного процесу пошуку і перебору локальних екстремумів функції мети. У зв'язку з тим, що коректність побудованих крайових задач неможливо гарантувати за допомогою методів традиційної теорії існування та єдиності розв'язку, то для

цього можливо скористатися теорією псевдодиференціальних операторів в просторі узагальнених функцій.

У статті вдосконалено деякі наявні математичні моделі і методи економіко-математичного моделювання можливих ризиків в біотехнологічних системах. Автором запропонована блок-схема для апаратної реалізації процесу моделювання та оптимізації параметрів лазерних випромінювачів при термічній дії на ембріон. Під час побудови розрахункових математичних моделей враховується багатошарова будова ембріона і технічні характеристики джерел температурного навантаження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням управління технологічними інноваціями для розв'язання прикладних задач присвячені дослідження багатьох вчених. На думку автора даної статті, серед них найближчими до досліджуваної тематики є результати публікацій [1–12]. Авторами фундаментальних досліджень [1, 2] наведені розрахунок і оптимізація великої кількості технологічних систем, які міс-

тять дискретні джерела навантаження фізичних полів. В публікації [3] отримані умови існування і єдності розв'язку крайових задач для систем диференціальних і псевдодиференціальних рівнянь, які описують стан модельованих систем у разі складної просторової форми досліджуваного об'єкта. Питання економіко-математичного моделювання підвищення ефективності функціонування транспортних підприємств та забезпечення транспортних перевезень досліджені в публікаціях [4, 5]. Авторами публікації [6] здійснене прогнозування зносостійкості трибосистеми, наведений розрахунок швидкості зношування і витрат на тертя. Формалізація прикладних оптимізаційних математичних моделей для підвищення ефективності технологічних процесів здійснена в публікації [7]. Деякі аспекти управління діяльністю аграрних підприємств в умовах ринкової економіки досліджені в публікаціях [8, 9]. Теоретичні засади вибору та обґрунтування методів ділення ембріонів лазерним променем наведені в публікаціях [10–12]. В публікаціях [11, 12] розроблені математичні моделі та удосконалені чисельні методи для здійснення розрахунку й оптимізації систем з розподіленими параметрами. Необхідність розв'язання задачі підвищення ефективності функціонування технологічних і біотехнологічних процесів задля економії витрат вплинула на вибір тематики досліджень цієї статті.

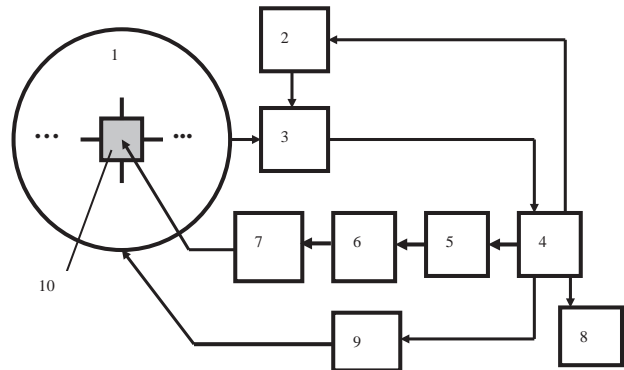
**Постановка завдання.** Запропонувати прикладні математичні моделі і чисельні методи для прогнозування та контролю можливих ризиків в технічних і біотехнологічних системах.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В статті запропоновано алгоритм, який дозволяє здійснювати моделювання процесу дії лазерного променя на ембріон та дає можливість, беручи до уваги обмеження на результуюче температурне поле в ембріоні, визначити відповідні раціональні значення параметрів термічного навантаження. Математичне моделювання та оптимізація деяких інших фізичних процесів розглянуті в публікаціях [13, 14].

На рис. 1 наведена апаратна реалізація математичної моделі процесу дії лазерного променя на ембріон з одночасним пошуком параметрів термічного навантаження, виходячи з обмежень на значення температури в досить малому околі траєкторії ділення ембріона.

Спочатку в алгоритмі задаються вихідні дані. Так, в блок 4 розрахунку параметрів вводиться припустима температура в контрольованих точках ембріона. У блок 9 завдання параметрів надається інформація про вихідні параметри сіткової

моделі 1 (початкові, граничні умови і умови спряження між шарами ембріона). У блок 5 механізмів надходить інформація про вихідні параметри лазера. На цьому підготовка пристрою до роботи закінчується.



**Рис. 1. Апаратна реалізація математичної моделі лазерної дії на ембріон**

- 1 – сіткова модель;
- 2 – блок припустимих значень;
- 3 – блок порівняння;
- 4 – блок розрахунку параметрів;
- 5 – блок механізмів;
- 6 – лазер;
- 7 – блок фокусування;
- 8 – блок реєстрації;
- 9 – блок завдання параметрів сіткової моделі;
- 10 – керовані й однотипні за конструкцією елементи сіткової моделі.

В основі розрахункової математичної моделі процесу лазерної дії на ембріон лежить нелокальна крайова задача системи еволюційних псевдодиференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r_1} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + q_1; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r_2} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + q_2; \\ \rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = \lambda_3 \left( \frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{2}{r_3} \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) + q_3, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\rho_e$  – коефіцієнт густини в ембріоні;  
 $c_e$  – коефіцієнт теплоємкості в ембріоні;  
 $T_e(z, t)$  – температурне поле точок в шарах ембріона;  
 $\lambda_e$  – коефіцієнт теплопровідності;  
 $q_e$  – питома густина потужності теплових навантажень в шарах ембріона.

Рівності розділу в шарах ембріона дозволяють врахувати багат шарову будову мікробіологічного об'єкта:

$$\begin{cases} T_1(r_1, t_1) = T_2(r_2, t_2), & -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}; \\ T_2(r_2, t_2) = T_3(r_3, t_3), & -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}. \end{cases} \quad (2)$$

Граничні умови Дірихле задають початок і кінець термічної дії на ембріон:

$$\begin{cases} T(0;0) = T_0; \\ T(r_4;t_4) = T_4. \end{cases} \quad (3)$$

Граничні умови питомого теплового потоку:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}(0, t) = qS, \quad (4)$$

где  $q$  – питомий тепловий потік;  
 $S$  – діаметр лазерного джерела (п'ятна).

Автором удосконалена математична модель, розглянута в публікації [12] в частині врахування тришарової будови ембріона і технічних характеристик лазерних випромінювачів. Це дасть змогу під час реалізації побудованої в статті математичної моделі на комп'ютерах підвищити точність оптимізації технічних параметрів. Під час дослідження методів побудови і реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей слід відзначити результати публікацій [15, 16], де обґрунтована коректність розрахункових математичних моделей та здійснений розрахунок параметрів випромінювачів. Розглянемо функцію  $Q(s, t)$ :

$$Q(s, t) = \begin{cases} \exp\{t\tilde{A}_k(s)\} \Delta^{-1}(s) \quad npu \quad t \in [0; t_1]; \\ \exp\{(t - t_1)\tilde{A}_k(s)\} \Delta^{-1}(s) \exp\{t\tilde{A}_k(s)\} \quad npu \quad t \in [t_1; t_2]; \\ \exp\{(t - t_2)\tilde{A}_k(s)\} \Delta^{-1}(s) \exp\{t\tilde{A}_k(s) + (t_2 - t_1)\tilde{A}_k(s)\} \quad npu \quad t \in [t_2; t_3], \end{cases} \quad (5)$$

де

$$\Delta(s) = \tilde{B}_0(s) + \tilde{B}_1(s) \exp\{t\tilde{A}_k(s)\} + \tilde{B}_2(s) \exp\{t\tilde{A}_k(s) + (t_2 - t_1)\tilde{A}_k(s)\} \neq 0;$$

$\tilde{A}_k(s)$ ,  $\tilde{B}_k(s)$  – символи відповідних псевдодиференціальних операторів у просторі узагальнених функцій,  $k = 0, 1, 2$ .

Відзначимо, що крайова задача (1)–(4) коректна в просторі узагальнених функцій, якщо функція  $Q(s, t)$  належить простору нескінченно-диференційованих функцій степеневого зростання. Справедливим є також твердження, що розв'язки системи неоднорідних диференціальних рівнянь (1) належать простору узагальнених функцій, якщо функція (5) належить простору нескінченно-диференційованих функцій степеневого зростання (спадання) [15].

Від лазера 6 через блок фокусування 7 промінь лазера направляється на сіткову оптоелектронну модель 1. У результаті на сітковій моделі 1 формується температурне поле ембріона. З контрольованих точок ембріона значення температурного поля надходить на перший вхід блоку порівняння 3, на другий вхід якого подається припустиме значення температури з блоку 2. Здійснюється порівняння цих величин. Якщо температурне поле на сітковій моделі 1 більше заданого припустимого значення, то з блоку порівняння 3 в блок розрахунку параметрів 4 надходить сигнал, за яким здійснюється корекція параметрів лазера. Ця інформація реєструється блоком 8. Такий ітераційний про-

цес дозволяє за декілька ітерацій отримати оптимальні значення параметрів лазера, щоб забезпечити отримання життєздатних частин ембріона.

Проведемо порівняльну оцінку часових витрат при чисельній і апаратній реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей. Нехай число параметрів термічної дії дорівнює  $n$ . Відповідні множини їх дискретних значень мають по елементів.

$$k_1, k_2, \dots, k_i, \dots, k_n \quad (6)$$

Для повного перебору значень параметрів необхідно розв'язати відповідних крайових задач. Для цього будуть потрібні витрати часу

$$K = k_1 k_2 \dots k_i \dots k_n \quad (7)$$

$$U_1 = \prod_{i=1}^n k_i t_y, \quad (8)$$

де  $t_y$  – час підготовки і розв'язання однієї крайової задачі.

Цей час включає витрати часу на підготовку і завдання вихідних даних, на розв'язання крайової задачі на аналого-цифровому процесорі, що здійснюється практично миттєво.

Витрати часу  $U_2$  під час розв'язання тих же крайових задач на комп'ютерах складе

$$U_2 = \prod_{i=1}^n k_i t_E, \quad (9)$$

де  $t_E$  – час підготовки і розв'язання однієї крайової задачі на комп'ютерах.

З огляду на те, що розв'язання однієї крайової задачі визначається в основному часом підготовки і завдання вихідних даних, а її реалізація на сітковому аналоговому процесорі здійснюється практично миттєво, то наближено можна прийняти, що

$$t_E \approx \prod_{i=1}^n k_i t_y. \quad (10)$$

Отже, час  $t_E$  підготовки і розв'язання однієї крайової задачі на комп'ютерах приблизно дорівнює часу реалізації всієї задачі повного перебору дискретних значень шуканих параметрів і розв'язання відповідних крайових задач.

Час  $U_1$  чисельної реалізації оптимізаційної математичної моделі порівняно з часом її реалізації на комп'ютерах скорочується приблизно в раз, тобто залежить від загального числа крайових задач, які розв'язують. Точності реалізації математичної моделі на сучасній аналоговій або аналого-цифровій техніці коливається в межах від 5% до 10%.

$$\prod_{u=1}^n k_u \quad (11)$$

Автором розв'язані деякі прикладні задачі економіко-математичного моделювання прогнозу-

вання і контролю можливих ризиків при забезпеченні технологічних і біотехнологічних процесів. Використання наведеної в статті блок-схеми дасть можливість удосконалити наявні та спроектувати нові пристрої для аналізу та оптимізації параметрів технологічних і біотехнологічних процесів. Використання таких пристроїв дозволить спрогнозувати та знизити ризики втрат досліджуваного матеріалу під час забезпечення біотехнологічних процесів, а також підвищити швидкість реалізації ітераційного процесу пошуку та перебору локальних екстремумів.

**Висновки.** Розв'язуючи задачу прогнозування та контролю можливих ризиків під час забезпечення технологічних і біотехнологічних процесів, в статті обґрунтована необхідність розширення функціональних можливостей спеціалізованих

моделюючих пристроїв в частині врахування нелінійної, багат шарової будови досліджуваних об'єктів і технічних характеристик випромінювачів. Наведена розрахункова математична модель (крайова задача) процесу термічної дії на нелінійний, багат шаровий матеріал, закладені принципи побудови спеціалізованих моделюючих пристроїв для апаратної реалізації основної оптимізаційної задачі підвищення ефективності даного біотехнологічного процесу за рахунок врахування нелінійної, багат шарової будови піддослідного матеріалу. Попри збільшення часових витрат для реалізації систем багатовимірних диференціальних рівнянь, це дало змогу досягти збільшення точності реалізації крайових задач, а отже, і зменшення витрат піддослідного матеріалу.

### Список літератури:

1. Стоян Ю.Г., Путятин В.П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. Київ : Наукова думка, 1988. С. 44–48
2. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. Київ : Наукова думка, 1986. 268 с.
3. Макаров А.А., Николенко И.Г. Частичная параболичность краевой задачи для псевдодифференциальных уравнений в слое. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Математика, прикладна математика і механіка*. Харків, 2019. Т. 89. С. 21–32. DOI: 10.26565/2221-5646-2019-89-03
4. Muzylyov D., Kravcov A., Karnaukh M., Berezchnaja N., Kutya O. Development of a methodology for choosing conditions of interaction between harvesting and transport complexe. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2. No. 3 (80). Pp. 11–21. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.65670>.
5. Volkov V., Taran I., Volkova T., Pavlenko O., Berezchnaja N. Determining the efficient management system for a specialized transport enterprise. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2020. Vol. 4. Pp. 185–191. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/185>.
6. Войтов В.А., Бекиров А.Ш., Войтов А.В. Критерий оценки добротности трибосистем и его связь с трибологическими характеристиками. *Проблеми трибології*. 2018. Т. 88. №2. С. 35–42.
7. Scoblo T.S., Klochko O.Y., Romanchenko V.N., Belkin E.L. Features of the carbide phase degradation under heating and deformation. *Letters on Materials*. 2021. Vol. 11, No. 1. Pp. 22–27. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-1-22-27>.
8. Babenko V., Nazarenko O., Nazarenko I., Mandych O., Krutko M. Aspects of program control over technological innovations with consideration of risks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3. No. 4 (93): Mathematics and Cybernetics applied aspects. Pp. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133603>.
9. Levkina R.V., Kravchuk I.I., Sakhno I.V., Kramarenko K.M., Shevchenko A.A. The economic-mathematical model of risk analysis in agriculture in conditions of uncertainty. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2019. Vol. 3. No. 30. Pp. 248–255.
10. Douglas-Hamilton D.H., Conia J. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling. *Journal of Biomedical Optics*. 2001. Vol. 6. Issue. 2. P. 205. DOI: 10.1117/1.1353796.
11. Levkina R., Levkin A., Petrenko A., Kolomiets N. Current approaches to biotechnology in animal husbandry. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29. Issue. 8 Special issue. Pp. 2463–2469.
12. Levkin A., Levkina R., Petrenko A., Chaliy I. Economic Security as a Result of Modern Biotechnology Implementation: 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S-T '2019) (8-11 October 2019 Kyiv). Kyiv, 2019. Pp. 139–142.
13. Skoblo T.S., Sidashenko O.I., Saichuk O.V., Klochko O.Yu., Levkin D.A. Influence of Stresses on Structural Changes in Gray Cast Iron. *Materials Science*. 2020. Vol. 56. No. 3. Pp. 347–358. <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00436-8>.
14. Kravtsov A., Suska A., Biekurov A., Levkin D. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. Pp. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>.
15. Левкін Д.А. Умови коректності крайових задач. *Енергетика і автоматика*. Київ, НУБіП України, 2020. № 3 (49). С. 128–137. URL: <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2020.03.128>

16. Левкін Д.А., Бережна Н.Г., Лук'янов І.М., Левкін А.В. Математичний інструментарій розв'язання прикладних задач. *Вчені записки Таврійського Національного Університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. Київ, 2021. Т. 32(71). № 2. Ч. 1. С. 164–169. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.2-1/26>.

#### **Levkin D.A. NUMERICAL METHODS AND MATHEMATICAL MODELS OF OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF BIOTECHNOLOGICAL PROCESSES**

*The article proposes mathematical and numerical methods for calculating and optimizing the parameters of the thermal action process on multilayer materials. The author has improved the existing calculation and applied optimization mathematical models in terms of taking into account the structure of the studied material and technical characteristics of moving sources.*

*The calculation mathematical model of the process of thermal action on a multilayer object is based on the non-local boundary value problem of the system of evolutionary pseudo-differential equations in a multilayer medium. The physical characteristics of the studied objects can be set based on, for example, the methods of expert evaluation of the parameters of the emitters. The correctness of the boundary value problem is proved using methods based on the theory of pseudo-differential operators over the space of generalized functions of power increase (decrease). In this case, despite the increase in time required for the iterative process of searching and searching for local extremes of the goal function, as well as complicating the type of boundary value problems, their implementation will increase the accuracy of finding record values of technical parameters. To reduce time costs, the author proposes to use the specialized analog or hybrid network processors, with which it is possible to almost instantly implement edge tasks on computers.*

*As an example of a multilayer system that contains concentrated discrete sources of physical fields, the embryo under the action of sources of point laser radiation is considered in the article. The author has solved the optimization problem of reducing the trauma of the embryo by improving the method of modeling and optimization of complex biotechnological systems. These studies lie in the field of applied problems of economic and mathematical modeling of complex systems that contain sources of physical fields.*

**Key words:** *mathematical models, boundary value problem, iterative process, applied problems, economic-mathematical modeling.*

УДК 621.396.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/22>

**Лисенко О.І.**

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

**Турейчук А.М.**

Українська військово-медична академія

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Новіков В.І.**

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

**Сушин І.О.**

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

**Нідченко І.А.**

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

## **МЕТОДОЛОГІЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО СКЛАДУ СЕНСОРІВ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕДУР ТА АЛГОРИТМІВ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ РОЗПОДІЛЕНОГО ТЕХНОГЕННОГО ОБ'ЄКТУ**

*Стаття присвячена розробці методології обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту. Проведено аналіз складників техногенного навантаження видів діяльності розподіленого техногенного об'єкту на його наземну екосистему та сформовано вимоги до якісного складу комплексу датчиків первинної інформації, які повинні забезпечити: оцінку фактичного стану екосистеми; ідентифікацію складника антропогенного впливу факторів функціонування розподіленого техногенного об'єкту; прогноз стану екосистеми; формування пропозицій особі, що приймає рішення, щодо управління станом екосистеми і екологічною безпекою.*

*Головним методологічним підходом щодо розробки вимог до складу комплексу сенсорів безпроводової сенсорної мережі є з'ясування тієї моделі вхідної по відношенню до алгоритму або процедури, інформації, яка забезпечує виконання відповідних розрахунків в інтересах спостереження стану забруднення природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів*

*Також у статті визначено склад параметрів розподіленого техногенного об'єкту, які необхідно враховувати під час оцінювання та прогнозування стану екосистеми та розроблено структури процедур, що дозволяють визначити склад сенсорів безпроводової сенсорної мережі для: вимірювання вектору забруднення наземної екосистеми від діяльності розподіленого техногенного об'єкту та фонового забруднення. Вказано на необхідність спостереження за біотичним складником наземної екосистеми розподіленого техногенного об'єкту.*

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

**Вступ.** Ця стаття є розвитком (деталізацією) ідей, які були висловлені у попередній статті [1]. Розвиток (деталізація) полягає у переході від методики формулювання вимог до безпроводової сенсорної мережі в цілому до формулювання вимог до комплексу сенсорів, який дозволяє виконувати конкретні вимірювальні дії. Тобто ця стаття конкретизує методологію обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту (РТО). Під розподіленими техногенними об'єктами (РТО) будемо розуміти, так само як і у [1], випробувальні полігони, кар'єри, шахти, техногенні об'єкти із значною просторовою протяжністю та прилеглими територіями (наприклад, атомні електростанції), території захоронення забруднюючих речовин, а також відходів виробництва та життєдіяльності, зони стихійного лиха.

Проблема полягає в тому, що загально існуюча кількість забруднень у світі наближається до 10 000 [2-11]. Мати повний набір сенсорів по всіх видах забруднення на кожному РТО не раціонально. Потрібно знайти методологію раціонального формування комплексу сенсорів для кожного РТО. Саме розв'язанню задачі щодо розробки методології раціонального вибору якісного складу сенсорів БСМ для системи екологічного моніторингу РТО і присвячена дана стаття.

Постановка задачі дослідження.

**Моніторинг екосистеми розподіленого техногенного об'єкту** – це апаратно-аналітична система спостережень, ідентифікації, контролю стану мікро- та мезоекологічних систем, що знаходяться на території РТО, а також локальної екосистеми всього РТО в цілому у складі регіональної екосистеми з метою прогнозування розвитку природно-техногенних процесів на РТО під впливом факторів функціонування РТО. Зрозуміло, що цей моніторинг використовується для підтримки прийняття рішення щодо управління станом навколишнього природного середовища (НПС) розподіленого техногенного об'єкту [2–13].

Результатом оцінки стану екосистеми РТО буде чисельне значення системоутворюючого показника стану екосистеми.

Комплект датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі системи екологічного моніторингу РТО повинен дозволити реалізувати інформаційно-технологічні операції за наступними напрямками [2–14]:

1. Спостереження за факторами впливу і станом екосистеми.
2. Оцінка фактичного стану екосистеми.
3. Ідентифікація складника антропогенного впливу факторів функціонування РТО.
4. Прогноз стану екосистеми.
5. Формування пропозицій особі, що приймає рішення, щодо управління станом екосистеми і екологічною безпекою.

Реалізація зазначених інформаційно-технологічних операцій дозволить виконати усі завдання екологічного моніторингу РТО:

1. Виявлення та реєстрація джерел техногенних навантажень, що пов'язані з діяльністю РТО, а також джерел іншого походження, які знаходяться в межах районів дислокації РТО та у безпосередній близькості від них.
2. Встановлення масштабів і інтенсивності екологічно несприятливих та небезпечних факторів впливу в межах районів дислокації і насамперед на функціональних об'єктах РТО.
3. Ідентифікація поточного екологічного стану всієї території та всіх об'єктів РТО.
4. Вивчення здатності екосистеми до самовідновлення.
5. Ідентифікація структури та параметрів моделей екологічної обстановки по кожній компоненті забруднення з метою прогнозування розвитку екологічної ситуації.
6. З'ясування екологічного стану РТО без антропогенного впливу агресивної техногенної діяльності, тобто «еталонного» стану РТО.
7. Виявлення найбільш забруднених зон РТО для можливості зонування щодо ступеня забрудненості території з метою проведення подальших рекультивативних робіт.
8. Визначення параметрів процесів міграції екологічно-небезпечних речовин: по території РТО; з території РТО за його межі; із-за меж РТО на його територію.
9. Моніторинг РТО як елемента соціо-еколого-економічної системи регіону і держави в цілому.

Екологічний моніторинг РТО є складником об'єктового екологічного моніторингу, який існує в системі державного моніторингу як відомчий. Він забезпечує функціонування автоматизованої підсистеми екологічного моніторингу й інформаційне поєднання її з державною системою та відомчими підсистемами.

Згідно з класифікацією [5–7] екологічний моніторинг РТО, що існує на теперішній час, – це пасивний, дискретний, локальний, площинний, геофізичний моніторинг джерел фізико-хімічного



впливу, що має характер охорони периметрів РТО і який проводиться шляхом ручного або автоматизованого відбору проб з наступною обробкою їх у стаціонарних лабораторіях.

На сучасному етапі проводиться розробка та реалізація концепції автоматизованої системи екологічного моніторингу РТО на базі перспективних «хмарних» та «туманних» технологій обробки великих даних.

Натепер алгоритми і процедури екологічного моніторингу РТО не забезпечені повною мірою інформацією від спеціальних безпроводових мультисенсорних мереж [2–6].

У системі екологічного моніторингу РТО, що існує натепер, відсутній постійний безперервний збір та попередня аналітична обробка інформації. Вона надається лише за запитом від верхнього за ієрархією рівня, або в разі безпосереднього виникнення надзвичайної ситуації екологічного характеру. За таких умов у разі виникнення надзвичайних ситуацій екологічного характеру або терористичних дій із застосуванням різного роду небезпечних речовин відсутня можливість оперативного оповіщення відповідних державних служб. Розгляд діяльності РТО виявив той факт, що заходи із застосування нової техногенно-небезпечної техніки супроводжуються утворенням специфічних негативних впливів, які не мають аналогів у інших видах людської діяльності. Це означає відсутність сенсорів, які б могли своєчасно фіксувати появу цих небезпечних речовин.

Таким чином, все вищезначене показує, що інформаційне забезпечення системи екологічного моніторингу РТО не забезпечує належний рівень спостережливості процесів на території розташування РТО та на функціональних об'єктах РТО. Ця обставина вимагає проведення спеціальних теоретичних досліджень щодо методичного забезпечення вирішення задачі формування якісного складу вектора вимірювань факторів функціонування РТО, і ці вимірювання буде отримано від датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі [15–29].

**Метою статті є** розробка методології обґрунтування вимог до складу сенсорів безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту.

**Виклад основного матеріалу.** Головним методологічним підходом до розробки вимог до складу комплексу сенсорів БСМ є з'ясування тієї моделі входної по відношенню до алгоритму або процедури, інформації, яка забезпечує виконання

відповідних розрахунків в інтересах спостереження стану забруднення природного середовища територій розподілених техногенних об'єктів

1. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) завдяки розробці алгоритму обчислення індексу забруднення наземної екосистеми РТО.

Існують декілька визначень терміну «забруднення», але їх суть зводиться до одного – це привнесення в навколишнє середовище нехарактерних для нього речовин або вміст характерних речовин у нехарактерних кількостях [2–9, 30–33]. Під забрудненням наземних екологічних систем розподілених техногенних об'єктів (РТО) будемо розуміти відхилення хімічних, фізичних, біологічних характеристик біотопу (повітря, води, ґрунту) та біоценозу (тварин, рослин) від деяких значень, які визначають норму.

Аналіз питання оцінки стану забруднення наземної екосистеми РТО показав, що для вирішення цієї задачі достатньо контролювати поточні, фонові та граничнодопустимі параметри забруднення екосистеми та функціональні параметри РТО [2–9, 30–33].

Розглянемо особливості визначення зазначених параметрів з урахуванням специфіки функціонування РТО.

У відповідності із рекомендаціями Комісії зі стійкого розвитку при ООН (CSD), Міжнародного комітету з екологічних індексів та індикаторів (ICEI) і Комітету з екологічного моделювання (ISEM) [2–9, 30–33] для характеристики забруднення наземної екосистеми РТО пропонується використовувати узагальнюючі показники, які отримали назву індекси забруднення відповідного середовища (атмосфери, поверхневих та ґрунтових вод, ґрунтів). У роботах [2–9, 30–33] розглянуто прості, агреговані, інтегральні та комплексні індекси забруднення наземної екосистеми. Для оцінки стану наземної екосистеми РТО доцільно використовувати узагальнений індекс забруднення [2–9, 30–33], алгоритм обчислення якого полягає в наступному.

Натепер рівень забруднення наземної екосистеми визначається із використанням доступних для апаратного вимірювання фізико-хімічних величин, що мають назву концентрація забруднення і позначаються  $C$ .

Концентрація  $C$  може бути як точковою характеристикою, так і усередненою за об'ємом, площею або іншим узагальнюючим показником відповідної наземної екосистеми РТО, її підсис-

теми, функціонального об'єкту або його частини. Крім того, концентрації відрізняються за типами забруднення. Саме з чисельних значень цих класифікаційних різновидів концентрацій і складається вектор забруднення  $Z$ .

Слід звернути увагу на те, що кожній місцевості притаманні свої фонові концентрації  $C_{fon}$ .

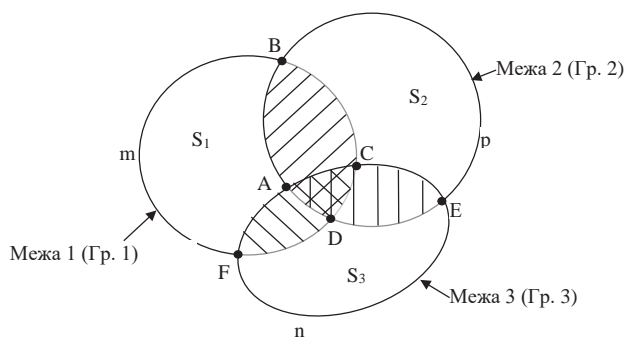
Необхідно зауважити, що деякі компоненти первинного забруднення можуть вступати у взаємодію із компонентами навколишнього природного середовища (НПС) чи іншими забруднюючими речовинами, утворюючи вторинне забруднення [3; 4]. Крім того, потрібно враховувати «старіння» забруднюючої речовини, внаслідок чого його негативна дія на живі організми з часом зменшується і при повному розпаді припиняється або забруднююча речовина консервується і може себе проявити потім. На теперішній час ведуться активні дослідження по встановленню гранично допустимих концентрацій як за окремою дією різних забруднюючих речовин на рослини і тварин, так і при комплексній дії. Ці дослідження далекі від завершення [4, 5]. Тому алгоритм обчислення узагальненого індексу побудуємо із використанням доступної вже зараз інформації.

Враховуючи вищенаведене, пояснимо на прикладі алгоритм обчислення індексу забруднення обмеженої території (рис. 1).

У наведеному прикладі розглядаються три компоненти забруднення із значеннями концентрацій  $\bar{C}_i$  ( $i=1, 2, 3$ ), усередненими за площами  $S_{I_i}$  ( $i=1, 2, 3$ ), що обмежені межами відповідно  $Gp_i$  ( $i=1, 2, 3$ )

$$\bar{C}_i = \frac{\iint_{S_{I_i}} C_i(x, y) dS}{S_{I_i}}, \quad i = 1, 2, 3,$$

та відповідним чином усередненими фоновими значеннями цих забруднень  $\bar{C}_{фон_i}$ .



**Рис. 1. Пояснення алгоритму обчислення індексу забруднення території, обмеженої дугами  $\cup BmF, \cup FnE, \cup EpB$ :  $S_{1,2,3}$  – площі, вільні від штриховки**

Беручи до уваги гіпотези про парціальну (сепарабельну) та неселективну дію кожної окремої компоненти забруднення на біотопи наземної екосистеми РТО, обчислюємо спочатку часткові індекси забруднення на відповідних територіях:

$$I_{S_i} = \begin{cases} 1 - \frac{\bar{C}_{фон_i}}{\bar{C}_i} \in (0, 1), \forall \bar{C}_i > \bar{C}_{фон_i} > 0; \\ 0, \forall \bar{C}_i \leq \bar{C}_{фон_i}, \end{cases}$$

де  $I_{S_i}$  – індекс забруднення території, що позначена  $S_i$  (див рис.1), який показує частку перевищення над фоновим рівнем в кожній одиниці середньої концентрації забруднення,  $i = 1, 2, 3$ .

Після цього обчислюємо індекси багатокомпонентного забруднення:

$$I_{ABC} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_1} + \bar{C}_{\phi_2}}{\bar{C}_1 + \bar{C}_2} \in (0, 1);$$

$$I_{FAD} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_1} + \bar{C}_{\phi_3}}{\bar{C}_1 + \bar{C}_3} \in (0, 1);$$

$$I_{DCE} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_2} + \bar{C}_{\phi_3}}{\bar{C}_2 + \bar{C}_3} \in (0, 1);$$

$$I_{DAC} = 1 - \frac{\bar{C}_{\phi_1} + \bar{C}_{\phi_2} + \bar{C}_{\phi_3}}{\bar{C}_1 + \bar{C}_2 + \bar{C}_3} \in (0, 1),$$

якщо підсилюючої (послаблюючої) дії забруднень на заштрихованих територіях не відбувається.

Якщо має місце взаємодія забруднень, то вважаємо, що на цих ділянках території РТО діє нове забруднення, для якого виконуємо всі вищезазначені обчислення для формування часткового індексу.

Узагальнений індекс забруднення території, обмеженої дугами  $\cup BmF, \cup FnE, \cup EpB$  (див. рис.1) обчислено за виразом:

$$I = \left(\frac{S_1}{S_0}\right) I_{S_1} + \left(\frac{S_2}{S_0}\right) I_{S_2} + \left(\frac{S_3}{S_0}\right) I_{S_3} + \left(\frac{S_{ABC}}{S_0}\right) I_{S_{ABC}} + \left(\frac{S_{FAD}}{S_0}\right) I_{S_{FAD}} + \left(\frac{S_{DCE}}{S_0}\right) I_{S_{DCE}} + \left(\frac{S_{DAC}}{S_0}\right) I_{S_{DAC}}, \quad (1)$$

де  $S_0 = S_1 + S_2 + S_3 + S_{ABC} + S_{FAD} + S_{DCE} + S_{DAC}$

#### Висновок:

1) алгоритм обчислення  $I$  вважаємо алгоритмічним способом завдання функції забруднень [2-9, 30-33];

2) БСМ повинна надавати із заданою періодичністю інформацію, що дозволяє обчислити середні концентрації специфічних фонових та специфічних для даного РТО забруднень, а також інформації про просторове розташування (граніцю області забруднень) та величину забрудненої площі.

2. Процедура визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного

забезпечення алгоритмів моніторингу наземної екосистеми РТО, що побудована на основі визначення складу вектору їх забруднення. До складників вектору забруднення (ВЗ)  $Z$  входять концентрації речовин, які забруднюють повітряні, наземні, поверхневодні, ґрунтоводні, ґрунтові складники екосистеми [2]. Враховуючи специфіку функціонування РТО, розглянемо особливості формування ВЗ екосистеми РТО за відповідними середовищами.

**Атмосферне середовище.** Під якістю атмосферного середовища розуміють сукупність властивостей атмосфери, які визначають ступінь впливу фізичних, хімічних та біологічних факторів на людей, рослинний і тваринний світ, а також на матеріали, конструкції та навколишнє середовище в цілому [5; 6]. Викиди в атмосферу є основними джерелами наступного забруднення вод та ґрунтів в регіональному масштабі, а в ряді випадків і в глобальному. Забруднення атмосфери, яке виникає на РТО, за впливом на організм людини поділяється на фізичне та хімічне. На початок 1999 року було відомо близько 1 000 сполук, які можуть забруднювати атмосферне повітря, у 2003 році – 1 300 сполук, а у 2020 році біля 2 000. Тобто постійно з'являються нові, раніше невідомі сполуки і тому перелік речовин, зміст яких у повітрі нормується, постійно поповнюється. Близько 141 речовин (хімічних сполук) визначено як найбільш ймовірні забруднюючі речовини для атмосферного повітря України. Характерними для функціонування РТО є 80 забруднюючих речовин.

**Водне середовище.** Під дією забруднення на РТО перебувають поверхневі та ґрунтові води. Поверхневі води РТО – прісні води, які стікають з території РТО струмками в озера, річки та болота або протікають територією РТО. Частина води під впливом сили ваги переміщується всередину землі РТО і заповнює пори і тріщини в шарах піску, гравію і піщанику. Зона, у якій водою заповнені всі пори, називається зоною *насичення*. Водопроникні, насичені водою відкладення називаються водоносними горизонтами, а вода, що знаходиться в них, – ґрунтовою водою. Поверхневі та ґрунтові води розрізняються за способами розповсюдження, методами спостереження за їх станом, процесами поширення забруднюючих речовин тощо. Носіями забруднюючих речовин на РТО є поверхневий стік з забруднених територій, осадження з атмосфери та атмосферні опади. Джерела техногенного впливу можуть призвести до механічного, фізичного, хімічного та біологічного забруднення водного середовища.

Водоймища, що знаходяться на території РТО, відповідно до Водного кодексу України належать до загальних водних об'єктів і оцінюються за екологічними нормативами якості води. Нормативну базу оцінки якості води складають загальні вимоги до складу і властивостей води та значення концентрацій забруднюючих речовин у воді. Щороку у водних об'єктах знаходять 100–150 нових хімічних речовин [6, 7]. Близько 110 шкідливих речовин (хімічних сполук) визначено як найбільш ймовірні забруднюючі речовини для водного середовища України. Характерними для функціонування РТО виділено близько 70 забруднюючих речовин (хімічних сполук).

**Ґрунт.** На РТО гостро стоїть питання щодо забруднення ґрунтів, від яких значною мірою залежить рівень захворюваності особового складу технічних підрозділів, населення, яке проживає поблизу, а також задоволення потреб населення у якісних харчових продуктах. Оцінка ступеня небезпеки забруднення ґрунту хімічними речовинами проводиться по кожній речовині з обліком наступних загальних закономірностей – небезпека забруднення тим вище, чим: більше фактичний вміст компонентів забруднення ґрунту ( $C$  перевищує ГДК, що може бути виражено коефіцієнтом  $K_0 = C/ГДК$ , тобто небезпека забруднення тим вище, чим більше  $K_0$  перевищує одиницю); вище клас небезпеки контрольованої речовини, її персистентність, розчинність у воді, рухливість у ґрунті і глибина забрудненого шару; менше буферна здатність ґрунту, яка залежить від механічного складу, вмісту органічної речовини, кислотності ґрунту. Чим нижче зміст гумусу,  $pH$  ґрунту і легше механічний склад, тим небезпечніше її забруднення хімічними речовинами. На РТО ґрунти піддаються забрудненню, яке можна підрозділити на механічне, хімічне та біологічне. На теперішній час існує приблизно 2 100 сполук, що забруднюють ґрунти. В статті враховано 97 шкідливих речовин, які є найбільш ймовірними для ґрунтів України. Характерними для процесу функціонування РТО є 62 забруднюючі речовини (хімічні сполуки).

Враховуючі вищенаведене, було розроблено процедуру визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) інформаційного забезпечення алгоритмів моніторингу наземної екосистеми РТО (див. рис. 2). Результатом виконання процедури є інформація, яка необхідна для комплектування й оптимізації наборів ДПП для спостереження за станом забруднення наземної екосистеми РТО.

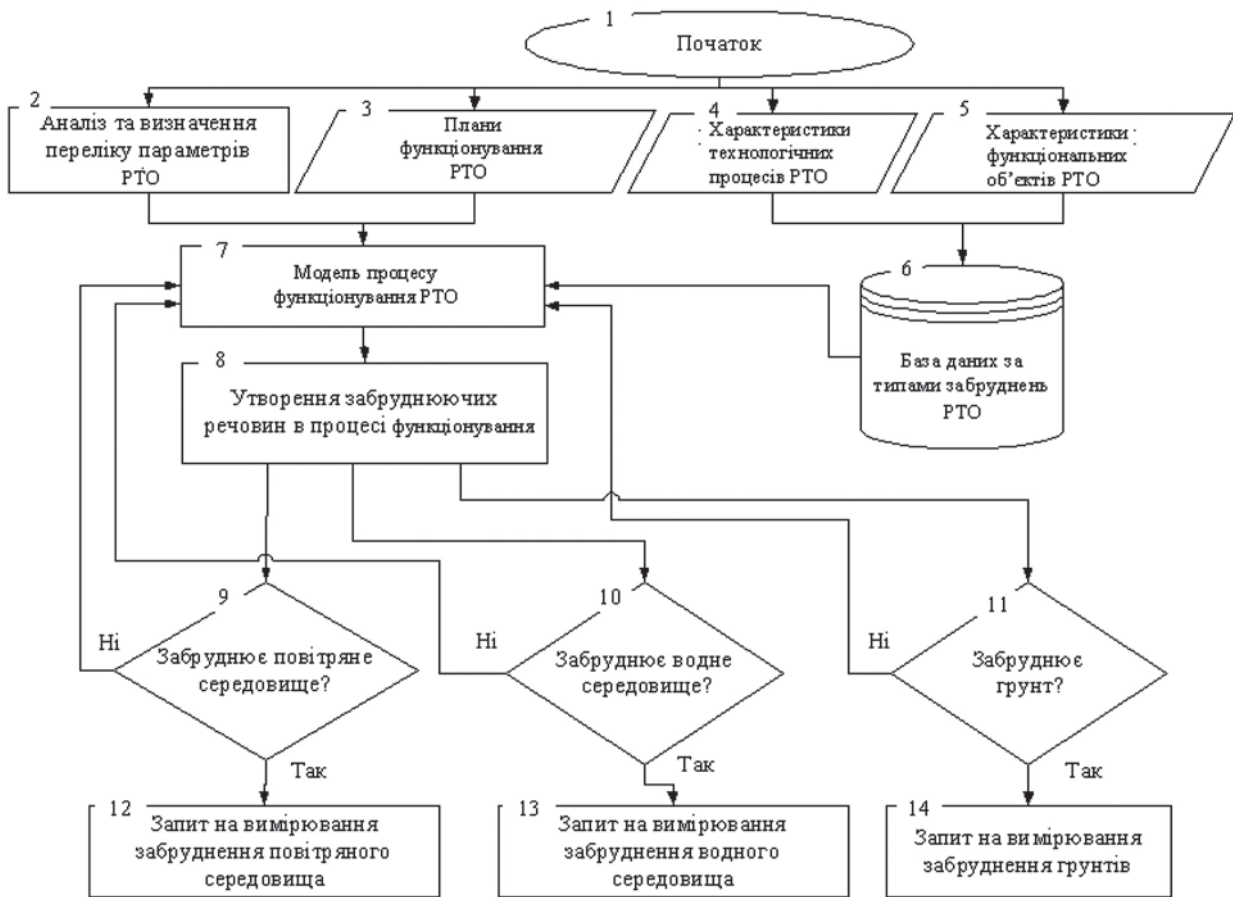


Рис. 2. Процедура визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) системи моніторингу забруднення наземної екосистеми розподіленого техногенного об'єкту (РТО)

Відповідно до зазначеної схеми (рис. 2) були отримані кількісні показники компонентів забруднення функціональних об'єктів РТО (табл. 1).

Таблиця 1  
Кількість забруднюючих речовин по різних середовищам РТО

№ з/п	Вид середовища	Кількість забруднюючих речовин, шт., (% від кількості у регіоні)	
		у регіоні	на РТО
1.	Повітряне середовище	141	84 (60 %)
2.	Водне середовище	110	73 (66 %)
3.	Ґрунти (наземна екосистема)	97	62 (64 %)

**Висновок:** датчики первинної інформації (сенсори) безпроводової сенсорної мережі повинні дозволяти вимірювати специфічні забруднення, які властиві заходам функціонування РТО.

3. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової

сенсорної мережі (БСМ) завдяки побудові процедури визначення показників фоновому забруднення наземної екосистеми РТО. Для обчислення індексу забруднення необхідно знати показники фоновому рівня забруднення наземної екосистеми РТО ( $C_{фон}$ ) [3, 4].

**Показники природного фону** – це фізичні, хімічні та інші показники (концентрації), які характеризують незмінне людиною природне середовище (екосистему), відображають рівень відносно постійного (у межах природних багаторічних відхилень) впливу того чи іншого природного фактору та дозволяють давати кількісну оцінку ефектам впливу людини на навколишнє середовище та її окремі компоненти [7, 8]. В залежності від місця та часу фон може бути: глобальний заповідний ( $C_{фон}^{glob}$ ), регіональний заповідний ( $C_{фон}^{reg}$ ), реальний ( $C_{фон}^{real}$ ), екорезерваційний ( $C_{фон}^{reserv}$ ) або фоновий рівень забруднення екологічного ядра функціонального об'єкту ( $C_{фон}^{core}$ ). В залежності від застосованого виду фону буде змінюватися змістовий зміст отриманих результатів.

**Кількісна характеристика глобального заповідного фону** ( $C_{фон}^{glob}(x)$ ) – це значення фонового рівня забруднення екосистеми, яка не зазнала антропогенного впливу людської діяльності – фон «недоторканої природи». Величина глобального фонового рівня концентрації речовини  $x$  ( $C_{фон}^{glob}(x)$ ) є постійною і зумовлена геолого-геоморфологічними характеристиками відповідного регіону. Її значення є величиною, що визначається шляхом геологічних досліджень.

Для оцінки зміни екологічного стану екосистеми РТО, яка (зміна) пов'язана з діяльністю людини взагалі, необхідно порівняти стан, що існує на даний час, з екологічним станом «недоторканої природи», тобто з глобальним заповідним фоном.

**Кількісна характеристика регіонального заповідного фону** ( $C_{фон}^{reg}(x)$ ) – це значення фонового рівня забруднення екосистеми, яка не належить до РТО, але має з нею ідентичні геолого-геоморфологічні характеристики. Величина регіонального заповідного фонового рівня концентрації речовини  $x$  ( $C_{фон}^{reg}(x)$ ) є змінною в часі величиною, тобто залежить від моменту часу  $t$  ( $C_{фон}^{reg}(x(t))$ ), і залежить від виду й інтенсивності техногенної діяльності у регіоні та геолого-геоморфологічних і кліматичних характеристик. Її значення визначається шляхом вимірів та розрахунків у глобальній системі моніторингу навколишнього середовища (ГСМНС), яка отримала визнання на Стокгольмській конференції ООН у 1972 р. ГСМНС функціонує під егідою Ради керівників Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) та охоплює Земну кулю в цілому [9].

Визначення регіонального заповідного фону проводиться у заповідниках та на заповідних територіях відповідного регіону. Порівняння існуючого рівня забруднення з регіональним заповідним фоном дає можливість оцінити зміну стану екосистеми під впливом, що зумовлений діяльністю РТО.

Для оцінки зміни стану екосистеми РТО під впливом процесу функціонування РТО за певний проміжок часу існуючий рівень забруднення необхідно порівнювати з внутрішнім фоновим рівнем забруднення екосистеми РТО. Згідно з раніше наданою класифікацією внутрішній фоновий рівень забруднення може бути реальним, екорезерваційним та фоновим рівнем забруднення екологічного ядра функціонального об'єкта РТО.

**Кількісна характеристика реального фону** ( $C_{фон}^{real}(x(t))$ ) – це значення фонового рівня забруднення екосистеми РТО речовиною  $x$  на поточний

момент часу. Величина фонового рівня забруднення екосистеми речовиною  $x$  зумовлена: видом та інтенсивністю функціонування РТО; проміжком часу існування РТО; здатністю екосистеми до самовідновлення; проведенням реабілітаційних робіт. Порівняння існуючого рівня забруднення з реальним фоном дає можливість оцінити зміну стану екосистеми під впливом заходів випробувань за певний проміжок часу.

**Кількісна характеристика екорезерваційного фону** ( $C_{фон}^{reserv}(x(t))$ ) – це значення фонового рівня забруднення екологічно чистої екосистеми РТО (екорезервації). Величина фонового рівня концентрації речовини  $x$  зумовлена: видом та інтенсивністю функціонування РТО; проміжком часу існування РТО; здатністю екосистеми до самовідновлення; захищеністю екорезервацій від техногенних впливів процесу функціонування РТО.

**Кількісна характеристика фону екологічного ядра функціонального об'єкта** ( $C_{фон}^{core}(x(t))$ ) – значення концентрації забруднення екосистеми функціонального об'єкта в характерній точці, яка, на думку експертів, найбільш точно відображає стан забруднення функціонального об'єкта речовиною « $x$ » на початок проведення випробувань. Величина фонового рівня концентрації речовини  $x$  залежить: від виду та інтенсивності функціонування РТО; часу існування функціонального об'єкта, зокрема і РТО взагалі; здатності екосистеми до самовідновлення; регулярності проведення реабілітаційних робіт. Значення фону в екологічному ядрі функціонального об'єкта може перевищувати значення ГДК. Порівняння існуючого рівня забруднення з фоном екологічного ядра характеризує стан екосистеми, що склався саме під техногенним впливом функціонування РТО за певний проміжок часу (в залежності від моменту часу, коли був визначений фон).

В існуючих індексах забруднення використовувались регіональний заповідний або реальний фон. Для РТО, де важливо оцінити зміну стану екосистеми функціонального об'єкта за певний проміжок часу, будемо використовувати фон екологічного ядра функціонального об'єкта.

Необхідно зауважити, що кількісні характеристики регіонального заповідного  $C_{фон}^{reg}$ , реального  $C_{фон}^{real}$ , екорезерваційного  $C_{фон}^{reserv}$  та фонового рівня забруднення екологічного ядра функціонального об'єкта  $C_{фон}^{core}$  є величинами не стаціонарними, тобто залежать від моменту часу. Для визначення цих величин необхідно мати комплект датчиків первинної інформації, що забезпечує неперервне в часі спостереження. Перелік речовин, що підля-

гають контролю, визначається в результаті аналізу заходів техногенної діяльності РТО, що відбуваються на відповідній території (функціональній зоні). За необхідності контролю трансграничних переносів забруднюючих речовин, до переліку речовин, що підлягають контролю, додаються також ті, поява яких очікуються. Їх перелік формується шляхом аналізу антропогенної діяльності у регіоні з урахуванням моделей поширення забруднюючих речовин, кліматоутворюючих факторів та фізико-географічних характеристик регіону тощо.

Враховуючи вищенаведене, була розроблена процедура визначення фонових забруднень наземної екосистеми РТО, структура якої представлена на рис. 3. Процедура створення бази даних щодо оптимальних за критеріями точності вимірювання (блок 17) і вартості (блок 18) комплектів датчиків первинної інформації (сенсорів стаціонарних

або мобільних) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) та варіантів розташування ДПП БСМ на території РТО (блок 19), буде розглянуто далі (див. рис.4).

**Висновок:** датчики первинної інформації (сенсори) безпроводової сенсорної мережі повинні дозволяти вимірювати величини, що дозволяють обчислити кількісні показники фонових забруднень наземної екосистеми РТО.

4. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) на основі аналізу інформації про гранично допустимі показники забруднення. Для визначення допустимих рівнів антропогенного впливу проводиться екологічне нормування якості екосистеми. В його основі та в якості кількісної міри припустимого екологічного навантаження використовуються гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин.

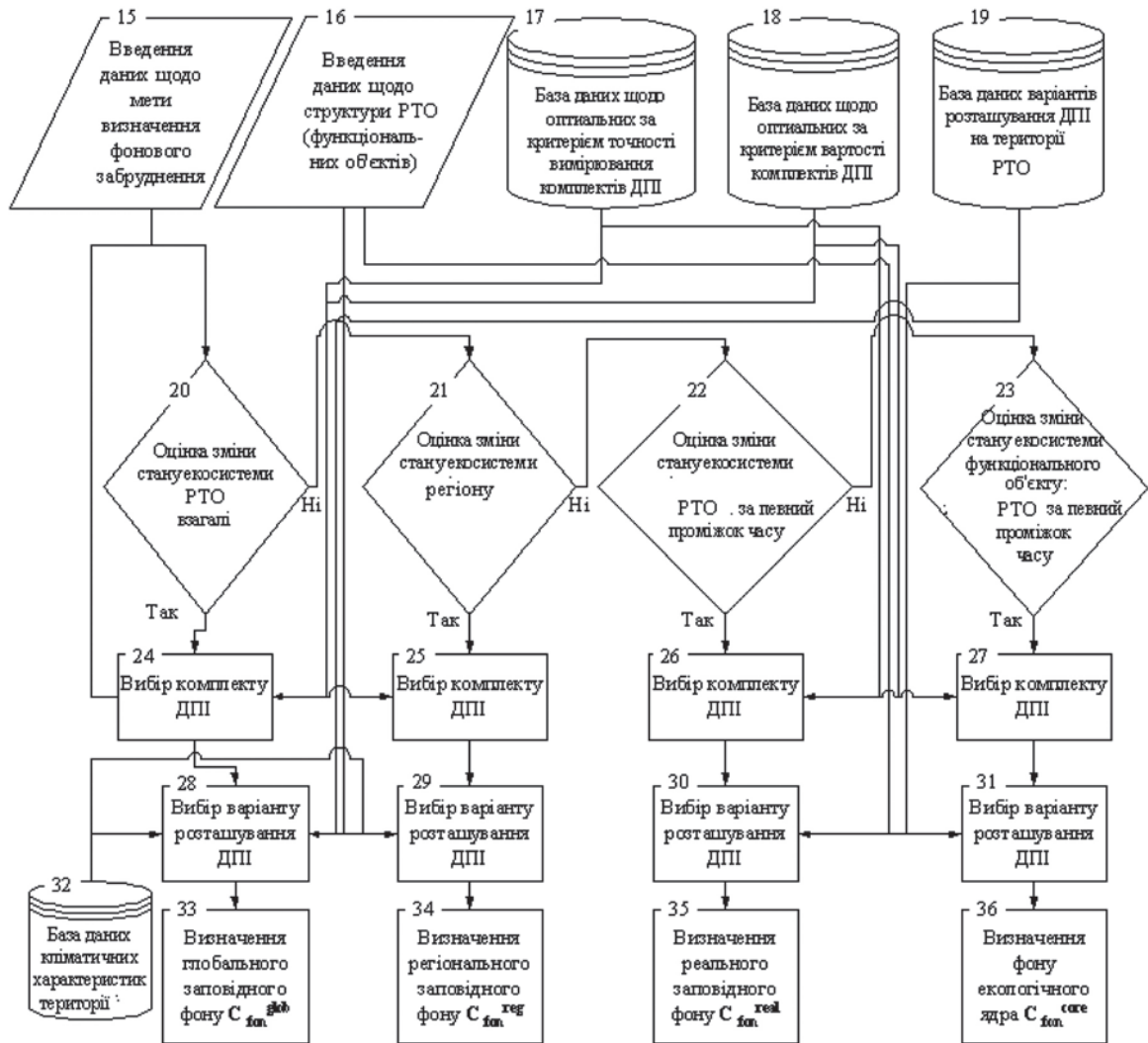


Рис. 3. Структура процедури визначення фонових забруднень наземної екосистеми розподіленого техногенного об'єкту ( РТО)

**Гранично допустима концентрація** – норматив, який встановлює максимальну концентрацію шкідливої речовини в одиниці об'єму (повітря, води), маси (грунту) або поверхні (шкіра робітника), яка при впливі за певний проміжок часу або протягом усього життя людини не має прямого або побічного шкідливого впливу на організм та довкілля і не викликає несприятливі наслідки у його нащадків [6]. ГДК обґрунтовуються з огляду на санітарно-гігієнічні міркування.

Усі зазначені норми і розробки стосуються гранично допустимих рівнів впливу на людину. Встановлення меж допустимого впливу на популяції тварин і рослин, що формують екосистеми, почато порівняно недавно. На цей час вироблені і встановлені ГДК для рибогосподарських водойм – для популяцій риб, що мають промислове значення, ведеться обґрунтування ГДК для інших гідробіонтів. Ці ГДК визначаються в основному по токсикологічній ознаці шкідливості на рівні організмів і популяцій. При цьому токсичною вважається така концентрація забруднюючих речовин, за якої відносні (у порівнянні з контрольними дослідженнями) показники виживання, плідності, росту і біопродукування знижуються більш ніж на 50%. Крайньою вважають концентрацію, за якої зниження значень зазначених показників не перевищує 50%, максимальною недіючою (передкрайньою) – за якої показники життєдіяльності гідробіонтів відхиляються не більше ніж на 25%.

Аналіз того, як змінюються з часом значення ГДК, свідчить про їхню відносність, вірніше – про відносність наших знань про безпеку або небезпеку тих чи інших речовин. Для речовин, про дію яких не накопичено достатньої інформації, можуть встановлюватися тимчасово допустимі концентрації (ТДК) – отримані розрахунковим шляхом нормативи, рекомендовані для використання терміном на 2–3 роки [2–14, 29–33].

Значення ГДК однієї і тієї ж речовини в різних середовищах різні.

*Повітряне середовище.* Основним критерієм встановлення нормативів ГДК для оцінки якості повітря є вплив забруднюючих домішок, що містяться у повітрі, на організм людини. Але якщо речовина чинить на довкілля шкідливий вплив в менших концентраціях, ніж на людину, то при нормуванні виходять з порогу дії цієї речовини на довкілля. Вплив речовин, для яких не встановлені ГДК, оцінюється за орієнтовано безпечним рівнем впливу забруднюючої атмосфери речовини. Це тимчасовий гігієнічний норматив, який встановлюється завдяки розрахункам.

У зв'язку з тим, що короточасні впливи шкідливих речовин, які неможливо визначити за запахом, можуть визвати функціональні зміни у корі головного мозку та в зоровому аналізаторі, були введені значення максимальних разових ГДК (ГДК<sub>мр</sub>). З урахуванням імовірності тривалого впливу шкідливих речовин на організм людини були введені значення середньодобових ГДК (ГДК<sub>сд</sub>) [2–14, 29–33].

ГДК<sub>мр</sub> – головна характеристика небезпечності шкідливої речовини. Характеризує короточасний (20–30 хв.) вплив даної речовини на організм. Встановлена для попередження рефлекторної реакції у людини (відчуття запаху, світової чутливості, біоелектричної активності головного мозку) при короточасному впливу атмосферних домішок. За цим нормативом оцінюються речовини, що мають запах або впливають на інші органи людини.

ГДК<sub>сд</sub> – встановлена для попередження загальнотоксичного, канцерогенного, мутагенного та іншого впливу речовини на організм людини. Речовини, що оцінюються за цим нормативом, мають здатність тимчасово або постійно накопичуватись в організмі людини.

*Водне середовище.* При рівні концентрації, який більше ГДК, вода вважається непридатною для конкретного виду водокористування. ГДК зазвичай задаються у вигляді конкретного значення концентрації [2–14, 29–3].

*Ґрунти.* Раніше був встановлений лише один норматив, який визначав допустимий рівень забруднення ґрунту шкідливими хімічними речовинами – ГДК для орного шару ґрунту. Принцип нормування вмісту хімічних сполук у ґрунті заснований на тому, що надходження їх до організму відбувається переважно через середовища, що контактують з ґрунтом.

Слід сказати, що величини ГДК не залежать ні від параметрів екосистеми, ні від параметрів об'єкту. Для їх визначення не потрібні вимірювачі, вони є постійними і беруться з нормативної документації.

**Висновок:** датчики первинної інформації (сенсори) безпроводової сенсорної мережі повинні дозволяти вимірювати величини, що дозволяють за необхідності проводити дослідження стосовно визначення кількісних показників гранично допустимих концентрацій забруднень наземної екосистеми РТО.

5. Обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі (БСМ) на основі запиту на інфор-

мацію про параметри розподіленого техногенного об'єкту. Під час моделювання стану наземної екосистеми потрібні вихідні дані щодо параметрів РТО, особливостей наземної екосистеми, виду та інтенсивності функціонування РТО. Індивідуальні дані для кожного РТО будуть різними, але основний набір базових даних є загальним (див. табл. 2). Цей набір можливо вважати загальноприйнятим для всіх РТО. Крім того, може бути сформований специфічний набір даних, що забезпечує додаткову інформацію для системи управління станом природного середовища РТО [2–14, 29–33].

**Висновок.** Параметри РТО можуть бути як змінними (змінні плани робіт та метеорологічні дані), так і постійними (геолого-геоморфологічні характеристики). Серед змінних є такі, інформація за якими отримується з зовнішніх організацій – метеорологічні заклади, геологорозвідувальні інститути тощо. Ця інформація отримується за запитом до відповідних організацій.

6. Процедури обґрунтування загальних вимог до апаратного забезпечення процесу збору інформації про забруднення наземної екосистеми РТО.

Для того щоб заходи охорони довкілля були ефективними, інформація про забруднення повинна бути повною і достовірною. Повнота інформації визначається числом контрольованих інгредієнтів, тривалістю спостережень, просторовим розташуванням ДПП та їх мобільністю [13–29]. Достовірність інформації досягається строгим дотриманням нормативних вимог, що забезпечують одержання репрезентативних даних, однорідністю інформації, повнотою спостережень, правильністю статистичної обробки і оцінки даних спостережень забруднення екосистеми, коректністю пояснення причин відсутності чи підвищення рівня забруднення і тенденції його зміни в часі і просторі, врахуванням метеорологічних умов переносу і розсіювання забруднення у регіоні розташування РТО [13–29]. Також ступінь достовірності отриманих результатів залежить від похибок засобів виміру і використовуваного методу виміру. Максимально допустима похибка виміру параметрів забруднення залежить від того, розпізнавання яких слабких, сильних чи надзвичайно сильних (впливових) екологічно несприятливих факторів необхідно виконати.

Критерієм достатності інформаційного масиву щодо об'єктивної оцінки стану забруднення екосистеми є показник інформаційної ємності, завдяки якому можливо сформулювати вимоги до способів та засобів вимірювання та контролю [13–29].

Так, наприклад, у місцях розташування складів, баз та арсеналів, функціональних об'єктів РТО у безпосередній близькості від населених пунктів доцільна організація стаціонарних постів, в інших – можливе застосування мобільних засобів і методів дистанційного контролю [9–14, 29]. В мобільному варіанті пункти виміру можуть визначатися в кожній конкретній ситуації в процесі формування робочого маршруту пересувної лабораторії з урахуванням графіку, видів та інтенсивності випробувань, метеорологічних умов тощо. При цьому мобільна лабораторія (із безпосереднім або дистанційним керуванням оператором) повинна комплектуватися засобами, які забезпечують вимір усіх видів забруднюючих речовин, характерних для даного функціонального об'єкту РТО. Мобільна лабораторія економічно більш ефективна порівняно із стаціонарною системою датчиків. Однак покладатися лише на мобільні комплекси отримання первинної інформації було б помилково. Зазвичай для обстеження об'єктів навколишнього середовища в середньому потрібно не менш двох-трьох днів [2–14, 29–33]. У цій ситуації істотно більш раціональною є система організації спостереження типу: автоматизований пробовідбір на об'єктах контролю й аналіз у стаціонарній лабораторії за допомогою комп'ютеризованих аналітичних комплексів [2–14, 29–33]. Така методологія визнана в усьому світі як найбільш раціональна [16]. Звичайно, під час контролю вузького кола компонентів забруднення перспективні пересувні і стаціонарні пости, оснащені, наприклад, хімічними сенсорами. Виходячи з цього, аналітичний комплекс контролю забруднення повинен мати у своєму складі розвинуту, уніфіковану систему автономних і стандартизованих пробовідбірних пристроїв рідких, твердих і газоподібних середовищ. Таким чином, до апаратного забезпечення процесу збору інформації про забруднення належить задача створення комплексу пристроїв, що забезпечують, крім добору проб, їхнє транспортування, перетворення фаз і введення в аналізатор без перевантажень, тобто в тій «тарі», у якій вони були відібрані.

Для підвищення достовірності спостережень стану забруднення екосистеми РТО повинні використовуватися методи ДЗЗ побудовані на різних фізичних принципах [17–24].

Нормативними документами в сфері забезпечення єдності вимірів пред'являються жорсткі вимоги до засобів виміру, що застосовуються під час еколого-аналітичних робіт.



**Перелік параметрів розподіленого техногенного об'єкту, що підлягають обліку та сенсоризації («розумний» розподілений техногенний об'єкт): у стовпці «Тип даних» «В» означає векторні дані, «Р» – растрові, «С» – просторові, «Т» – табличні; у стовпці «Вид даних» «О» означає основні дані, «Д» – додаткові, «П» – змінні, «К» – постійні.**

Вид параметрів	Тип даних	Вид даних	Службова приналежність безпроводової сенсорної мережі		
			Розподілений техногенний об'єкт	Метеорологічна служба регіону	Геологічна служба регіону
<b>Загальні дані:</b>					
Призначення РТО	Т	О/К	+		
Історія використання РТО	Т	О/К	+		
Характеристика функціональних завдань, що виконувалися протягом часу існування РТО	Т	О/К	+		
Фізико-географічні характеристики району розташування РТО	Т	О/К			+
Загальна площа РТО	Т	О/К	+		+
Площі функціональних об'єктів	Т	О/К	+		+
Геолого-геоморфологічні характеристики території: ландшафт, рельєф, реперні точки	В	О/К			+
Аерофотозйомки	Р	О/П		+	+
Супутникові знімки	Р	Д/П		+	
Контурні лінії	В	О/К			+
Карти висот	Р	О/К	+	+	+
Території історичної цінності	В	Д/К			+
Межі (границі) охоронної зони РТО	В	О/К	+		+
Адміністративні межі	В	Д/К	+	+	+
Зони відпочинку	В/Т	Д/К	+		+
Кліматично-метеорологічні характеристики території РТО, в тому числі і небезпечні погодні явища	Т	О/П		+	
Гідрологія: ріки / струмки, озера, болота, глибина водоносного горизонту	В	О/К			+
<b>Дані щодо агресивної техногенної діяльності:</b>					
Вид функціональних об'єктів РТО	Т	О/К	+		
Кількість функціональних об'єктів РТО	Т	О/К	+		
План функціонування: вид, об'єм, інтенсивність	В	О/П	+		
Надзвичайні події на РТО	В	Д/П	+		
- дата	Т				
- тип	Т				
- короткий опис	Т				
Зони зберігання техногенно небезпечних матеріалів та відходів виробництва	В	Д/К	+		
- місткість	Т				
- умови зберігання					
Полігони на території РТО	С	О/К	+		
Обмеження щодо агресивної техногенної діяльності: зони заборони земляних робіт, обмеження за шумом, піротехнічного обмеження, обмеження щодо маскувального	В	О/П	+		
Укріплені позиції щодо запобігання впливу природних стихійних лих	В	О/К	+		
Позиції для техніки локалізації аварій	В/Т	О/К	+		
Зони впливу на природне середовище (не придатні для іншого використання)	В	О/К	+		+
Зони впливу на природне середовище (придатні для іншого використання)	В	О/К	+		+

Вид параметрів	Тип даних	Вид даних	Службова приналежність безпроводової сенсорної мережі		
			Розподілений техногенний об'єкт	Метеорологічна служба регіону	Геологічна служба регіону
Джерела питної води	В	Д/К			+
Споруди та обладнання РТО спеціалізованого призначення	Т	О/К	+		
- категорія споруд (обладнання)					
Конфігурація функціональних об'єктів		О/К	+		
- межі функціонування	С				
- зони безпеки	В				
Конфігурація допоміжних об'єктів		О/К	+		
- межі функціонування	С				
- зони безпеки	В				
Місця збору сміття	Т/С	Д/К	+		+
Межі зони проведення натурних випробувань на суходолі	В	О/К	+		
Зони проведення натурних випробувань на воді	В	О/К	+		
- обмеження	Т				
- глибина	Т				
- течія	Т				
<b>Громадські споруди:</b>					
Кар'єри	В	Д/К			+
Архітектурні плани будівель	Т	Д/К			+
Зони підтоплення	В	Д/К			+
Місця збору сміття	С	Д/К			+
Комунальні спорудження		Д/К			+
Колодязі (контрольні колодязі)	В	Д/К			+
<b>Природоохоронні дані:</b>					
Археологічні/Культурні місця	В	О/К			
Ділянки розчистки лісу	В/Т	Д/К			
Кладовища	В	О/К			
Зони ерозії	В/Т	О/П			
- спорудження контролю за ерозією					
Заповідники / Звіривництво / Зони полювання: види тварин, кількість мисливців, сезони полювання, здобич	Т	Д/К			
Розташування небезпечних речовин	В	Д/К	+		
- тип речовини	Т				
- кількість	Т				
- умови зберігання					
Вегетативний покрив	В	О/П			+
Історичний вегетативний покрив	В	Д/К			+

Насамперед засоби вимірів, що застосовуються з метою охорони екосистем, повинні мати сертифікат встановленого зразку, який діє строком не більш 5 років і після закінчення терміну його необхідно поновити [2–14, 29–33]. Інформація щодо засобів вимірів публікується в довідково-інформаційних виданнях Держстандарту або у відомчих виданнях.

Під час експлуатації засобів вимірів слід дотримуватися встановлених в технічних паспортах

засобів вимірів областей застосування – від цього залежить як довговічність роботи приладу або датчика, так і юридична обґрунтованість одержуваних за його допомогою результатів.

6.1. Процедура оптимізації комплексу технічного складника системи спостереження за станом екосистеми розподіленого техногенного об'єкту. Під технічним складником системи спостереження розуміються комплекти ДПІ, що розташовані за певною схемою і у визначений час прово-

дять вимірювання рівня забруднення екосистеми. На рис. 4 представлена структура процедури вибору, комплектування та оптимізації комплектів ДПІ для спостереження за станом екосистеми РТО. Дані 12, 13 та 14 отримуються в результаті виконання процедури визначення складу вектору забруднення наземних екосистем РТО (рис.2).

Для остаточного вибору ДПІ спостереження за станом екосистеми РТО потрібно виконати додатковий аналіз існуючого вітчизняного та зарубіжного обладнання за наступними ознаками:

1. Можливість підключення ДПІ до електронно-обчислювальної машини (чи є ДПІ цифровим);
2. Перелік речовин, що вимірюються;

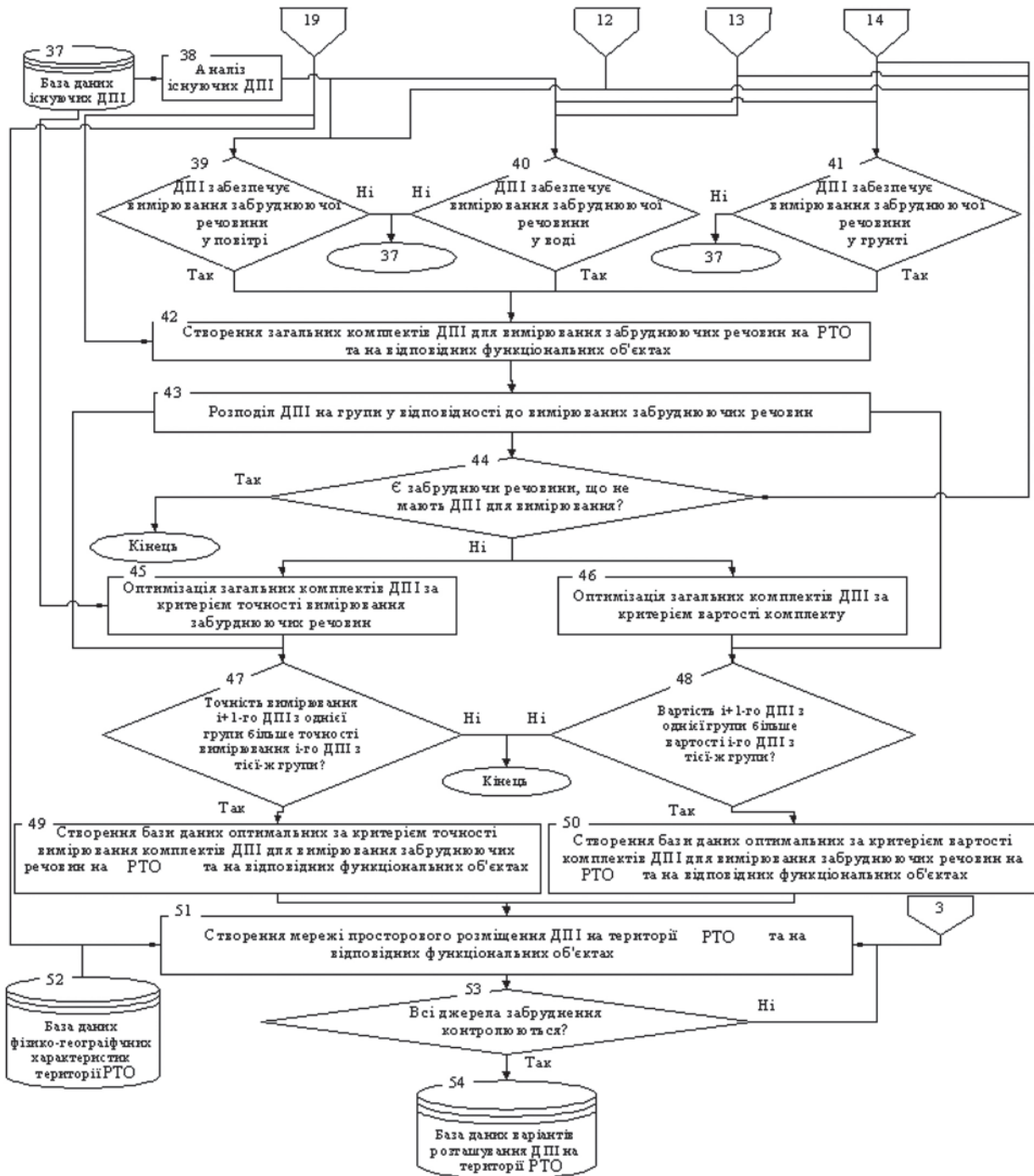


Рис. 4. Структура процедури вибору, комплектування та оптимізації комплектів датчиків первинної інформації:

12, 13, 14 – вихідні дані процедури вимірювання рівня забруднень (див. рис. 2); 19 – підключення до бази даних первинного розміщення сенсорів процедури визначення фонових забруднень (див. рис. 3)

3. Мінімальне значення величини забруднення, що виміряється;
4. Діапазон концентрацій забруднення, що виміряється;
5. Похибка вимірювання;
6. Управління ДПІ, вивід інформації;
7. Живлення;
8. Габаритні розміри та вага;
9. Мобільність;
10. Комплектуючі, що витрачаються;
11. Вартість;
12. Додаткові можливості;
13. Виробник обладнання.

6.2. Процедура визначення біотичного складника системи спостереження за станом екосистем розподілених техногенних об'єктів. Під біотичним складником системи спостереження розуміється набір біоіндикаторів, спостереження за якими надає інформацію щодо стану екосистем.

Головний принцип індикації забруднення екосистеми – взаємодоповнює діалектичне дослідження впливу та порушення. В результаті реалізації цього методологічного принципу всі індикатори поділені на дві великі групи: впливу та порушення. Індикаційний підхід застосовується у тих випадках, коли потрібно за обмежений інтервал часу отримати інформацію щодо стану середовища. Сутність індикаційного підходу полягає у визначенні стану однієї системи за станом інших систем, більш доступних для дослідження та вимірів. Системи, що досліджуються, і мають назву індикаторів [29-33].

Залежно від мети дослідження у якості індикаторів впливу та порушення широко використовуються самі природні комплекси, їх компоненти та елементи, на яких безпосередньо відображається забруднення. Для індикації використовуються також властивості компонентів і елементів: структура, розміри, хімічний склад і інше. Іноді присутність або відсутність індикатора є інформацією про процес, що вивчається. Особливий інтерес представляють індикатори, які містять багаторічну інформацію, в тому числі такі природні комплекси, як торф'яні болота, льодовики, дерева з великим абсолютним віком [29–32].

Фактори середовища досить строго визначають, які організми можуть жити в даному місці, а які не можуть. Враховуючи це, можна використати обернену закономірність і судити про фізичне середовище за організмом, який у ньому проживає [32]. Так з'явився метод біоіндикації середовища, який досить широко застосовується у країнах Європи.

*Біоіндикація* – це оцінка стану навколишнього середовища за допомогою живих об'єктів (кліток, організмів, популяцій) [32]. З її допомогою може проводитися оцінка як абіотичних факторів (температура, вологість, кислотність, солоність, зміст поллютантів тощо), так і біотичних (благополуччя організмів, їхніх популяцій і співтовариств).

На теперішній час метод біоіндикації широко використовують для оцінки забруднення екосистем, які «усувають» з природних екологічних ніш нестійкі до факторів забруднення види нижчих і вищих рослин, а також представників фауни [32].

*Біоіндикатори* – це біологічні об'єкти (від клітин та біологічних макромолекул до екосистем та біосфери), наявність, кількість або інтенсивність розвитку яких у тому чи іншому середовищі є показником певних природних процесів або умов навколишнього середовища. Їх обґрунтовують виходячи із швидкості, відповідності, надійності, простоти.

Біоіндикатори прийнято описувати за допомогою двох характеристик: специфічність і чутливість. При низькій специфічності біоіндикатор реагує на різні фактори, при високій – тільки на один.

Біоіндикація підрозділяється на фітоіндикацію та біотестування [32].

*Фітоіндикація* – використання рослин для оцінки якості середовища. Оскільки найбільший ефект дає використання рослинних співтовариств, то цей напрям одержав спеціальну назву – індикаційна геоботаніка. Фітоіндикація дозволяє проводити біоіндикацію в наземно-повітряному середовищі.

*Біотестування* – це метод інтегральної оцінки стану навколишнього природного середовища, який оснований на дії факторів середовища на організм, його окрему функцію, або систему організмів, та різницю між дослідом (середовищем, що вміщує токсиканти) та контролем (чисте середовище) за певним біологічним параметром, що вказує на повне або часткове пригнічення життєвих функцій тест-організмів. *Тест-організми* – це біоіндикатори (рослини та тварини). Для біотестування використовують одноклітинні зелені водорості (хлорела, требоуксія із лишайників), найпростіші (інфузорія-туфелька), членистоногі (рачки дафнії, артемія), мохи, квіткові (злак плевели, крес-салат).

Доцільність використання методів біоіндикації для еколого-геологічних обстежень зумовлена простотою та дешевизною визначення якості середовища, що дуже важливо на початкових етапах обстежень. Крім того, біоіндикація доцільна, коли

екологічний фактор неможливо заміряти (наприклад, відсутнє обладнання для контролювання певних забруднюючих речовин), або його можна заміряти, але важко інтерпретувати. Дані про концентрацію в навколишнім середовищі різних поллютантів (якщо їхня концентрація не поза межню висока) не містить відповіді на питання, наскільки ситуація небезпечна для живої природи. Показники гранично допустимої концентрації (ГДК) різних речовин розроблені лише для людини.

Обмеження методу біоіндикації полягає у тому, що для кожного регіону потрібно розробляти свої екогрупи організмів [32].

Останнім часом у якості індикаторів стану природного середовища використовуються птахи. Такий вибір пояснюється наступними чинниками:

- відкритий спосіб життя, що дозволяє надійно реєструвати зміни їхньої чисельності, поведінки тощо;

- широкий спектр харчування;
- чутливість до забруднення повітря, водойм;
- інформаційно ємна позиція в екосистемах.

Для оцінки індикаторів використовують такі показники, як частота їх зустрічаємості в екосистемі; контрастність розподілу в межах ландшафту, яка залежить від природних факторів; контрастність розподілу, що зумовлена техногенним фактором (градієнт впливу або порушення); природна та техногенна варіабельність властивостей індикаторів.

Очевидно, що природні індикатори, які займають значні площі, широко поширені у ландшафті, більше зручні для вивчення. Проте велике зна-

чення мають і приуроченість індикатора до певного типу екосистем, навіть при відносно малій площі поширення у ландшафті.

**Висновок:** метод біоіндикації має як переваги, так і недоліки. Доцільність використання цього методу в процесі збору інформації щодо стану екосистем визначається окремо у кожному конкретному випадку.

### Висновки.

1. В статті викладено основні положення методології обґрунтування вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту (РТО).

2. Обґрунтовано структури основних процедур визначення вимог до складу датчиків первинної інформації (сенсорів) безпроводової сенсорної мережі, що забезпечують адекватне спостереження за станом наземної екосистеми РТО завдяки вимірюванню векторів поточного та фонового забруднень за умови оптимізації комплексу сенсорів, що для цього вимірювання використовуються.

3. Для всеохоплюючого інформаційного забезпечення процедур і алгоритмів екологічного моніторингу розподілених техногенних об'єктів слід використовувати безпроводові сенсорні мережі із стаціонарними та (або) мобільними мультисенсорами, що забезпечують спостереження за біотичними та абіотичними параметрами природного середовища РТО.

### Список літератури:

1. 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. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія «Технічні науки»: зб. наук. праць*. Одеса. Видавничий дім «Гельветика» Том 32 (71) № 6 2021. С. 33–43.
2. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев, Ю.Л. Забулонов, Ю.Є. Тищенко. Київ : Наук. думка, 2014. 328 с.
3. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища / В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар. Київ : Вид-во Нац. авіац. Ун-ту «НАУ – друк», 2009. 312 с.
4. Андронов В.А., Дівізінюк М.М., Калугін В.Д., Тютюнник В.В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні : монографія. Харків : НУЦЗУ, 2016. 319 с.
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. Київ : «Наукова думка» НАН України, 2008. 542 с.
6. Биченок М.М., С.П. Іванюта, С.О. Яковлев. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. Ін-т пробл. Нац. Безпеки Ради нац. Безпеки і оборони України. Київ : 2008. 160 с.
7. Окружающая среда: Энциклопедический словарь. Справочник : Пер. с нем. Москва : Прогресс, 1993. 640 с.
8. Чумаченко С.М., Турейчук А.М., Слободяник В.А. Високоточне адаптивне оцінювання негативного впливу озброєння та військової техніки на навколишнє середовищею Збірник матеріалів нау-

ково-практичної конференції «Актуальні проблеми військової екології», 16–17 жовтня 2003 р. Київ : ННДЦ ОТ і ВБ України, 2003. С. 37–38.

9. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Москва : Гидрометеиздат, 1984. 560 с.

10. Богобожаний В.В., Курбанов К.Р., Палій П.Б., Шмандій В.М. Принципи моделювання та прогнозування в екології. Київ : Центр навчальної літератури, 2004. 216 с.

11. Экология города: Учебник. Под общей редакцией д.т.н., профессора Стольберга Ф.В. Київ : Либра, 2000. 464 с.

12. Мазур И.И. Курс инженерной экологии: Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. Москва : Высш. Шк., 2001. 510 с.: ил.

13. Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справ. пособие. Київ : Техника, 1987. 128 с.

14. Rautman C.A. and other. Probability mapping of contaminants, in Cost Efficient and Utilization of Data in the Management of Hazardous Waste Sites, Proceedings of International Speciality Conference, March 23-25, Air and Waste Management Association, Pittsburg, PA, pp. 353-361, 1994.

15. O. Lysenko, O. Tachinina. Algorithms of controlling an information robot created on the basis of unmanned aerial vehicles. Proceedings of the National Aviation University. K: NAU, 2020. № 2(83). pp. 13-19. DOI: 10.18372/2306-1472.83.14629.

16. Romaniuk V. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV / V. Romaniuk, O. Lysenko, A. Romaniuk and O. Zhuk Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, no. 1. С. 102-107. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107>.

17. Anton V. Romaniuk, Valery A. Romaniuk, Myroslav Sparavalo, Olexandr I. Lysenko, Olexandr V. Zhuk. SYNTHESIS OF DATA COLLECTION METHODS BY TELECOMMUNICATION AERIAL PLATFORMS IN WIRELESS SENSORS NETWORKS. Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, no. 2. P. 63–73. URL: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/221266>.

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

19. 13. Лисенко О.І., Романюк В.А., Гуйда О.Г., Дворська С.В., Осинський А.К. Концептуальний підхід до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 32 (71) № 1 2021. Частина 1, с. 10–16

20. Alekseeva I.V., Lysenko O.I., Tachinina O.M. NECESSARY OPTIMALITY CONDITIONS OF CONTROL OF STOCHASTIC COMPOUND DYNAMIC SYSTEM IN CASE OF FULL INFORMATION ABOUT STATE VECTOR// ISSN 1028-9763. *Математичні машини і системи*, 2020, № 4. С. 136–147.

21. Герасимов И.П. Научные основы мониторинга окружающей среды. Ленинград : Гидрометеиздат, 1987.

22. Савельева Е.А. Аналитический обзор методов анализа и оптимизация сети мониторинга *Препринт ИБРАЭ-2000-03*, Москва, ИБРАЭ, 2000, 39 р.

23. Lysenko, O.I., Tachinina, O.M., Ponomarenko, S.O., Alekseeva, I.V. Conceptual Proposals for the Creation of a Fully Reusable Light-class Aerospace System in Ukraine. IEEE 6th International Conference, «Methods and Systems of Navigation and Motion Control», Kyiv, Ukraine, October, 22-24, 2020). K.: NAU, 2020. pp. 85–88. Scopus

24. Lysenko, O.I., Tachinina, O.M., Yavisya, V.S., Alekseeva, I.V. Concept of Construction of Satellite Communication and Navigation System clear Space. IEEE 6th International Conference, “Methods and Systems of Navigation and Motion Control”, Kyiv, Ukraine, October, 22-24, 2020. Kyiv : NAU, 2020. pp. 110–113. Scopus

25. Tachinina, O., Lysenko, O., Alekseeva, I., Novikov, V.: Mathematical Modeling of Motion of Iron Bird Target Node of Security Data Management System Sensors. In: CEUR Workshop Proceedings, Vol-2711, 482-491. (2020). ISSN 1613-0073, Springer, (Scopus), <http://ceur-ws.org/Vol-2711/paper37.pdf>

26. Tachinina O., Lysenko O., Alekseeva I., Novikov V. Method for Designing Low-Orbit Clusters of Small Satellites Under Stochastic Disturbances. Lecture Notes in Networks and Systems, 2020, vol 188. P. 112–125. Springer, Scopus. Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-030-66717-7_10).

27. Lysenko Olexandr I. Feasibility reasoning of creating ultra-low orbit communication systems based on small satellites and method of their orbits designing/ Olexandr I. Lysenko, Miroslav K. Sparavalo, Olena M. Tachinina, Valerii S. Yavisya and Sergiy Ponomarenko // Information and telecommunication sciences. 2020. Vol. 11, no. 1. С. 59–70. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.59-70>.

28. Явіся В.С., Лисенко О.І., Новіков В.І., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г. Системний техніко-еколого-економічний підхід до забезпечення глобального наносупутникового зв'язку та навігації. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* Том 31 (70) № 5 2020. Частина 1, стор. 49-56.

29. Пономаренко С.О., Тачиніна О.М., Лисенко О.І., Кисельов В.Б., Гуйда О.Г. Модель національної аерокосмічної системи розгортання глобальної сенсорної мережі. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* Том 31 (70) № 6. 2020. Частина 1. с. 21–26.

30. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. Москва : Издательство А.и Б, 1997. 296 с.

31. Шимова О.С., Соколовский Н.К. Основы экологии и экономика природопользования: Учебник. Мн.: БГЭУ, 2001. 386 с.

32. Большаков В.Н., Корытин Н.С., Кряжковский Ф.В., Шишмарев В.М. Новый подход к оценке стоимости биотических компонентов экосистем. *Экология.* 1998. № 5. с. 339–348.

33. Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади. За ред. Созінова О.О., Придатко В.І. Книга 1. Київ : ЗАТ «Нічлава», 2005. 384 с.

34. Кучерявий В.П. Екологія. Львів : Світ, 2000 500 с

**Lysenko O.I., Tureychuk A.N., Guida O.G., Novikov V.I., Sushin I.O., Nidchenko I.A.**  
**METHODOLOGY OF SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS TO THE COMPOSITION OF THE SENSORS OF THE WIRELESS SENSOR NETWORK OF INFORMATION SUPPORT OF PROCEDURES AND ALGORITHMS OF THE SYSTEM OF ECOLOGICAL MONITORING OF THE DISTRIBUTED MAN-CAUSED OBJECT**

*The article is devoted to the development of a methodology for substantiating the requirements for the composition of sensors of primary information (sensors) of the wireless sensor network of information support of procedures and algorithms of the environmental monitoring system of a distributed man-made object. The analysis of components of technogenic loading of types of activity of the distributed technogenic object on its terrestrial ecosystem is carried out and requirements to qualitative structure of a set of sensors of primary information which should provide are estimated: an estimation of an actual condition of ecosystem; identification of the component of anthropogenic influence of factors of functioning of the distributed technogenic object; ecosystem status forecast; forming proposals to the decision-maker on ecosystem management and environmental safety*

*The main methodological approach to the development of requirements for a set of wireless sensor network sensors is to clarify the model of input, in relation to the algorithm or procedure, information that provides appropriate calculations in order to monitor environmental pollution of distributed man-made objects*

*The article also defines the composition of the parameters of the distributed man-made object that must be taken into account when assessing and forecasting the state of the ecosystem and developed procedures to determine the composition of wireless sensor network sensors for: measuring the vector of terrestrial ecosystem pollution. The need to monitor the biotic component of the terrestrial ecosystem of a distributed man-made object is pointed out.*

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

**Макарова Л.М.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Латанська Л.О.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Нікітін О.В.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Нікітіна О.Ю.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РОЗМІРУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КРОС-ПЛАТФОРМНОЇ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАТФОРМИ XAMARIN

У статті розглянута важливість оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin. Також розглянута актуальність застосовування цієї платформи у сфері розробки програмного забезпечення для мобільних пристроїв у час стрімкого розвитку мобільних технологій. Розглянуті останні дослідження та публікації, у яких було знайдено однофакторні та багатфакторні регресійні моделі оцінювання розміру програмного забезпечення для різних мов програмування. Оскільки моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin не було знайдено, було прийнято рішення про удосконалення такої моделі.

У статті розглянуто удосконалення однофакторної нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin за рахунок використання одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, що дозволило підвищити достовірність оцінювання розміру відповідного програмного забезпечення. Проведено порівняння отриманих результатів із нелінійною регресійною моделлю, яка побудована з використанням нормалізуючого перетворення за допомогою десятичного логарифму, та лінійною регресійною моделлю без нормалізації даних (у припущенні про нормальність розподілу). Удосконалена регресійна модель має гарні показники якості ( $R^2 = 0,940$ ,  $MMRE = 0,201$ ,  $PRED(0,25) = 0,727$ ) і може бути застосована для оцінювання розміру програмного забезпечення, що надалі можна використати в інших математичних моделях для оцінювання вартості та трудовитрат програмного забезпечення у процесі управління проектами.

Також було розроблено програмне забезпечення з використанням нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, що дозволило автоматизувати відповідні розрахунки та скоротити їх час.

**Ключові слова:** нелінійна регресійна модель, нормалізація Джонсона, розмір програмного забезпечення, мобільні застосунки, крос-платформна розробка, платформа Xamarin.

**Постановка проблеми.** Сучасне людство та мобільні технології – це поняття, які нерозривно існують в епоху широкого впровадження комп'ютерних систем у всіх сферах життя. Розробка мобільних застосунків для різних платформ стає дедалі більш актуальною для бізнесу [1] через постійне збільшення кількості користувачів мобільних пристроїв [2], більшу частину часу,

витраченого на використання пристрою, користувачі проводять у мобільних застосунках (порівняно із часом, проведеним у браузерях) [3].

При розробці мобільних застосунків, щоб охопити якомога більше користувачів, важливо, щоб проект підтримував різні мобільні платформи. Для цих цілей зручно використовувати інструменти для крос-платформної розробки, такі як



Xamarin [4]. Також постійно розвивається сама платформа Xamarin і на її основі розробляються компоненти.

Платформа та компоненти Xamarin – це великі та складні проекти, які є ресурсомісткими для розробки, тому важливо правильно оцінити робочу силу, тривалість і вартість цих проектів на початку процесу розробки.

При оцінюванні вартості програмних продуктів зазвичай використовується їх розмір. Наприклад, у таких відомих моделях, як СОСОМО, СОСОМО II, REVIC для цих цілей використовуються такі програмні метрики, як кількість рядків коду.

У свою чергу, можна використовувати метод регресійного аналізу для прогнозування розміру програмних продуктів. Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків за допомогою платформи Xamarin дозволить із високою впевненістю оцінити кількість рядків коду програмних продуктів, що входять до складу самої платформи або компонентів, розроблених на її основі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для оцінювання розміру програмного забезпечення існують різні методи та моделі, які поділяються на алгоритмічні та неалгоритмічні. До алгоритмічних відносять такі методи, як метод аналогій і метод експертних оцінок. До неалгоритмічних відносять генетичні алгоритми; нейронні мережі; регресійні методи.

Проаналізувавши останні дослідження, ми знайшли нелінійні регресійні моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення, які були побудовані для таких мов програмування, як C++, Java, Php і Visual Basic [5–7]. Також використовуються багатопараметричні моделі [8]. Оскільки моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin не було знайдено, виникає потреба у побудові регресійної моделі на основі даних, зібраних із проектів із відкритим кодом.

Таким чином, побудова нелінійної регресійної моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin є актуальною, оскільки це дозволить із достатньо високою достовірністю оцінювати об'єм відповідного програмного забезпечення.

**Постановка завдання.** Метою роботи є побудова нелінійної регресійної моделі для оціню-

вання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Регресійні моделі поділяються на лінійні та нелінійні. Лінійна регресійна модель [9] загалом має такий вигляд:

$$\hat{Y} = B_0 + B_1X + \xi, \quad (1)$$

де  $\xi$  – випадкова величина, розподілена за законом Гауса.

Параметри лінійної регресійної моделі оцінюються за методом найменших квадратів [10].

Перевірка якості – це дуже важлива частина у побудові регресійної моделі, оскільки залежно від отриманих результатів можна зробити висновки про достовірність оцінювання розміру програмного забезпечення та про те, чи можна використовувати побудовану модель взагалі.

Для перевірки якості регресійних моделей можна використовувати такі показники:

- $R^2$  – коефіцієнт детермінації, який показує, наскільки точно регресія апроксимує випадкову величину  $Y$  та приймає значення від 0 до 1 [11]. Гарним результатом вважається значення від 0,75 до 1;

- $MMRE$  – середня величина відносної похибки. Гарним результатом вважається значення, менше за 0,25;

- $PRED(0,25)$  – вказує відсоток  $MRE$  (Magnitude of Relative Errors), які мають значення " 0,25. Гарним результатом вважаються значення від 0,75 до 1.

Для порівняння регресійних моделей між собою також можна використовувати вищевказані характеристики.

Вихідні дані для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin здебільшого не підпорядковуються нормальному закону розподілу, що унеможлиблює побудову якісної моделі для оцінювання розміру відповідних проектів. Для розв'язання цієї проблеми існують способи удосконалення математичної моделі, такі як нормалізація даних.

Існують декілька способів нормалізації даних. По-перше, це нормалізація за допомогою логарифму. Використовують натуральний або десятиковий логарифм, але ці функції мають деякі обмеження, тож не завжди дані можуть бути нормалізовані цим способом. По-друге, нормалізувати дані можна, використовуючи одновимірне перетворення Джонсона [12], загальний вигляд якого є таким:

$$z = \gamma + \eta q(x, \varphi, \lambda),$$

$$\eta > 0; -\infty < \gamma < +\infty; \lambda > 0; -\infty < \varphi < +\infty, \quad (2)$$

де  $q$  – функція перетворення;  $\varphi, \gamma, \lambda, \eta$  – параметри перетворення Джонсона.

При цьому пропонується три сім'ї функцій  $q$ :

$$1) q(x, \varphi, \lambda) = \ln \left( \frac{x - \varphi}{\lambda} \right), \quad x > \varphi (cim'я S_L);$$

$$2) q(x, \varphi, \lambda) = \ln \left( \frac{x - \varphi}{\lambda + \varphi - x} \right), \quad \varphi \leq x \leq \varphi + \lambda (cim'я S_B);$$

$$3) q(x, \varphi, \lambda) = \ln \left[ \frac{x - \varphi}{\lambda} + \sqrt{\left( \frac{x - \varphi}{\lambda} \right)^2 + 1} \right], \quad -\infty \leq x \leq +\infty (cim'я S_U).$$

Для того, щоб обрати відповідну сім'ю Джонсона, використаємо значення ексцесу й асиметрії, а також значення верхньої границі критичної області та лінії  $S_L$ , які розраховуються за формулами, наведеними у [13].

Для оцінювання параметрів розподілу Джонсона можна використати метод математичного програмування [14]:

$$\theta = \arg \min_{\theta} \left\{ A_Z^2 + (\varepsilon_Z - 3)^2 + \bar{Z}^2 + (S_Z^2 - 1)^2 \right\}, \quad (3)$$

де  $\theta$  – вектор параметрів  $(\gamma, \eta, \lambda, \varphi)$ ;

$$A_Z^2 = \frac{1}{nS_Z^3} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^3; \quad \varepsilon_Z = \frac{1}{nS_Z^4} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^4;$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i; \quad S_Z^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2;$$

$Z_i$  – значення нормалізованої випадкової величини.

Також для лінійної регресійної моделі будують довірчий інтервал за формулою:

$$I_{CI} = \hat{y}_j \pm t_{\lambda/2, n-2} * S_y * \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}}; \quad (4)$$

де  $S_y = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2}$  – корінь із вибіркової дисперсії;  $t_{\lambda/2, n-2}$  – квантіль розподілу Стюдента;  $n$  – кількість значень у вибірці.

Аналогічно знаходять інтервал передбачення, використовуючи формулу:

$$I_{PI} = \hat{y} \pm t_{\lambda/2, n-2} * S_y * \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2}}; \quad (5)$$

Для даних, нормалізованих за допомогою використання одновимірного перетворення Джонсона, перехід від нормалізованих даних до вихідних здійснюється за допомогою зворотного перетворення Джонсона, а для даних, нормалізованих за допомогою логарифму, такий перехід здійснюється за допомогою обернених до логарифмів функцій.

Також для побудови регресійної моделі дуже важливо, щоб всі дані були однорідними та не містили аномальних значень, тож для пошуку

викидів (аномальних значень) скористаємося квадратом відстані Махаланобіса [15] за формулою:

$$M_D^2 = (X_i - \mu)^T \Sigma^{-1} (X_i - \mu), \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

де  $\Sigma^{-1}$  – зворотна матриця коваріації;  $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$  – середній вектор вибірки  $X$ .

Для побудови нелінійної регресійної моделі були знайдені дані на інтернет-ресурсі GitHub [16], де за допомогою пошукового інтерфейсу сайту були обрані проекти з відкритим вихідним кодом, що є частиною платформи Xamagin, а також проекти, які є компонентами, розробленими на основі цього фреймворку. Було відібрано 36 відносно великих проектів (від 1 000 рядків коду). За допомогою аналізатора коду в інтегрованому середовищі розробки Visual Studio для кожного проекту були розраховані такі метрики: NC (загальна кількість класів) і KLOC (кількість тисяч рядків коду програми). Метрика NC була обрана як незалежна змінна  $X$ , метрика KLOC – як залежна змінна  $Y$ . Для кожної вибірки розглядалися такі характеристики: кількість значень  $n$ ; вибіркоче середнє  $\hat{m}$ ; середньоквадратичне відхилення  $\hat{\sigma}$ ; асиметрія  $\hat{A}$ ; ексцес  $\hat{\varepsilon}$ .

Характеристики вихідних даних:  $n = 36$ ;

$$n = 36; \hat{m}_X = 94,694; \hat{\sigma}_X = 12196,047; \hat{A}_X = 1,296;$$

$$\hat{\varepsilon}_X = 4,024; \hat{m}_Y = 8,548; \hat{\sigma}_Y = 124,33; \hat{A}_Y = 1,788; \hat{\varepsilon}_Y = 6,376.$$

Зібрані дані були перевірені на відповідність закону Гауса. Для перевірки був використаний критерій Пірсона (критерій  $\chi^2$ ) [17].

Критичне значення критерію Пірсона дорівнює 5,99, а розраховане значення для  $X$  дорівнює 31,496, що є більшим за критичне значення. Також більшим за критичне значення є розраховане значення критерію Пірсона для  $Y$ , яке дорівнює 27,432.

Виходячи з гістограм і значень критерію Пірсона, бачимо, що зібрані дані не підпорядковуються закону Гауса.

Наступним кроком був проведений пошук викидів за допомогою квадрату відстані Махаланобіса (6) із критичним значенням  $\chi_{0,005,2}^2 = 10,60$ . Після пошуку та видалення викидів у наборі даних залишилося 33 пари значень.

Для побудови двох нелінійних регресійних моделей і їх порівняння було використано два види нормалізації даних. Перший – із використанням одновимірного нормалізуючого перетворення Джонсона, а другий – із використанням десятичного логарифму.

Значення ексцесу для даних після видалення викидів ( $\hat{\varepsilon}_X = 4,024$ ;  $\hat{\varepsilon}_Y = 6,376$ ) лежать у межах між значеннями критичної області (2,588 та 4,130 від-

повідно) та функції  $S_L$  (5,957 і 9,042 відповідно), що вказує на необхідність вибору сім'ї розподілу  $S_B$  Джонсона.

Значення параметрів нормалізуючого перетворення сім'ї розподілу  $S_B$  Джонсона були знайдені, вирішуючи задачу математичного програмування (3):  $\eta_X = 0,63$ ;  $\gamma_X = 1,43$ ;  $\phi_X = 1,89$ ;  $\lambda_X = 585,03$ ;  $\eta_Y = 0,44$ ;  $\gamma_Y = 1,34$ ;  $\phi_Y = 1,10$ ;  $\lambda_Y = 54,12$ .

Характеристики даних, нормалізованих за допомогою нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона:

$$n = 33; \hat{m}_X = 0,00; \hat{\sigma}_X = 1,00; \hat{A}_X = 0,03; \hat{\varepsilon}_X = 3,01;$$

$$\hat{m}_Y = 0,00; \hat{\sigma}_Y = 1,00; \hat{A}_Y = -0,01; \hat{\varepsilon}_Y = 3,03.$$

Порівнявши критичне значення критерію Пірсона (5,99) з розрахованим для вибірки  $Z_X$ , яке дорівнює 4,27 і вибірки  $Z_Y$ , яке дорівнює 2,42, можна побачити, що розраховані значення є меншими за критичне, тож можемо стверджувати, що ці дані розподілені за законом Гауса.

Характеристики даних, нормалізованих із використанням десяткового логарифму:

$$n = 33; \hat{m}_X = 1,72; \hat{\sigma}_X = 0,29; \hat{A}_X = 0,01; \hat{\varepsilon}_X = 2,49;$$

$$\hat{m}_Y = 0,66; \hat{\sigma}_Y = 0,27; \hat{A}_Y = 0,50; \hat{\varepsilon}_Y = 2,08.$$

Для даних, нормалізованих із використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, та даних, нормалізованих із використанням десяткового логарифму, було побудовано відповідні лінійні регресійні моделі, значення коефіцієнтів рівнянь регресії були знайдені, використовуючи метод найменших квадратів.

Характеристики залишків  $\xi$  лінійної регресійної моделі, побудованої з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона:  $n = 33$ ,  $\hat{m}_Y = 0,000$ ,  $\hat{\sigma}_Y = 0,067$ ,  $\hat{A}_Y = 0,242$ ,  $\hat{\varepsilon}_Y = 2,518$ ; розраховане значення критерію Пірсона дорівнює 4,89.

Характеристики залишків  $\xi$  лінійної регресійної моделі, побудованої з використанням десяткового логарифму як нормалізуючого перетворення:  $n = 33$ ,  $\hat{m}_Y = 0,000$ ,  $\hat{\sigma}_Y = 0,027$ ,  $\hat{A}_Y = -0,512$ ,  $\hat{\varepsilon}_Y = 5,550$ ; розраховане значення критерію Пірсона дорівнює 2,40.

Порівнявши розраховані значення критерію Пірсона для залишків із критичним значенням, яке дорівнює 5,99, бачимо, що розраховані значення є меншими за критичне. Отже, це свідчить про те, що залишки обох регресійних моделей підпорядковуються закону Гауса.

Для цих регресійних моделей були побудовані довірчий інтервал та інтервал передбачення за формулами (4) і (5) відповідно, з використан-

ням квантілю  $t$ -розподілу Стьюдента, рівнем значущості  $\alpha/2$  та ступенями вільності  $N-2$  ( $\alpha=0,05$ ,  $N=31$ ), який дорівнює 2,04.

Для переходу від лінійної регресійної моделі, побудованої з використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, до нелінійної регресійної моделі, було використано зворотнє перетворення Джонсона сім'ї  $S_B$ , яке має вигляд [18]:

$$X = \phi + \lambda \frac{e^k}{1 + e^k}, \quad (7)$$

де  $k = \frac{z - \gamma}{\eta}$ ;  $z$  – нормалізоване значення;  $(\lambda, \phi, \gamma, \eta)$  – параметри нормалізації.

Нелінійна регресійна модель для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, побудована із застосуванням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, має вигляд:

$$Y = \frac{55,2218e^K + 1,0989}{1 + e^K}, \quad (8)$$

$$\text{де } K = \frac{0,0367 + 0,6061 \cdot \ln\left(\frac{x - 1,89}{586,92 - x}\right) + \varepsilon}{0,44}.$$

Також для порівняння була побудована лінійна регресійна модель без нормалізації даних. Характеристики якості побудованих моделей представлені у табл. 1.

Таблиця 1

**Характеристики якості побудованих регресійних моделей**

Характеристики	Модель		
	Нелінійна ( $S_B$ Джонсона)	Нелінійна (десятковий логарифм)	Лінійна
$R^2$	0,940	0,853	0,933
$MMRE$	0,201	0,285	0,372
$PRED(0,25)$	0,727	0,606	0,394

Проаналізувавши табл. 1, бачимо, що нелінійна регресійна модель, побудована з використанням нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, має кращі значення характеристик  $R^2$ ,  $MMRE$  та  $PRED(0,25)$ , ніж нелінійна регресійна модель, побудована з використанням нормалізуючого перетворення десятковим логарифмом, а також ніж лінійна регресійна модель без нормалізації даних. Тож, виходячи зі сказаного раніше, можемо стверджувати, що побудована нелінійна регресійна модель із використанням нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона є кращою для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних засто-

сунків із використанням платформи Xamarin. Для нелінійних регресійних моделей і лінійної регресійної моделі без нормалізації даних були побудовані довірчий інтервал та інтервал передбачення.

На рис. 1 представлено нелінійне рівняння регресії для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, побудоване із застосуванням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, його довірчий інтервал та інтервал передбачення.

На рис. 2 представлено нелінійне рівняння регресії для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin, яке побудовано із застосуванням десяткового логарифму як нормалізуючого перетворення, його довірчий інтервал та інтервал передбачення.

На рис. 3 представлено лінійне рівняння регресії без нормалізації даних, довірчий інтервал та інтервал передбачення.

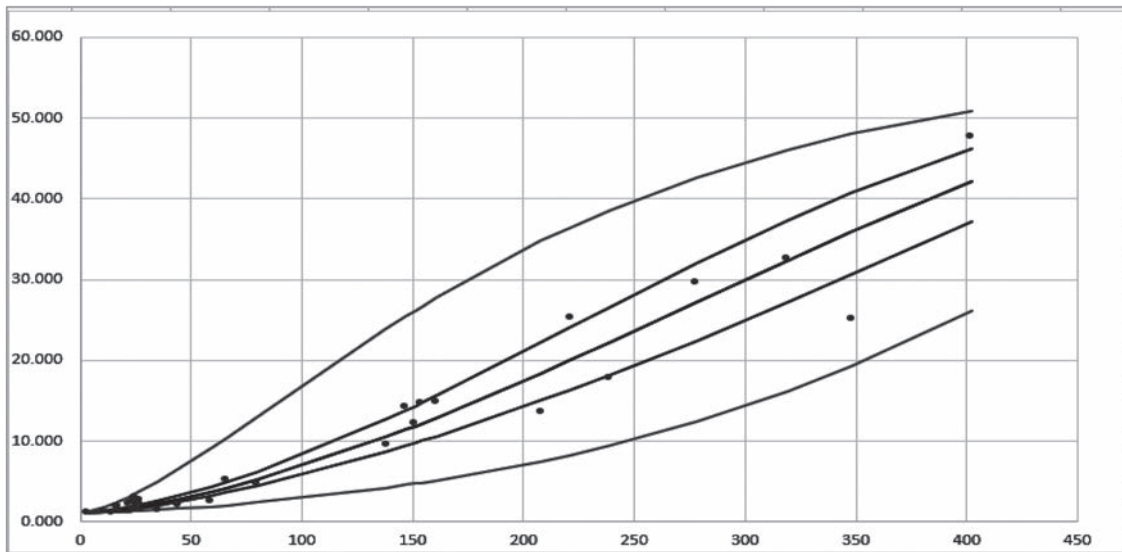


Рис. 1. Нелінійне рівняння регресії, довірчий інтервал та інтервал передбачення, побудовані з використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона

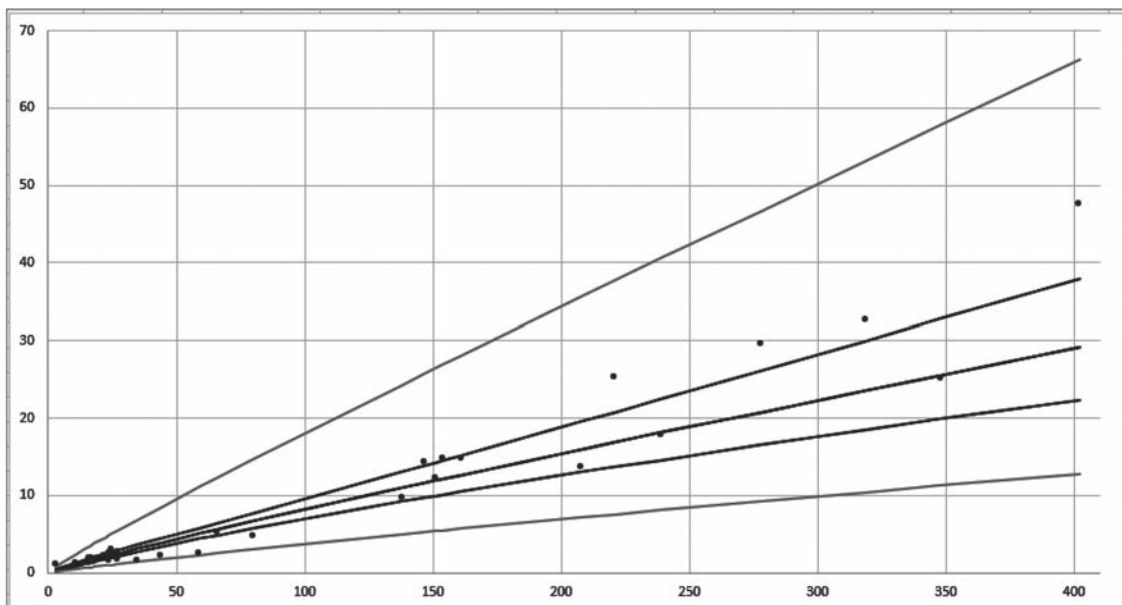


Рис. 2. Нелінійне рівняння регресії, побудоване із застосуванням десяткового логарифму як нормалізуючого перетворення, довірчий інтервал та інтервал передбачення

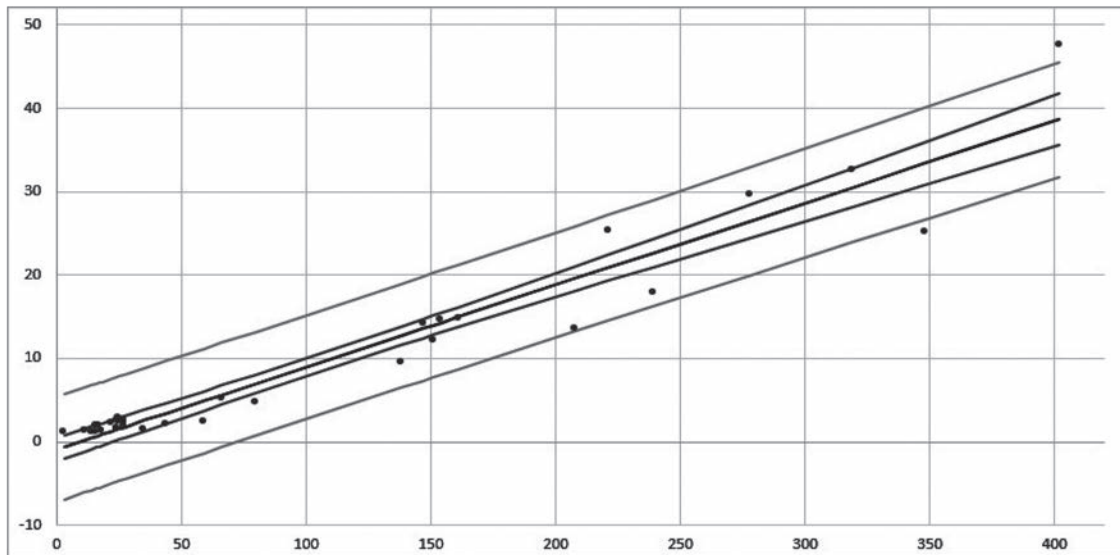


Рис. 3. Лінійне рівняння регресії для вихідних даних, інтервал передбачення та довірчий інтервал

**Висновки.** Були побудовані такі математичні моделі для оцінювання розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin:

- нелінійна регресійна модель із застосуванням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона, яка має прийнятні значення характеристик якості ( $R^2 = 0,940$ ,  $MMRE = 0,201$ ,  $PRED(0,25) = 0,727$ );
- нелінійна регресійна модель, побудована із застосуванням десяткового логарифму

як нормалізуючого перетворення ( $R^2 = 0,853$ ,  $MMRE = 0,285$ ,  $PRED(0,25) = 0,606$ );

- лінійна регресійна модель без нормалізації даних ( $R^2 = 0,933$ ,  $MMRE = 0,372$ ,  $PRED(0,25) = 0,394$ ).

Для прогнозування розміру програмного забезпечення для крос-платформної розробки мобільних застосунків із використанням платформи Xamarin була обрана нелінійна регресійна модель, побудована з використанням одновимірного нормалізуючого перетворення сім'ї  $S_B$  Джонсона.

#### Список літератури:

1. Worldwide mobile app revenue forecast. URL: <https://www.statista.com/statistics/269025/worldwide-mobile-app-revenue-forecast/> (дата звернення 10.12.2021).
2. Forecast of mobile phone users worldwide. URL: <https://www.statista.com/statistics/274774/forecast-of-mobile-phone-users-worldwide/> (дата звернення 10.12.2021).
3. The majority of americans mobile time spent takes place in apps. URL: <https://www.emarketer.com/content/the-majority-of-americans-mobile-time-spent-takes-place-in-apps> (дата звернення 10.12.2021).
4. Xamarin. URL: <https://dotnet.microsoft.com/apps/xamarin> (дата звернення 10.12.2021).
5. Kaczmarek J., Kucharski M. Size and effort estimation for applications written in Java. *Information and Software Technology*. 2004. № 46 (9). P. 589–601. DOI: 10.1016/j.infsof.2003.11.001
6. Tan H.B.K., Zhao Y., Zhang, H. Estimating LOC for information systems from their conceptual data models. *Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering (ICSE '06)*. (Shanghai, China, May 20–28, 2006).
7. Kiewkanya M., Surak S. Constructing C++ software size estimation model from class diagram. *Computer Science and Software Engineering: 13th International Joint Conference*. (Khon Kaen, Thailand, July 13–15, 2016). DOI: 10.1109/JCSSE.2016.7748880
8. Makarova L.M., Andreeva A.S. Information technology for size estimation of web-applications implemented in Java. *Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв : НУК, 2018. С. 405.
9. Seltman H.J. *Experimental design and analysis*. 2018.
10. Троян В.Н., Киселев Ю.В. *Анализ и обработка данных*. Петербург, 2010. 580 с.
11. Магнус Я.Р. *Эконометрика. Начальный курс* : учебник. Москва : Дело, 2004. 576 с.

12. Приходько С.Б., Макарова Л.М., Пугаченко К.С. Методичні вказівки та завдання до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Обробка експериментальних даних на комп'ютері». Миколаїв : НУК, 2018. 76 с.
13. Приходько С.Б., Макарова Л.Н., Приходько А.С. Аналитическая зависимость для выбора семейства распределений Джонсона. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 2 (020). С. 105–110.
14. Приходько С.Б. Оценка параметров нелинейных стохастических дифференциальных уравнений на основе нормализующих преобразований. *Вісник Харк. нац. ун-ту. Серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2012. № 1015. С. 276–282.
15. Prykhodko S., Prykhodko N., Makarova L., Pugachenko K. Multivariate outlier detection technique based on normalizing transformations for non-Gaussian data. «*Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання*»: матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції. (м. Івано-Франківськ, 15–20 травня 2017 р.). Івано-Франківськ, 2017. С. 170–174.
16. GitHub. URL: <https://github.com/> (дата звернення: 16.06.2021).
17. Кендалл М., Стюарт А. Статистические методы и связи : учебник / под ред. А.Н. Колмогорова. Москва : Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1973. 899 с.
18. Johnson N.L. System of Frequency Curves Generated by Methods of Translation. *Biometrika*, 1949. P. 149–176.

**Makarova L.M., Latanska L.O., Nikitin O.V., Nikitina O.Yu. MATHEMATICAL MODELS FOR SOFTWARE SIZE ESTIMATION FOR CROSS-PLATFORM DEVELOPMENT OF MOBILE APPLICATIONS USING XAMARIN PLATFORM**

*The article discusses the importance of software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform. The relevance of using this platform in the field of software development for mobile devices in our time of the rapid development of mobile technologies is also considered. Recent studies and publications in which univariate and multivariate regression models for software size estimation for different programming languages have been found. And since a model for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform has not been found, it was decided to improve the model.*

*The article discusses the improvement of the univariate nonlinear regression models for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform using univariate Johnson transformation for  $S_B$  family, which made it possible to increase the reliability of the size estimation of the relevant software. The obtained results were compared with a non-linear regression model constructed using a normalizing transformation using the decimal logarithm and a linear regression model without data normalization (assuming the normality of the distribution). The improved regression model has superior quality indicators ( $R^2 = 0,940$ ,  $MMRE = 0,201$ ,  $PRED(0,25) = 0,727$ ) and can be used to software size estimation, the result of which can be used in other mathematical models to estimate the cost and labor costs of software in the project management process.*

*The software, constructing a non-linear regression model for software size estimation for cross-platform development of mobile applications using Xamarin platform, has also been developed, which allowed to automate the relevant calculations and reduce their time.*

**Key words:** *nonlinear regression model, Johnson normalization, software size, mobile applications, cross-platform development, Xamarin platform.*

UDC 621.3.049

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/24>**Nevliudov I.Sh.**

Kharkiv National University of Radioelectronics

**Yevsieiev V.V.**

Kharkiv National University of Radioelectronics

**Demska N.P.**

Kharkiv National University of Radioelectronics

**Valkivskyi Yu.I.**

Kharkiv National University of Radioelectronics

## DEVELOPMENT OF A 3D MODEL OF A MANIPULATOR FOR MOBILE ROBOTIC PLATFORMS BASED ON UNIGRAPHICS NX

*The article discusses the issues of modernization of the mobile robot Festo Robotino, due to the integration of the MR-999E manipulator system into it. This solution will significantly expand the functionality of the mobile robot Festo Robotino and will allow for new research related to the development of new methods and models for making decisions on moving objects. Based on the study, it was revealed that the existing MR-999E manipulator system has a number of disadvantages, one of which is the insufficient compression force of the gripper to move the test objects, which does not allow it to be widely implemented as a mobile manipulation platform. To eliminate these shortcomings, the authors carried out research, on the basis of which a kinematic diagram of the gripping module was developed. To check the correctness of the decisions made and the obtained calculations in the CAD Unigraphics NX system, 3D models of all the main elements of the mobile manipulator were developed, the dimensions of the teeth with an involute profile were calculated, which made it possible to increase the positioning accuracy of the links in space to solve the problem of spatial assembly of structures with the required accuracy. Based on the developed 3D models, the authors have designed a detailed 3D model of the manipulator assembly, in the CAD Unigraphics NX system, as well as using numerical engineering analysis, based on the finite element method, calculations were carried out to determine the required gripping force of the improved gripping mechanism. The developed 3D models are made using additive 3D printing technologies. This made it possible to manufacture a prototype of the gripping mechanism and experimentally confirm the possibility of integrating it with the Festo Robotino mobile robot in order to expand its functionality.*

**Key words:** mobile robots, Festo Robotino, mobile manipulators, 3D models, modeling.

**Formulation of the problem.** Modern mobile robots are widely used in solving various problems in all spheres of human activity. However, at the present stage of development, in connection with the intensive development of high-precision production, the complexity of automatic manipulations of the robot also increases, which now exceeds the complexity of the implementation of its mobility not only in solving production and research problems, but also in critical technologies, which requires the improvement of the manipulation functions of robotic systems. Such systems, with advanced manipulation capabilities, can be used for mine clearance, movement or disposal (detonation) of ammunition, in the conditions of man-made inventories, in areas dangerous to human life, as well as for scientific purposes to study the use of artificial intelligence.

The object of the study is one of the representatives of mobile robotic platforms – Robotino, developed by one of the leaders of modern robotics, Festo Didactic. This robot has high maneuverability due to the use of three roller wheels of the “omni wheel” type, an odometry subsystem, an array of infrared sensors, a wireless communication subsystem, a control system using a single-board industrial computer of the PC / 104 + format, which makes it possible to implement intelligent control systems with using computer vision systems.

Expanding the functionality of Festo Robotino, using a lightweight manipulation complex based on the MR-999E, will increase the range of applications, significantly improve it and make it possible to conduct research in the field of artificial intelligence and decision-making systems, is a topical research.

**Analysis of recent studies and publications.**

Robotic systems have found wide application in all spheres of human activity, from the simplest household ones to the use in cyber-physical production systems within the framework of the Industry 4.0 concept. [1–3]. D. Drozdov presents a practical example based on the Festo EnAS platform, supplemented by a mobile logistics robot and a camera for automated visual product control [4]. However, it is worth noting that the mobile robot used has only a computer vision system, while it cannot perform manipulative actions when a product defect is found to be detected. In his work, Květoslav Belda shows the application of the mobile robot Robotino from Festo as a solution for batch processing of handling operations over long distances, in contrast to conventional conveyor belts using group control, within the framework of the concept of autonomous automatic cyber-physical factories [5]. At the same time, the author does not describe the structural and functional structure of the loading implementation based on Robotino. In the works of V. Pachouri, P.M. Pathak the workspace of the multi-section bionic manipulator Robotino-XT is presented [6]. The authors pay attention to the development of various strategies to compensate for the loss of working space in the event of a single bellows failure, resulting in a possible pressure leak. Unfortunately, the use of the bionic robot arm Robotino-XT is not possible with the Festo Robotino. Ruqayah R. Al-Dahhan simulated a Festo Robotino in the Robotino®.Matlab system, using the capability of a fuzzy logic controller (FLC), to implement a safe Robotino® target search without any human intervention [7]. Real-time experiments have shown that using three infrared sensors and one ultrasonic sensor, Robotino® can detect and avoid any obstacles that might be found along its route. This gave the authors a reason to assert that the Festo Robotino mobile robot can perform complex route building in a dynamic environment and its modernization using a manipulation system will not only expand its functionality, but also allow it to be implemented as a mobile manipulation platform.

**Setting objectives.** The aim of this work is to develop and improve the 3D model of the MR-999E manipulator system for its integration with Festo Robotino. To achieve the goal, it is necessary to ensure the solution of the following tasks: develop a kinematic diagram of the gripping mechanism; make calculations of the required gripping force to increase the gripping force; determine the parameters and calculate the construction of a gear wheel using an involute profile; develop 3D models of structural elements to create a detailed 3D model of the assembly of a mobile robotic arm; simulate the gripping force based on the finite element method.

The practical value of these studies lies in the improvement of a mobile manipulator with a gripper to integrate it with the Festo Robotino mobile platform. This will allow Festo Robotino to be improved by expanding its functionality for research and development.

**Presentation of the main material of the study.**

When developing multi-purpose mobile robots with advanced manipulation capabilities, great attention is paid to gripping mechanisms (GM). Interchangeable gripper designs are classically used for objects of various shapes. The choice of kinematics and structural features of the ZM is determined by the shape and mass of the object. The grab must hold the selected object and at the same time not damage it.

To carry out research on the modernization of the Festo Robotino mobile robot by integrating a manipulator into its design, the following restrictions must be taken into account [8]: the manipulator must have a minimum weight and have a modular design with the ability to be quickly installed and removed. Therefore, this will impose restrictions on the weight of the object that can be moved. Based on the fact that Festo Robotino was developed for laboratory research, colored cubes were chosen to implement the task in the form of a test object, which will allow in the future during experiments to use a computer vision system (CV) to identify and recognize the color of the object. Based on this, the following kinematic diagram of a tick-borne ZM with a rack and pinion transmission mechanism was developed, consisting of the following elements: two jaws; a gear wheel rigidly connected with the fingers and turning with a gear rack; electric motor gear. Figure 1 shows the kinematic diagram of the developed universal gripper designed to grip various objects weighing no more than 0.2 kg, which will be the basis for creating a 3-dimensional model.

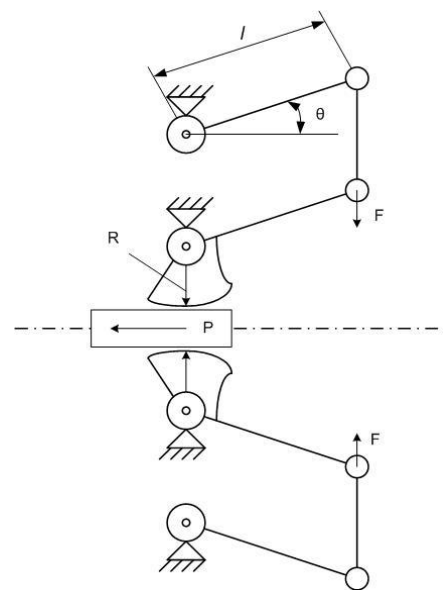


Figure 1. Kinematic diagram of the ZM



The ZM works as follows: when the electric drive gear rotates, a toothed rack is set in motion, turning the gear wheels, this causes the jaws to converge, as a result of which the object is captured. When the gears are turned backwards, the jaws are unclenched and the object is released.

When designing the most versatile ZM robots, it is necessary to take into account the specific type of part and group of parts, their shape and forces arising in the ZM. An important criterion in this case is the accuracy of holding the part and the permissible force on the jaws. Based on this, a large number of different grips have been developed, which differ in kinematic diagram and other design parameters. The ZM force must correspond to one of the values of the Ra10 series within the range of 1 – 8000 N [9]. The gripper must provide a wide range of movement. We take the developed kinematic diagram (Fig. 1) as the basis for the development of the ZM and the subsequent calculation of the acting forces.

Based on the kinematic model and the existing ZM, modification will be made by increasing the gripping force. At this stage, the calculation of the required gripping force was made using the example of a clamp-type gripper, using the method of analysis of the acting forces, for a part weighing 0.2 kg with two types of movements.

With vertical linear movement:

$$F = G \frac{K}{\mu} \left( 1 + \frac{a_B}{g} \right), \quad (1)$$

where  $\mu$  – friction coefficient;  $a_B$  – acceleration of vertical movement;  $K$  – safety factor ( $K = 1,5 - 2,0$ );  $g$  – acceleration of gravity.

$$F = 0,2 \frac{1,5}{0,13} \left( \frac{0,6}{9,8} \right) = 2,438H .$$

With horizontal linear movement

$$F = G \left( \frac{K}{\mu} + \frac{a_r}{g} \operatorname{tga} \right), \quad (2)$$

where  $a_r$  – acceleration of horizontal movement;  $a$  – jaw angle;

$$F = 0,2 \left( \frac{1,5}{0,13} + \frac{0,47}{9,8} \right) = 2,3H .$$

Let us calculate the force that the power drive must develop to securely fix a part weighing 0.2 kg, according to the developed kinematic diagram (Fig. 1).

Calculation of the drive force  $P$  is made from the ratio between the required holding force  $F$  (the highest value is taken), the length of the levers  $l$ , the angle of their movement  $\theta$  and the radius of the gear train  $R$ . The calculation of the drive force is made according to the formula:

$$P = F2l \cos \theta / R . \quad (3)$$

Substituting the value, we get:

$$P = 4,8H .$$

To modify the ZM in order to increase the gripping force and the possibility of holding and moving a part weighing 0.2 kg, it is necessary to install an electric drive developing a force equal to 4.8 N. The results obtained make it possible to choose an electric motor and a gearbox.

The next step will be the development of a 3D model of the parts of the mobile manipulator with the selected ZM. To solve this problem, the CAD Unigraphics NX solid modeling environment was chosen [10], which allows obtaining 3D models of parts and carrying out a detailed assembly of the improved manipulator. Parts are constructed using standard rotation and indentation / extrusion methods. One of the difficult elements is the design of a gear for 3D printing and chemical surface treatment to obtain accurate tooth parameters. Since the construction of a gear is an accurate process, therefore, all construction will be based on the values calculated by the handler. Construction in CAD Unigraphics NX will be broken down into the following stages: creation of the main control variables and dependencies; construction of the main diameters of the gearwheel, limiting the gearwheel; construction of the tooth profile as a curve according to the law in accordance with the parametric shape of the involute given below; deposition of the width of the tooth and the construction of its axis of symmetry; reflection of the involute relative to the constructed axis of tooth symmetry; the construction of all  $z$  teeth of the cogwheel.

The dimensions of the teeth with an involute profile determine the parameters characterizing the position of any point of the involute [11]. An involute is a sweep of the base circle in the form of the trajectory of a point on a straight line rolling without sliding along this circle.

The initial data for the calculation of both the involute and the gear wheel are the following parameters:  $m$  – modulus is the part of the pitch circle diameter per tooth, modulus is a standard value and is determined from reference books,  $z$  – number of teeth of the wheel,  $\alpha$  – the profile angle of the original contour. The angle is a standard value and equal to  $20^\circ$  [11], as well as the diameter of the pitch circle  $d$ , root diameter concavity  $df$  and the circle diameter of the vertices  $da$ .

For a parametrically given curve, the involute equation has the form:

$$x = (d_{main} / 2)(\cos(t) + t \sin(t)), \quad (4)$$

$$y = (d_{main} / 2)(\sin(t) - t \cos(t)), \quad (5)$$

where  $t$  – the angle of the evolute;  $d_{main}$  – the diameter of the base circle (evolute).

The calculation of all parameters of the gearwheel will be carried out according to the formulas below:

Pitch circle diameter:

$$d = m \cdot z, \tag{6}$$

where  $m$  – tooth module;  
 $z$  – number of teeth.

Diameter of the circle of the vertices:

$$da = d + 2 \cdot m, \tag{7}$$

where  $d$  – pitch circle diameter;  
 $m$  – tooth module.

Root diameter concavity:

$$df = d - 2.5 \cdot m, \tag{8}$$

where  $d$  – pitch circle diameter;  
 $m$  – tooth module;

Base circle diameter:

$$d_{main} = d \cdot \cos(20), \tag{9}$$

where  $d$  – pitch circle diameter.

Based on the calculations, taking into account the printing error on a 3D printer, to determine the parametric dependencies of the gear wheel, we will use the following parameters in the CAD Unigraphics NX editor, presented in Table 1.

Based on the selected parameters (Table 1), we will construct the base circles  $d_{main}$ ,  $d$ ,  $da$ ,  $df$  of gear wheel, which is shown in Figure 2.

Completion of the sketch and the transition to the creation of the involute is performed by the command “Insert-Curves-Curve by Law”. A given expression is selected as a function of the law.

Then the variables  $(t, xt, yt, zt)$  are specified, on the basis of which the construction of the involute curve is carried out (Fig. 3).

According to the values of the parameter  $t = 0, \dots, 1$  Unigraphics NX creates a curve according to the law in space. Because the parameter  $zt = 0$ , our curve is located on the plane.

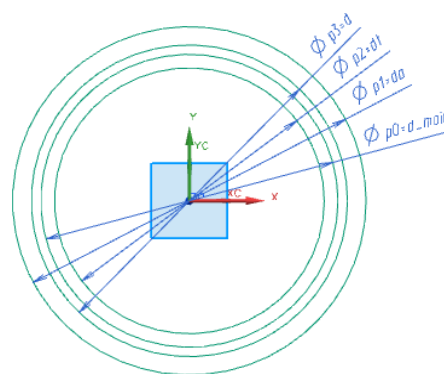


Figure 2. Circles of construction of a gear wheel

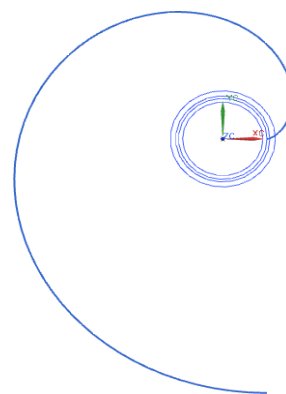


Figure 3. Involute in the construction plane

The construction of the tooth along the created line, which limits the concavity and tops of the tooth, is its lateral surface.

Tooth thickness is calculated by the formula:

$$s = m \cdot \pi / 2 \tag{10}$$

where  $m$  – tooth module.

The length of the created arc  $s$  is equal to the thickness of the tooth, relative to which the line of symmetry of the tooth is built, is defined as a segment between the center of the circle and the middle of the arc, which is the basis for the mirror construction of the involute (Fig. 4).

Table 1

Parameter table for constructing a cogwheel

Name	Formula	Value	Unit
alpha	20	20	градусы
$d$	$m \cdot z$	45	mm
$d_{main}$	$d \cdot \cos(\alpha)$	42,286	mm
$da$	$d + 2 \cdot m$	47	mm
$df$	$d - 2.5 \cdot m$	42,5	mm
$m$	1	1	
$s$	$m \cdot \pi / 2$	1,570796327	mm
$t$	0	0	mm
$xt$	$(d_{main} / 2)(\cos(t) + t \sin(t))$	21,143083	
$yt$	$(d_{main} / 2)(\sin(t) - t \cos(t))$	0	
$z$	45	45	

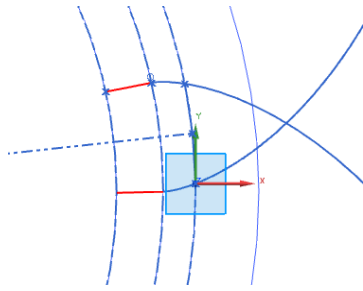


Figure 4. Construction of an involute side profile of a gear

The creation of a 3D model is based on the drawing of the contour of the gear (Fig. 5). Since the gear contour has self-intersections, the gear and tooth bodies are modeled separately from each other.

The construction of the tooth according to the given curves is shown in fig. 6. When selecting a curve, the system offers a selection of segments between the intersection points. As soon as the contour closes – NX offers to extrude a rigid body.

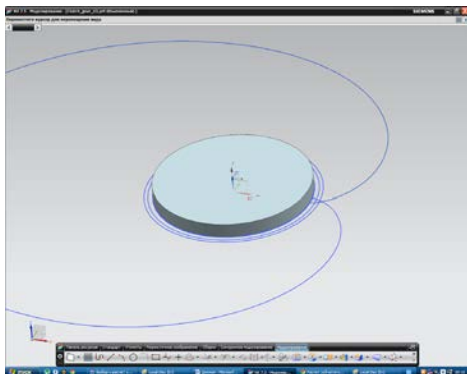


Figure 5. Development of a 3D model of the gear base

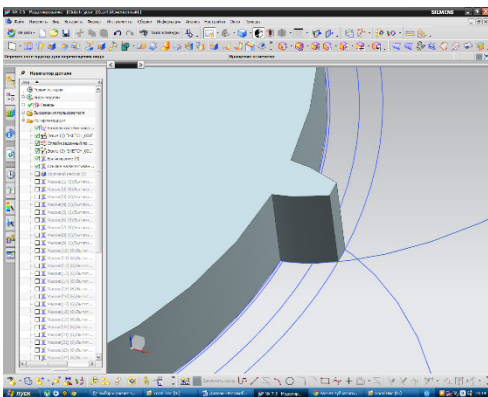
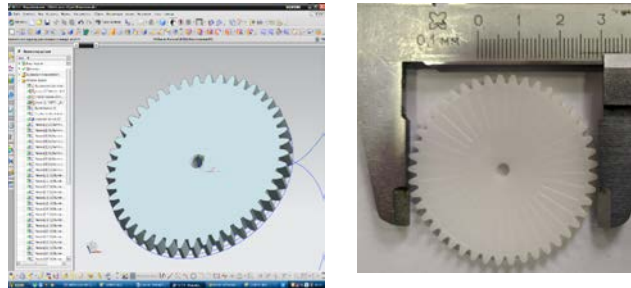


Figure 6. Construction of a gear tooth

For building  $z$  gear teeth, we will use the command “Insert-Associative Copy-Array Element”. As a base element for a circular array, select the construction element that corresponds to the constructed tooth. As the number of teeth, we indicate the variable  $z$  – the number of teeth of the gear, and as the angle between the elements –  $360 / z$ .

A way to set the center of the circular array and the axis relative to which the elements are rotated is specified. Following the prompts, as a result, we get a 3D model of the gear (Fig. 7, a). In fig. 7b, the same wheel was obtained using 3D printing.



a) b)  
Figure 7. 3D model of the gear and printed model on a 3D printer

There are many methods, approaches and sequences for modeling parts and assemblies, which the designer chooses at his own discretion. The basis for the construction of each element is a drawing, according to which 3D modeling of the element was performed (Fig. 8).

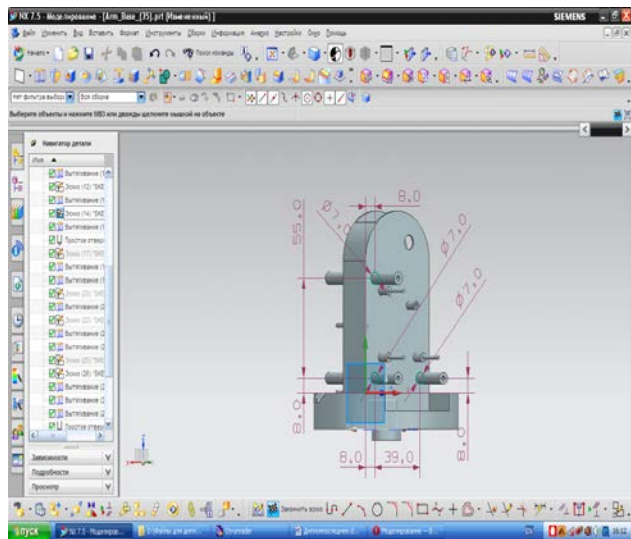


Figure 8. Development of a 3D model of the first link of the mobile manipulator

When developing every detail of the mobile manipulator, the parallel modeling method was used. The main concept of this method is to check all given dimensions by creating an assembly of elements in parallel, the ability to track in real time inaccuracies in the modeling of individual elements and instantly eliminate them. Figure 9 shows a fragment of the development of the ZM, in accordance with the proposed kinematic scheme (Fig. 1). To simplify the development of a detailed 3D model of the assembly,

it was decided to neglect the development of the gear-box, and present it as a simplified part with attachment points and with a shaft on a gear to control the gear. This reduces design time and human effort.

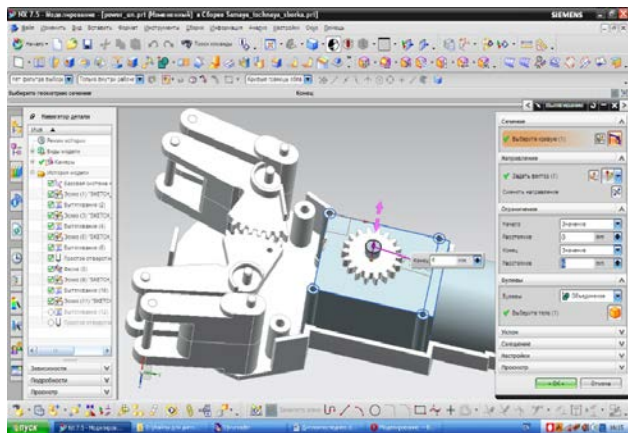


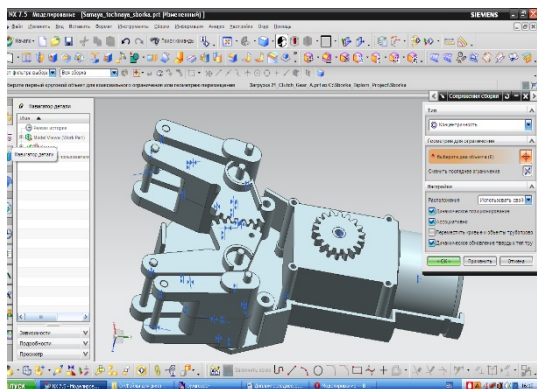
Figure 9. Fragment of editing the assembly element of the SM

The design is carried out according to a certain hierarchy given by the design of the robot, starting from the grip and ending with the base. This hierarchy formed the basis of the assembly of the robot.

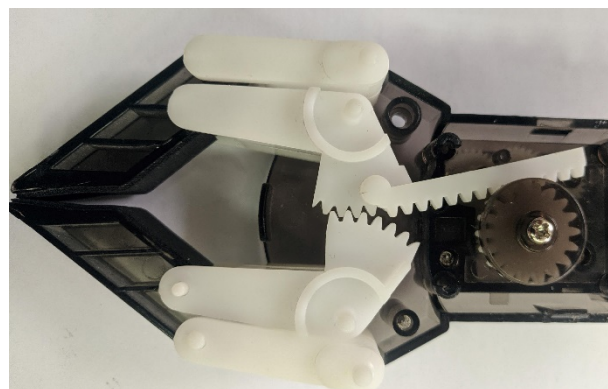
Assembly of three-dimensional models into a single whole product is carried out in a special editor “NX Assembly”. To assemble all the elements into a single product model, it is necessary to mate the links between each element of the assembly. It is necessary to set mates of concentricity of tangent alignment and fixation in accordance with the type of node (Fig. 10). The assembly of the ZM model developed in CAD Unigraphics NX is shown in fig. 10, a, the manufactured prototype is shown in Fig. 10, b.

By setting the correct ratios between assembly elements, it is possible to set kinematic relationships and precise engineering analysis of individual joints or the whole product. After modeling all the elements and the assembly operation, we have a finished 3-dimensional model (Fig. 11, a) and a manufactured prototype (Fig. 11, b).

To verify the correctness of the decisions made in the course of calculations and development of a 3D model of a mobile manipulator, it is necessary to simulate the gripping force. The Unigraphics NX – Advanced Simulation system is a set of basic principles and concepts of numerical engineering analysis based on the finite element method (FEM).

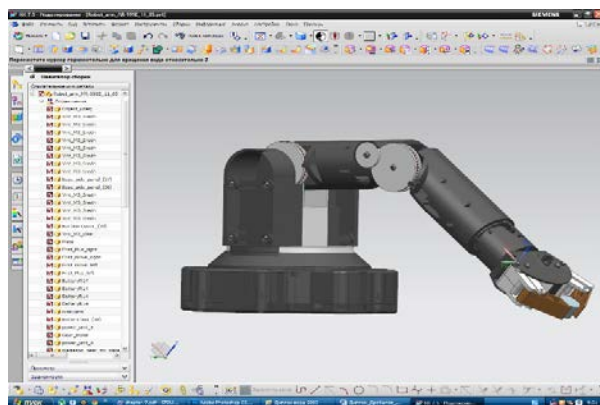


a)



b)

Figure 10. Assembling the ZM model with interfacing and a prototype



a)



b)

Figure 11. 3D model of the assembly of the manipulator and prototype

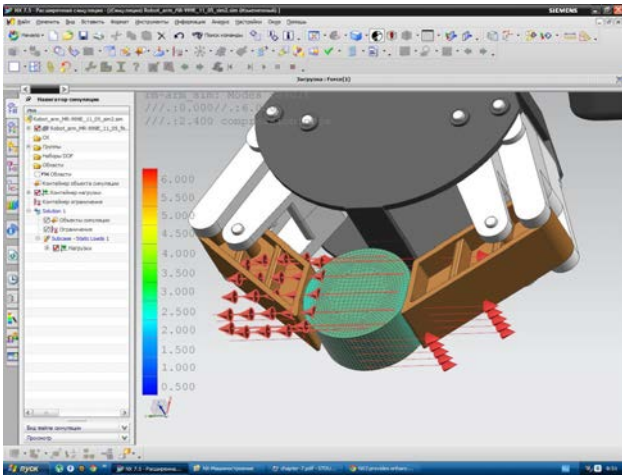


Figure 12. Modeling the grip force

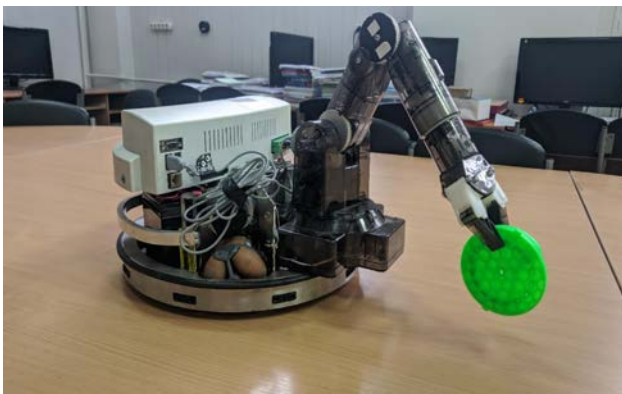


Figure 13. Upgraded robot Festo Robotino with an integrated manipulator

The result of this simulation was the determination of the value of the compression force, which, with a minimum error, corresponds to the calculations and is equal to 2.4 N (Fig. 12). The performed mathematical and engineering calculation of Unigraphics NX provides the maximum risk reduction when performing a modification in order to increase the gripping force of the SM, which allows you to start 3D printing and upgrading the Festo Robotino mobile robot.

In fig. 13 shows a modernized robot Festo Robotino with a manipulator integrated into the control system.

**Conclusions.** The article studies the modernization of the Festo Robotino robotic platform through integration with the MR-999E manipulator system. This solution made it possible to expand the functionality of the mobile robot, which will increase its manipulation capabilities and allow research in the field of artificial intelligence and decision making in assembly operations. Also, this improvement will allow testing control systems for mobile manipulation systems in solving the problems of recognition and identification of objects for their safe movement. Based on the tasks set, the authors carried out calculations to improve the gripping mechanism and movement mechanisms. A detailed 3D model of the manipulator system in CAD Unigraphics NX and tested it using grip force simulation was developed. Using 3D printing technology, advanced parts were printed with the MR-999E manipulator system. In the future, it is planned to research and develop intelligent control systems using the new handling functions of the Festo Robotino mobile robot.

#### References:

1. Goel R., Gupta P. (2020) Robotics and Industry 4.0. In: Nayyar A., Kumar A. (eds) A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development. *Advances in Science, Technology & Innovation* (IEREK Interdisciplinary Series for Sustainable Development). Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-14544-6\_9
2. José Lima, Vitor Oliveira, Thadeu Brito, José Gonçalves, Vítor H. Pinto, Paulo Costa & Cesar Torrico. (2020). An Industry 4.0 Approach for the Robot@Factory Lite Competition. The 2020 IEEE International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC). 15-17 April. Ponta Delgada, Portugal. DOI: 10.1109/ICARSC49921.2020.9096164
3. Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Demska, N. and Novoselov, S. (2020) Development of f Software Module for Operational Dispatch Control of Production Based on Cyber-Physical Control Systems. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, (4 (14), pp. 155–168. DOI: 10.30837/ITSSI.2020.14.155.
4. Drozdov D. et al. (2020) Utilizing Software Design Patterns in Product-Driven Manufacturing System: A Case Study. In: Borangiu T., Trentesaux D., Leitão P., Giret Boggino A., Botti V. (eds) Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future. SOHOMA 2019. *Studies in Computational Intelligence*, vol 853. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-27477-1\_23
5. Květoslav Belda, Jan Jirsa (2021). Control Principles of Autonomous Mobile Robots Used in Cyber-Physical Factories. The 2021 23rd International Conference on Process Control (PC). Strbske Pleso, Slovakia. DOI: 10.1109/PC52310.2021.9447468
6. Pachouri V., Pathak P.M., Mishra M.K., Samantharay A.K., Merzouki R., Bouamama B.O. (2022) Workspace Evaluation of Robotino-XT Under Reconfiguration. In: Kumar R., Chauhan V.S., Talha M., Pathak H. (eds) Machines, Mechanism and Robotics. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore. DOI: 10.1007/978-981-16-0550-5\_25
7. Ruqayah R. Al-Dahhan; Mohammed Rabea Hashim AL-Dahhan; Mustafa H. Jebur. (2020). Target Seeking and Obstacle Avoidance of Omni Robot in an Unknown Environment. The 2020 International Congress on

Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA). Ankara, Turkey. DOI: 10.1109/HORA49412.2020.9152864

8. Robotino Manual. URL: <https://www.festo-didactic.com/int-en/services/printed-media/technical-documentation/robotino-manual-544305.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4zMi45MDguNjcwOA>. (Date of Appeal:04.01.2022).

9. Xiao D., Gliosli B.K., Xi N. et al. (2000). Sensor-based hybrid position /force control of a robot manipulator in an un-calibrated environment. *IEEE Trans. Control Systems Technology*. 2000. Vol. 8 (4). P. 635–645.

10. NX. URL: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/nx/>. (Date of Appeal:04.01.2022).

11. Mo Shuai, Ma Shuai, Jin Guoguang. (2018). Design principle and modeling method of asymmetric involute internal helical gears. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*. Volume: 233 issue: 1, 244–255. DOI: 10.1177/0954406218756443.

**Невлюдов І.Ш., Євсєєв В.В., Демська Н.П., Валківський Ю.І.**

### **РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ ПЛАТФОРМ НА БАЗІ UNIGRAPHICS NX**

*У статті розглядаються питання модернізації мобільного робота Festo Robotino за рахунок інтеграції у нього маніпуляторної системи MR-999E. Таке рішення дозволить суттєво розширити функціональні можливості мобільного робота Festo Robotino та дозволити проводити нові дослідження, пов'язані з розробкою нових методів і моделей прийняття рішень щодо переміщення об'єктів. На основі проведеного дослідження було виявлено, що існуюча маніпуляторна система MR-999E має ряд недоліків, одним з яких є недостатнє зусилля стиснення схвату для переміщення тестових об'єктів, що не дозволяє широко його реалізувати в якості мобільної маніпуляційної платформи. Для усунення цих недоліків авторами проведено дослідження, на основі яких була розроблена кінематична схема захватного модуля. Для перевірки правильності прийнятих рішень та отриманих розрахунків у системі CAD Unigraphics NX було розроблено 3D моделі всіх основних елементів мобільного маніпулятора, проведено розрахунки розмірів зубів з евольвентним профілем, що дозволило підвищити точність позиціонування ланок у просторі для вирішення задачі просторового складання конструкцій із необхідною точністю. Ґрунтуючись на розроблених 3D моделях, авторами спроектована деталізована 3D модель складання маніпулятора, у системі CAD Unigraphics NX, а також за допомогою чисельного інженерного аналізу, на базі методу кінцевих елементів, проведено розрахунки для визначення необхідної сили схоплення вдосконаленого захватного механізму. Розроблені 3D моделі реалізовані за допомогою адитивних технологій 3D друку. Це дозволило виготовити прототип захватного механізму та експериментально підтвердити можливість його інтеграції з мобільним роботом Festo Robotino з метою розширення його функціональних можливостей.*

**Ключові слова:** мобільні роботи, Festo Robotino, мобільні маніпулятори, 3D моделі, моделювання.

УДК 004.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/25>

**Новак Д.С.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Мошенський А.О.**

Національний університет харчових технологій

**Лісовець С.М.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Павленко Є.Є.**

Київський національний університет технологій та дизайну

## ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ, ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ Й АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

*Вимірюванням називають сукупність операцій, виконуваних для визначення кількісного значення величини. Вимірювання виконуються в усіх сферах людської діяльності. Зокрема, широко поширеними для вимірів величинами є параметри довкілля.*

*Необхідність отримання інформації про значення таких фізичних величин, як температура, відносна вологість та атмосферний тиск, виникає при контролі умов праці, умов виробництва та зберігання продукції у приміщеннях, при здійсненні заходів екологічного моніторингу, у метеорологічних спостереженнях і прогнозах, для забезпечення єдності вимірювань при проведенні повірки та/або калібрування засобів вимірювань тощо. Для зниження трудових і тимчасових витрат на організацію вимірювальних процедур може бути використана система, що дозволяє автоматизувати процес збору, обробки та збереження вимірювальних даних. Така система має бути мобільною, мати можливості нарощування елементної бази та заміни сенсорів фізичних величин для забезпечення універсальності застосування.*

*Метою роботи є розроблення автоматизованої бездротової системи вимірювань температури, відносної вологості й атмосферного тиску навколишнього середовища. Для досягнення поставленої мети необхідне виконання таких задач: формування вимог до системи вимірювань, розроблення структури системи вимірювань, вибору елементної бази, розроблення програмного забезпечення.*

*У процесі дослідження проводилося: вивчення сфер застосування системи вимірювань температури, відносної вологості й атмосферного тиску навколишнього середовища, формування вимог до системи вимірювань, вибір вимірюваних величин, розроблення структури та програмного забезпечення системи.*

*Досліджено та проаналізовано мікроконтролери та сенсори, розроблено серверну частину. Програмування мікроконтролеру відбувалося з використанням мови програмування C++. Розроблено апаратно-програмний комплекс, що складається із серверної частини на базі програмного забезпечення, написаного мовою програмування PHP, та реляційної бази даних MySQL, а також розроблено клієнт-серверну частину для сенсорів на базі мікроконтролера ESP32.*

**Ключові слова:** мікроконтролер, сенсор, сервер, ESP32, BME280, PHP, MySQL.

**Постановка проблеми.** Вимірювання параметрів довкілля зачіпає багато сфер людської діяльності, наприклад, промисловість або лабораторію високоточних вимірювань, приватну садибу або метеорологічну станцію. Також для якісного виробництва будь-якої продукції необхідні певні умови навколишнього середовища. Саме тому останнім часом роблять безперервні вимірювання параметрів довкілля та їх автоматизацію.

Система вимірювань параметрів довкілля (далі – Система) може застосовуватися у різних галузях, таких як екологічний моніторинг, система «Розумний дім», реєстрація факторів при перевірці засобів вимірювань (ЗВ), а також вимірювання параметрів мікроклімату виробничих і житлових приміщень.

На підставі вимог, що пред'являються до системи при вимірюванні параметрів навколишнього

середовища у конкретних галузях застосування, був сформований список фізичних величин, які вимірюватимуться системою.

У випадку контролю параметрів навколишнього середовища включає вимір таких величин, як: температура навколишнього середовища, відносна вологість навколишнього середовища й атмосферний тиск.

**Постановка задачі.** Метою роботи є розроблення автоматизованої бездротової системи вимірювань параметрів довкілля. У процесі дослідження проводилися: вивчення сфер застосування системи вимірювань параметрів довкілля, формування вимог до системи вимірювань, вибір вимірюваних величин, розроблення структури та програмного забезпечення системи.

Внаслідок дослідження створено автоматизовану бездротову систему вимірювань параметрів навколишнього середовища, яка вимірює температуру, відносну вологість навколишнього середовища й атмосферний тиск.

ESP8266 (рис. 1) та ESP32 (рис. 2) – це недорогі модулі Wi-Fi, котрі ідеально підходять для самостійних проєктів у галузі інтернету (IoT). ESP32 є наступником ESP8266. Він має більше ядер процесора, більш швидкий Wi-Fi, більше GPIO і підтримує Bluetooth версії 4.2. Крім того, ESP32 поставляється із сенсором дотику, вбудованим датчиком Хола та датчиком температури. Обидві плати недорогі, але ESP32 більш дорожча. Обидва чіпи мають 32-бітний процесор. ESP32 – двоядерний процесор із частотою від 160 до 240 МГц, а ESP8266 – одноядерний, працює на частоті 80 МГц. Мікроконтролер RTL8710 (рис. 3) має такі основні переваги: широкий спектр сумісних пристроїв, можливість роботи навіть за екстремальних температур. Також він майже повністю відповідає по виводах модулю ESP8266, однак RTL8710 дорожче за ESP8266 та ESP32. У нашому випадку кращим вибором буде ESP32.

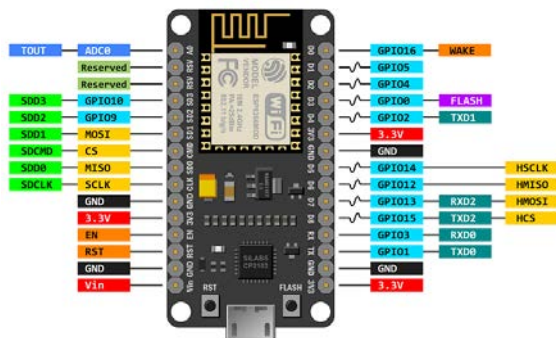


Рис. 1. Мікроконтролер ESP8266

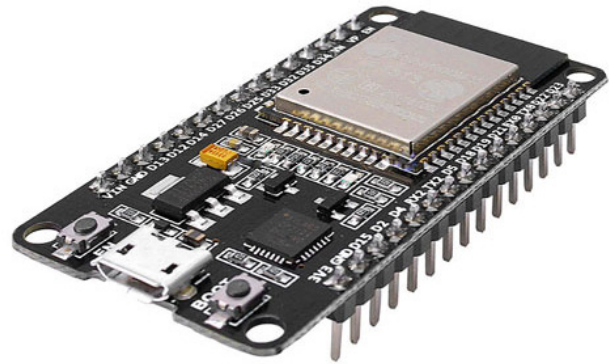


Рис. 2. Мікроконтролер ESP32

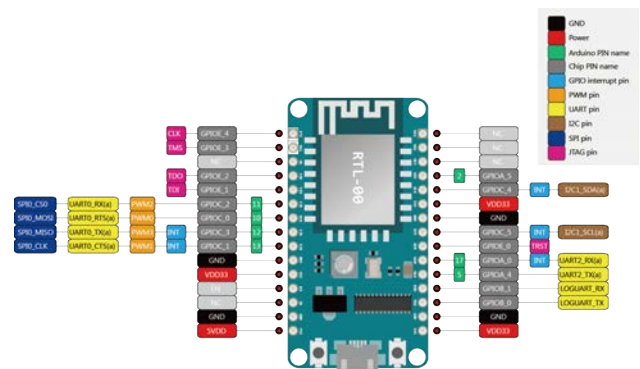


Рис. 3. Мікроконтролер RTL8710

Сенсор DHT22 (рис. 4) має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням. Сенсор BME680 (рис. 5) має надлишкові характеристики та високу ціну. Сенсор DS18B20 (рис. 6) має серйозний недолік (зняття даних гальмує виконання подальших команд). VMP280 (рис. 7) є покращеною версією датчика VMP180 (рис. 8) і відрізняється від нього меншими розмірами, зниженим енергоспоживанням, високою точністю роботи та наявністю точного заводського калібрування і двома послідовними інтерфейсами: I2C і SPI. Датчик VMP280, створений спеціально для додатків, де потрібні малі розміри та знижене споживання енергії, тому обрати саме цей датчик буде найбільш доцільно.

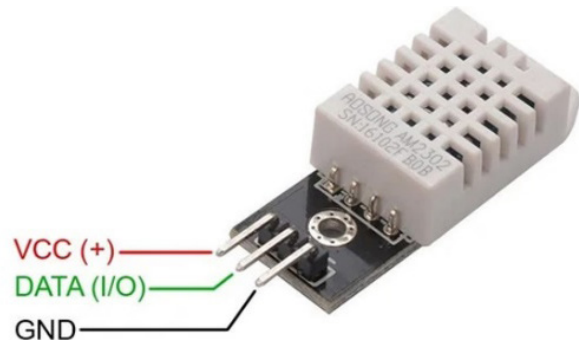


Рис. 4. Сенсор DHT22



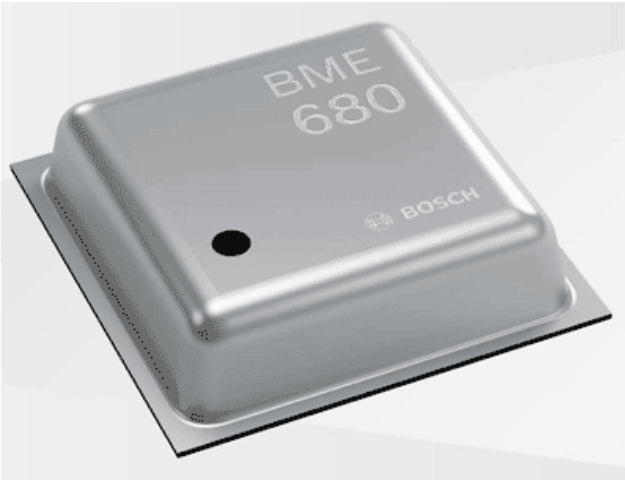


Рис. 5. Сенсор BME680

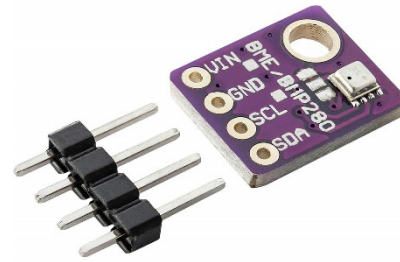


Рис. 7. Сенсор BME280

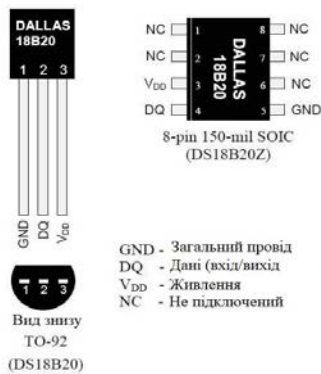


Рис. 6. Сенсор DS18B20

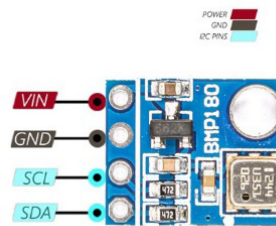


Рис. 8. Сенсор BME180

Для роботи нам знадобиться (рис. 9):  
 – Плата ESP32 та середовище розробки Arduino.  
 – Зареєстрований домен на хостингу.

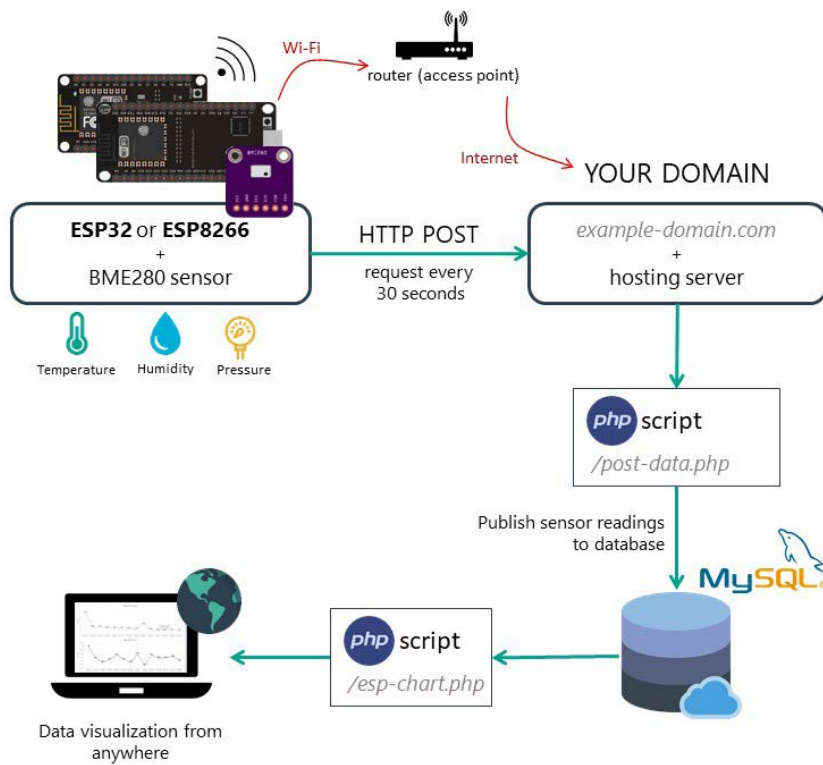


Рис. 9. Графічна ілюстрація роботи

- Скрипт PHP для запису даних у базу даних (БД) та відображення їх на веб-сторінці.
- База даних для зберігання показань.
- Скрипт PHP для графічного формування результатів досліджень.

Реєструємо домен для доступу до нашого додатку (будемо використовувати хостинг Bluehost).

Після реєстрації облікового запису та вибору доменного імені заходимо у консоль. Після цього відбувається створення БД, логіну, пароля та таблиці SQL. Переходимо до панелі керування (рис. 10) і шукаємо «phpMyAdmin».

У лівому меню вибираємо нашу базу та відкриваємо вкладку «SQL». Далі вводимо наступні рядки коду для створення таблиці (рис. 11), натис-

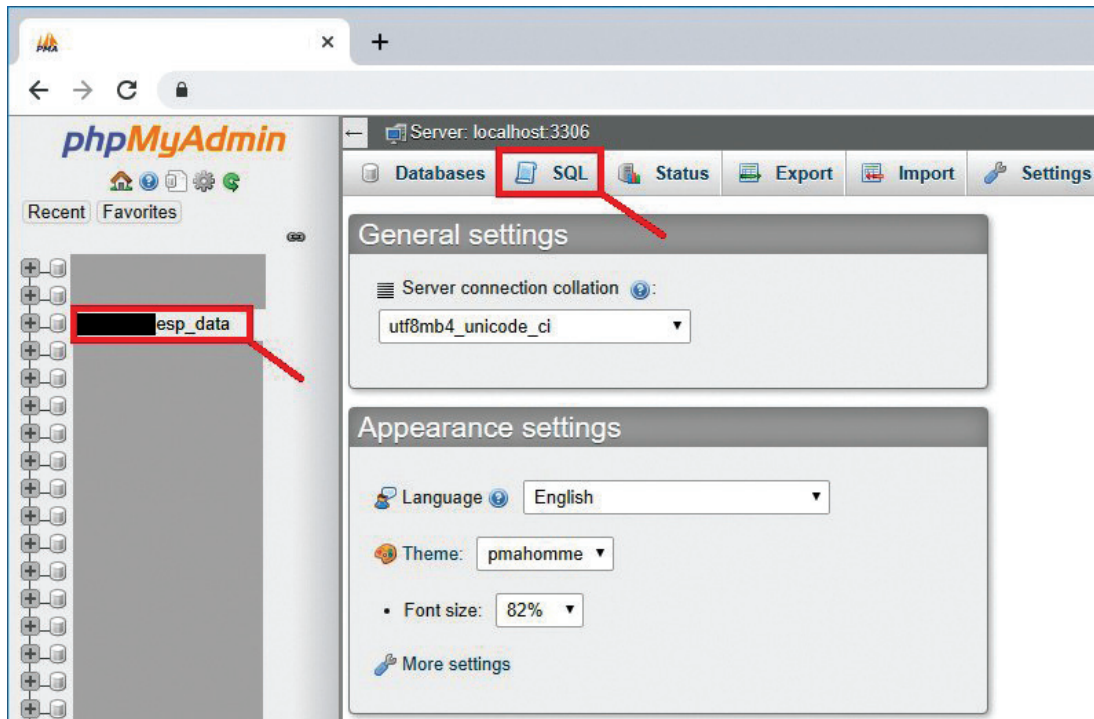


Рис. 10. phpMyAdmin

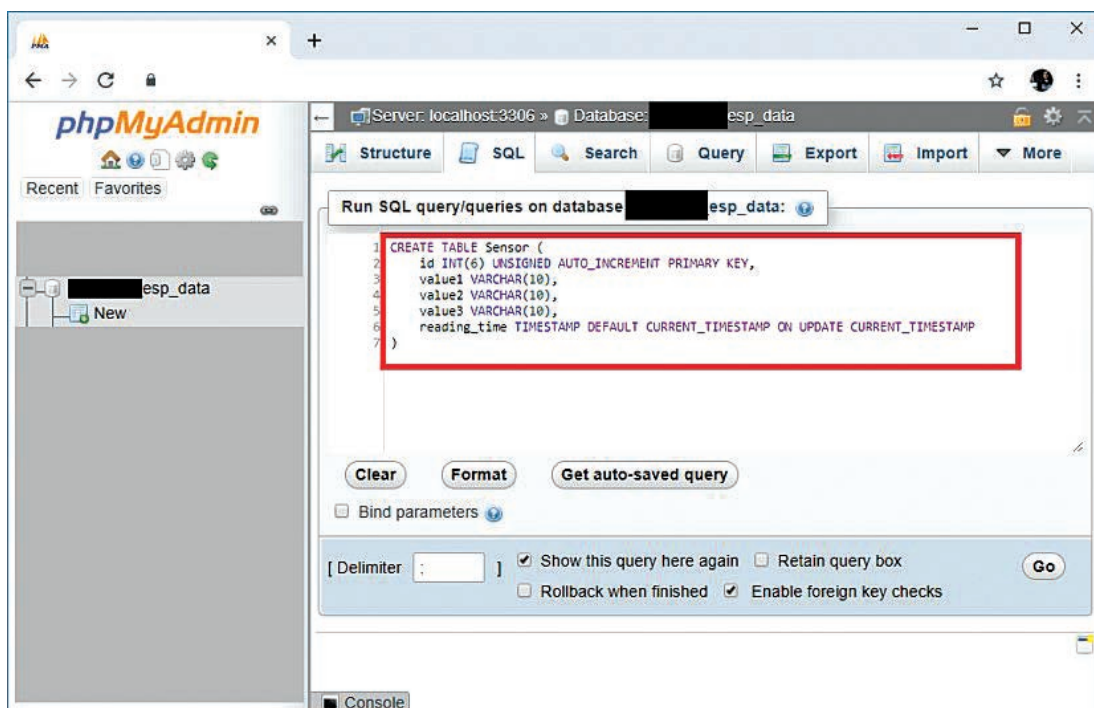


Рис. 11. Створення таблиці в phpMyAdmin

каємо кнопку «Go» та бачимо таблицю під назвою Sensor (рис. 12) у нашій базі даних.

В опції cPanel знаходимо «File Manager» (рис. 13) і вибираємо опцію public\_html і натискаємо «+ File».

Створюємо новий файл post-data.php у папці /public\_html пишемо туди рядки коду (рис. 14).

Створимо ще один файл (рис. 15) у папці /public\_html. Він графічно відобразить дані на веб-сторінці (назвемо його esp-chart.php).

Для графічного відображення даних ми будемо використовувати бібліотеку Highcharts. Створимо три – залежності температури, вологості та тиску залежно від часу. На залежностях відображається максимум 40 пікселів, показання додаються кожні 30 секунд.

Ми використовуємо Arduino IDE, тому потрібно, щоб плати були встановлені. Також потрібні бібліотеки BME280 та Adafruit\_sensor.

Для того, щоб код для мікроконтролеру ESP32 (рис. 16) працював, необхідно вказати свої дані мережі (SSID і пароль), також потрібно ввести доменне ім'я.

Якщо відкрити веб-сторінку (рис. 17) за URL-адресою: <http://example.com/esp-chart.php>, то будуть відображені залежності температури, відносної вологості й атмосферного тиску від часу. Для оновлення даних потрібно перезавантажити веб-сторінку. Також є можливість проведення модифікації отриманих даних у phpMyAdmin (рис. 18).

**Висновки.** Під час виконання роботи проведено аналіз предметної сфери, актуальності розроблення системи дистанційного оцінювання параметрів навколишнього середовища, визначено головні вимоги до системи та її функціоналу.

Розроблено апаратно-програмний комплекс, що складається із серверної частини на базі програмного забезпечення (PHP + MySQL) і клієнтської частини на базі мікроконтролера ESP32 та сенсора BME 280.

Виконано експериментальні дослідження зміни показників температури, відносної вологості й атмосферного тиску від часу. Проведені експерименти показали ефективність застосування мікроконтролера ESP32 та сенсора BME 280 для оцінювання параметрів навколишнього середовища.

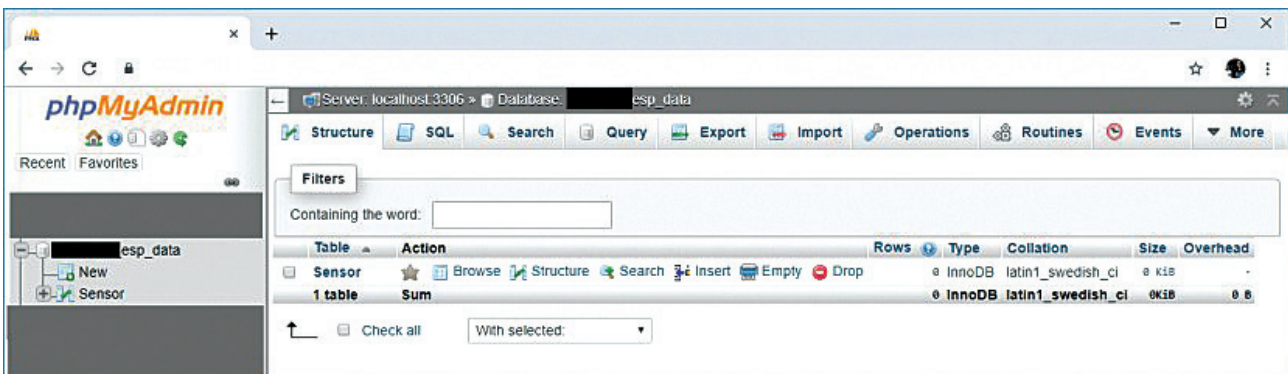


Рис. 12. Таблиця «Sensor» у базі даних

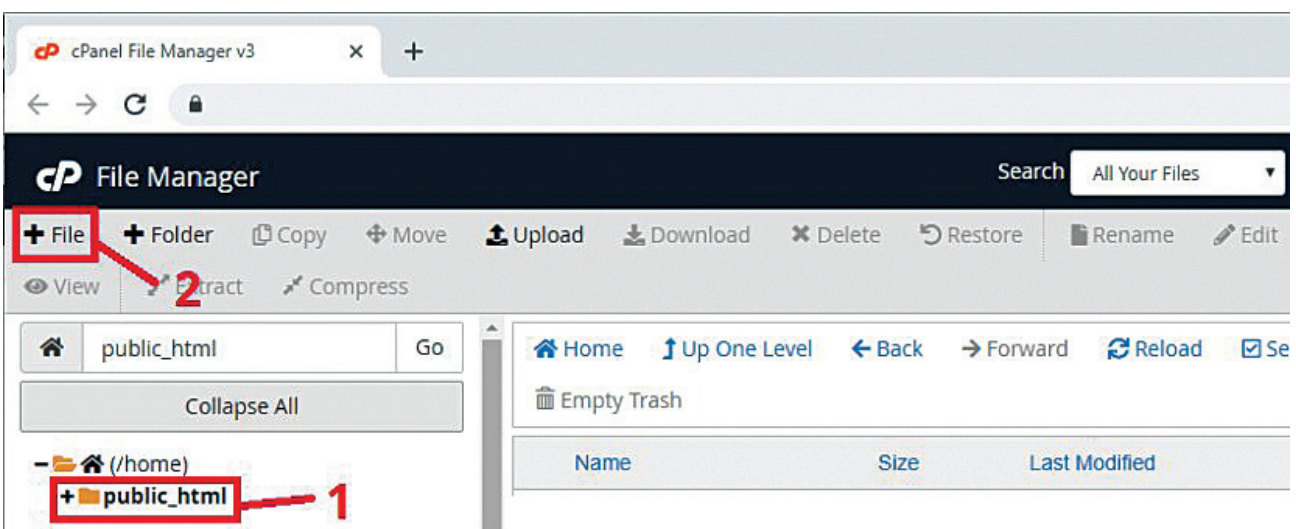


Рис. 13. Файловий менеджер

```

<?php
$servername = 'localhost';
// Тут вказуємо назву БД
$dbname = 'ВКАЖІТЬ_НАЗВУ_БД';
// Вказуємо ім'я користувача
$username = 'ВКАЖІТЬ_ІМ'Я_КОРИСТУВАЧА';
// Вказуємо пароль
$password = 'Вкажіть_пароль';
// Рекомендується не змінювати цей API-ключ, він повинен збігатися з ключем у скетчі для плати
$api_key_value = 'tPmAT5Ab3j7F9';
$api_key = $value1 = $value2 = $value3 = '';
if ($_SERVER['REQUEST_METHOD'] == 'POST') {
    $api_key = test_input($_POST['api_key']);
    if($api_key == $api_key_value) {
        $value1 = test_input($_POST['value1']);
        $value2 = test_input($_POST['value2']);
        $value3 = test_input($_POST['value3']);
        // Створюємо з'єднання
        $conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
        // Перевіряємо з'єднання
        if ($conn->connect_error) {
            die('Connection failed: ' . $conn->connect_error);
        }
        $sql = 'INSERT INTO Sensor (value1, value2, value3)
VALUES (' . $value1 . ', ' . $value2 . ', ' . $value3 . ')';

        if ($conn->query($sql) == TRUE) {
            echo "New record created successfully";
        }
        else {
            echo "Error:". $sql. "<br>" . $conn->error;
        }
        $conn->close();
    }
    else {
        echo "Wrong API Key provided.";
    }
}
else {
    echo "No data posted with HTTP POST."
}
function test_input($data) {
    $data = trim ($data);
    $data = stripslashes ($data);
    $data = htmlspecialchars ($data);
    return $data;
}
Перед збереженням файла введіть дані в наступні рядки:
// Тут вказуємо назву БД
$dbname = 'ВКАЖІТЬ_НАЗВУ_БД';
// Вказуємо ім'я користувача
$username = 'ВКАЖІТЬ_ІМ'Я_КОРИСТУВАЧА';
// Вказуємо пароль
$password = 'Вкажіть_пароль';
?>

```

Рис. 14. PHP код

#### Список літератури:

1. Cameron, N. Electronics Projects with the ESP8266 and ESP32. Apress, 2021.
2. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4842-6336-5>.
3. Pulver, T. Hands-On Internet of Things with MQTT: Build connected IoT devices with Arduino and MQ Telemetry Transport (MQTT). Packt Publishing Ltd, 2019.
4. Spanulescu, S. Esp32 Programming for the Internet of Things. Lulu Press, Inc, 2018.
5. Kurniawan, A. Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT projects using the all-new Espressif ESP32. Packt Publishing Ltd, 2019.
6. Butler, T. PHP & MySQL: Novice to Ninja. SitePoint, 2022.

#### Novak D.S., Moshenskyi A.O., Lisovets S.M., Guida O.G., Pavlenko Ye.Ye. INFORMATION SYSTEM FOR REMOTE EVALUATION OF TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY AND ATMOSPHERIC PRESSURE

*A measurement is a set of operations performed to determine the quantitative value of a quantity. Measurements are made in all spheres of human activity. In particular, environmental parameters are widely used for measurements.*

```

<?php
$servername = 'localhost';
// Тут вказуємо адресу БД
$dbname = 'ВІКАМІТЬ_НАЗБУ_БД';
// Вказуємо ім'я користувача
$username = 'ВІКАМІТЬ_ІМ'Я_КОРИСТУВАЧА';
// Вказуємо пароль
$password = 'ВІКАМІТЬ_ПАРОЛЬ';
// Створюємо з'єднання
$conn = new mysqli($servername, $username, $password, $dbname);
// Перевіряємо з'єднання
if ($conn->connect_error) {
die('Connection failed: ' . $conn->connect_error);
}
$sql = 'SELECT id, value1, value2, value3, reading_time FROM Sensor order by reading_time desc limit 40';
$result = $conn->query($sql);
while ($data = $result->fetch_assoc()){
$sensor_data[] = $data;
}
$readings_time = array_column($sensor_data, 'reading_time');
// час - UTC-2, замикаємо 0
*$i = 0;
foreach ($readings_time as $reading){
// Для зони UTC 1
$readings_time[$i] = date('Y-m-d H:i:s', strtotime('$reading - 1 hours'));
// Для зони UTC 0
$readings_time[$i] = date('Y-m-d H:i:s', strtotime('$reading + 4 hours'));
$i += 1;
}
$value1 = json_encode(array_reverse(array_column($sensor_data, 'value1')), JSON_NUMERIC_CHECK);
$value2 = json_encode(array_reverse(array_column($sensor_data, 'value2')), JSON_NUMERIC_CHECK);
$value3 = json_encode(array_reverse(array_column($sensor_data, 'value3')), JSON_NUMERIC_CHECK);
$reading_time = json_encode(array_reverse($readings_time), JSON_NUMERIC_CHECK);
/*echo $value1;
echo $value2;
echo $value3;
echo $reading_time;*/
$result->free();
$conn->close();
}
<!DOCTYPE html>
<html>
<meta name='viewport' content='width=device-width, initial-scale=1'>
<script src='https://code.highcharts.com/highcharts.js'></script>
<style>
body {
min-width: 310px;
max-width: 1280px;
height: 500px;
margin: 0 auto;
}
h2 {
font-family: Arial;
font-size: 2.5rem;
text-align: center;
}
</style>
<body>
<h2>ESP Weather Station</h2>
<div id='chart-temperature' class='container'></div>
<div id='chart-humidity' class='container'></div>
<div id='chart-pressure' class='container'></div>
<script>
var value1 = <?php echo $value1; ?>;
var value2 = <?php echo $value2; ?>;
var value3 = <?php echo $value3; ?>;

var reading_time = <?php echo $reading_time; ?>;
var chartT = new Highcharts.Chart({
chart: { renderTo: 'chart-temperature' },
title: { text: 'BME280 Temperature' },
series: [{
showInLegend: false,
data: value1
}],
plotOptions: {
line: { animation: false,
dataLabels: { enabled: true }
}
},
series: { color: '#059e8a' }
},
xAxis: {
type: 'datetime',
categories: reading_time
},
yAxis: {
title: { text: 'Temperature (Celsius)' },
//title: { text: 'Temperature (Fahrenheit)' }
},
credits: { enabled: false }
});
var chartH = new Highcharts.Chart({
chart: { renderTo: 'chart-humidity' },
title: { text: 'BME280 Humidity' },
series: [{
showInLegend: false,
data: value2
}],
plotOptions: {
line: { animation: false,
dataLabels: { enabled: true }
}
},
xAxis: {
type: 'datetime',
//dateTimeLabelFormats: { second: '%H:%M:%S' },
categories: reading_time
},
yAxis: {
title: { text: 'Humidity (%)' }
},
credits: { enabled: false }
});
var chartP = new Highcharts.Chart({
chart: { renderTo: 'chart-pressure' },
title: { text: 'BME280 Pressure' },
series: [{
showInLegend: false,
data: value3
}],
plotOptions: {
line: { animation: false,
dataLabels: { enabled: true }
}
},
series: { color: '#18009c' }
},
xAxis: {
type: 'datetime',
categories: reading_time
},
yAxis: {
title: { text: 'Pressure (hPa)' }
},
credits: { enabled: false }
});
</script>
</body>
</html>

```

Рис. 15. Код веб-додатку

```

#ifdef ESP32
#include <WiFi.h>
#include <HTTPClient.h>
#else
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <ESP8266HTTPClient.h>
#include <WiFiClient.h>
#endif
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
//Вкажіть свої облікові дані мережі
const char* ssid = "ВКАЖІТЬ_СВІЙ_SSID";
const char* password = "ВКАЖІТЬ_ПАРОЛЬ";
//Вкажіть свій домен і шлях до файлу
const char* serverName = "http://example.com/post-data.php";
//Залиште ключ як є, якщо ви його зміните, то код не буде робити
//Тому, що API повинен співпадати з ключом в файлі PHP
String apiKeyValue = "tPmAT5Ab3j7F9";
Adafruit_BME280 bme; // I2C
//Adafruit_BME280 bme(BME_CS); // hardware SPI
//Adafruit_BME280 bme(BME_CS, BME_MOSI, BME_MISO, BME_SCK); // software SPI
void setup() {
Serial.begin(115200);
WiFi.begin(ssid, password);
Serial.println("Connecting");
while(WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
delay(500);
Serial.print(".");
}
Serial.println("");
Serial.print("Connected to WiFi network with IP Address: ");
Serial.println(WiFi.localIP());
//Ви також можете використовувати бібліотеку Wire
bool status = bme.begin(0x76);
if (!status) {
Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring or change I2C address!");
while (1);
}
}
void loop() {
//Перевіряємо з'єднання WiFi
if(WiFi.status()== WL_CONNECTED){
HTTPClient http;
//Вкажіть URL або IP вашого домену
http.begin(serverName);
//Вказуємо тип даних
http.addHeader("Content-Type", "application/x-www-form-urlencoded");
//Готуємо запит
String httpRequestData = "api_key=" + apiKeyValue + "&value1=" + String(bme.readTemperature()) +
"&value2=" + String(bme.readHumidity()) + "&value3=" + String(bme.readPressure()/100.0F) + "&";
Serial.print("httpRequestData: ");
Serial.println(httpRequestData);
//Для тесту ви можете закоментувати змінну httpRequestData вище
//і розкоментувати, то нижче (датчик BME280 не використовується)
//String httpRequestData = "api_key=tPmAT5Ab3j7F9&value1=24.75&value2=49.54&value3=1005.14";
//Відправляємо запит
int httpResponseCode = http.POST(httpRequestData);
//якщо ви робите запит з типом text/plain, розкоментуйте наступні рядки
//http.addHeader("Content-Type", "text/plain");
//int httpResponseCode = http.POST("Hello, World!");
//якщо ви робите запит з типом application/json, розкоментуйте наступні рядки
//http.addHeader("Content-Type", "application/json");
//int httpResponseCode = http.POST("{\"value1\": \"19\", \"value2\": \"67\", \"value3\": \"78\"}");
if (httpResponseCode>0) {
Serial.print("HTTP Response code: ");
Serial.println(httpResponseCode);
}
else {
Serial.print("Error code: ");
Serial.println(httpResponseCode);
}
//Звільняємо пам'ять
http.end();
}
else {
Serial.println("WiFi Disconnected");
}
//Відправляємо запит кожні 30 секунд
delay(30000);
}
}

```

Рис. 16. Код для мікроконтролеру ESP32

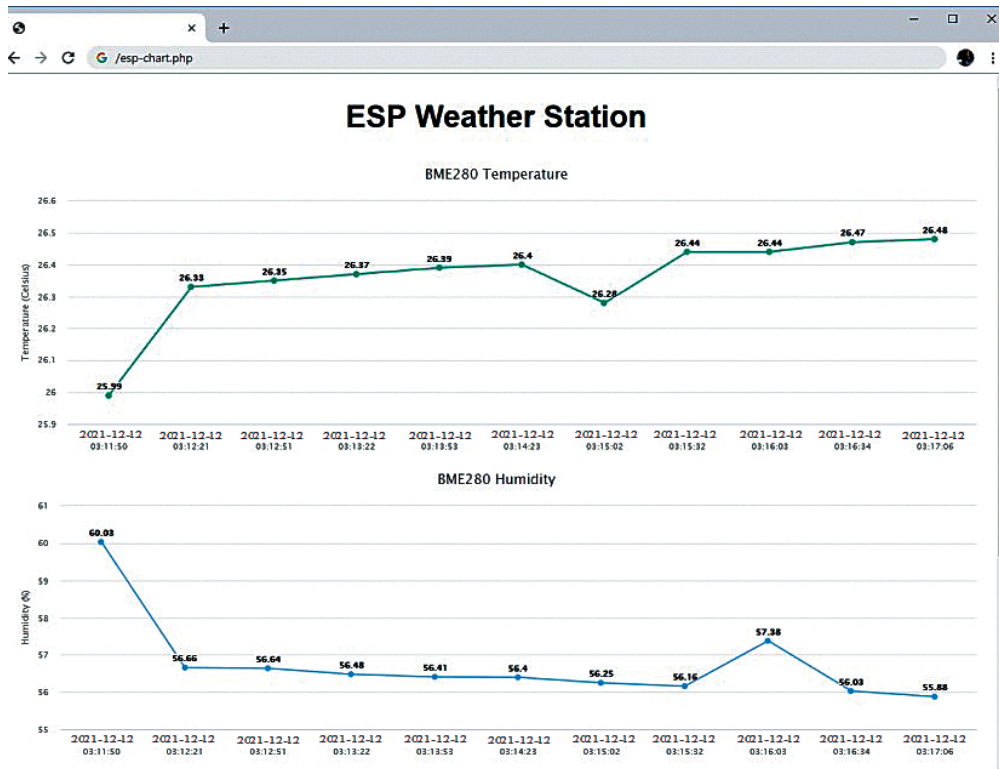


Рис. 17. Залежності температури, відносної вологості й атмосферного тиску від часу

				id	value1	value2	value3	reading_time
<input type="checkbox"/>				41	26.43	55.36	1002.88	2021-12-12 08:26:17
<input type="checkbox"/>				42	26.92	53.93	1003.01	2021-12-12 08:26:48
<input type="checkbox"/>				43	27.08	55.20	1002.94	2021-12-12 08:27:18
<input type="checkbox"/>				44	27.15	55.32	1002.99	2021-12-12 08:27:49
<input type="checkbox"/>				45	27.17	53.69	1002.93	2021-12-12 08:28:20
<input type="checkbox"/>				46	27.19	53.70	1002.95	2021-12-12 08:28:50
<input type="checkbox"/>				47	27.22	53.20	1002.96	2021-12-12 08:29:21
<input type="checkbox"/>				48	27.26	52.60	1002.97	2021-12-12 08:29:52
<input type="checkbox"/>				49	27.31	52.45	1002.99	2021-12-12 08:30:22
<input type="checkbox"/>				50	27.34	52.41	1002.97	2021-12-12 08:30:53
<input type="checkbox"/>				51	27.37	52.20	1002.90	2021-12-12 08:31:24
<input type="checkbox"/>				52	27.42	52.25	1002.96	2021-12-12 08:31:54
<input type="checkbox"/>				53	27.45	54.22	1002.99	2021-12-12 08:32:25
<input type="checkbox"/>				54	27.47	52.30	1002.95	2021-12-12 08:32:56
<input type="checkbox"/>				55	27.46	51.74	1002.95	2021-12-12 08:33:27
<input type="checkbox"/>				56	27.53	52.11	1002.93	2021-12-12 08:33:58
<input type="checkbox"/>				57	27.53	52.07	1003.00	2021-12-12 08:34:28
<input type="checkbox"/>				58	27.57	52.12	1002.96	2021-12-12 08:35:00

Рис. 18. Відображення бази даних у phpMyAdmin

*The need to obtain information about the value of such physical quantities as temperature, relative humidity and atmospheric pressure arises when monitoring working conditions, conditions for production and storage of products in premises, when implementing environmental monitoring measures, in meteorological observations and forecasts to ensure the uniformity of measurements during verification and/or calibration of measuring instruments, etc. To reduce labor and time costs for the organization of measurement procedures, a system can be used to automate the process of collecting, processing and storing measurement data. Such a system should be mobile, have an increase in the element base and replacement of sensors of physical quantities to ensure universal application.*

*The purpose of this work is to develop an automated wireless system for measuring the temperature, relative humidity and atmospheric pressure of the environment. To achieve the set goals, it is necessary to perform the following tasks: formation of requirements for the measurement system, development of the structure of the measurement system, selection of the element base, software development.*

*In the process of research, the following was carried out: a study of the areas of application of the system for measuring temperature, relative humidity and atmospheric pressure of the environment, the formation of requirements for the measurement system, the choice of measured quantities, the development of the structure and software of the system.*

*Microcontrollers and sensors have been researched and analyzed; the server part has been developed. The microcontroller was programmed using the C++ programming language. A hardware-software complex has been developed, consisting of a server part based on software written in the PHP programming language and a MySQL relational database, as well as a client-server part for sensors based on the ESP32 microcontroller.*

**Key words:** *microcontroller, sensor, server, ESP32, BME280, PHP, MySQL.*



**Похиленко О.А.**

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

**Баклан І.В.**

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

## СУПРОВОДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ, ЯКІ ЕВОЛЮЦІОНУЮТЬ

*У статті розглянуті гібридні інтелектуальні системи (ГІС), інтелектуальні системи, що еволюціонують, (ЕІС), а також гібридні інтелектуальні системи, які еволюціонують, (ЕГІС) – тип інтелектуальних систем, що поєднує переваги ГІС та ЕІС. Незважаючи на підвищений інтерес до інтелектуальних систем, а також перспективності їхнього використання, виявлено, що супроводженню ЕГІС приділено недостатньо уваги. Досліджено загальний процес супроводження програмного забезпечення та виділено його фази. Розглянуті фази були застосовані щодо супроводження ЕГІС. Було розглянуто різні методи супроводження інтелектуальних систем і запропоновано їхнє використання для супроводження ЕГІС. Розглянуто вплив відповідних методів на фази супроводження ЕГІС. Запропоновано поєднання методів для покращення супроводження ЕГІС. Також було виявлено, що ЕГІС доцільно створювати у вигляді багатоагентних систем. Було розглянуто можливість створення агентів супроводження, які дозволяють автоматично вносити зміни до системи з метою запобігання її деградації. Запропоновано використання агентів супроводження як допоміжного елемента для покращення супроводження ЕГІС. Виявлено перспективність розробки багатоагентних ЕГІС із наявністю агентів супроводження та застосуванням метаданих для створення агентів із самоописом із метою покращення супроводження ЕГІС. Припущено, що додавання метаданих до агентів також може бути використано для створення довідкової системи, а це може підвищити зручність користування ЕГІС. Також було проаналізовано архітектуру ГІС та ЕІС, запропоновано способи їхнього перетворення на ЕГІС. Розглянуто деякі сучасні архітектури інтелектуальних систем, виділено окремі їхні модулі. Доведено належність розглянутих систем до ЕГІС, а отже, і можливість застосування до них запропонованих методів і підходів щодо супроводження. Припущено, що представлення знань і супроводження баз знань в ЕГІС потребує окремого розгляду. Виявлено, що супроводження ЕГІС заслуговує на глибше дослідження.*

**Ключові слова:** архітектура програмного забезпечення, багатоагентна система, гібридна інтелектуальна система, представлення знань, обчислювальний інтелект, супроводження програмного забезпечення.

**Постановка проблеми.** Останнім часом спостерігається підвищений інтерес до розробки та покращення архітектур інтелектуальних систем (ІС). Одним зі стимулів є необхідність створення ІС, здатних вирішувати завдання у предметних галузях, що важко формалізуються, з неможливістю отримати повну й абсолютно достовірну інформацію. У таких випадках для вирішення завдань можуть бути використані гібридні інтелектуальні системи (ГІС), які використовують кілька різних методів обчислювального інтелекту.

Враховуючи величезну кількість інформації, котру треба обробляти у сучасному світі, іншим стимулом для покращення ІС можна назвати необхідність обробки потокової інформації. Нині для цього ведеться розробка інтелектуальних систем,

які еволюціонують (ЕІС). Такі системи оновлюють свої параметри і навіть структуру на основі потоків даних.

Поєднання підходів, що застосовуються у ГІС та ЕІС, також може бути використане для створення гібридних інтелектуальних систем, які еволюціонують (ЕГІС). Ці системи є найбільш перспективними через високу адаптивність і можливість вирішувати складні завдання, такі як прийняття рішень на основі потоків даних в умовах обмеженої та нечіткої інформації.

Поєднання методів і підходів ГІС та ЕІС призводить до того, що ЕГІС є системами, які важко супроводжувати, оскільки вони складаються з багатьох компонентів і використовують достатньо складні моделі, параметри яких можуть змінюватися із часом.

Враховуючи складність і багатокомпонентність ЕГПС, а також їхню відмінність від класичних ІС, можна зробити припущення про необхідність та актуальність розгляду методів їхнього супроводження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] був проведений аналіз відмінностей різних класів архітектур ГПС, а також переваги та недоліки деяких підходів щодо побудови ГПС, але питанню супроводження ГПС приділено недостатньо уваги. У [2] більш детально розглянуті різні методи та моделі, що використовуються для побудови ГПС, деякі з яких підтримують можливість навчання й адаптації під час роботи системи, а отже, можуть бути використані для побудови ЕГПС, але супроводження таких систем було розглянуто недостатньо детально.

Окремої уваги заслуговує використання багатоагентної технології для побудови ІС. У [3] розглядається побудова ГПС на основі багатоагентних систем, що призводить до спрощення розробки складних ГПС. У статті [4] пропонується підхід, котрий дозволяє надати агентам таких систем властивість до самоопису за рахунок додавання анотацій, що у теорії також може покращити супроводжуваність багатоагентних ЕГПС. У роботі [5] пропонується метод супроводження та запобігання деградування, який може бути застосований до багатоагентних систем і в теорії багатоагентних ЕГПС.

У роботі [6] розглядається проблема супроводження ЕІС і згадується необхідність використання спеціалізованих засобів супроводження, що пристосовані до змінної природи цих систем. ЕІС та ЕГПС також розглядалися у працях [7–8], але їхньому супроводженню приділено недостатньо уваги.

Слід зазначити, що, незважаючи на наявність досліджень і публікацій, у яких розглядаються ГПС, ЕІС та ЕГПС, їхньому супроводженню (особливо ЕГПС) приділяється недостатньо уваги, або воно взагалі не розглядається.

**Постановка завдання.** Виходячи з аналізу публікацій, можна сказати, що супроводження ЕГПС потребує додаткового дослідження. Отже, метою цієї роботи є проведення аналізу й оцінки можливостей застосування методів супроводження щодо ЕГПС. Для цього були визначені такі завдання дослідження: розглянути різні методи супроводження ІС, архітектури ГПС та ЕІС, після чого проаналізувати переваги та недоліки розглянутих методів супроводження і виявити, які з цих методів можна використовувати для ЕГПС.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до стандарту [9] здатність до супро-

вдження є одним із показників якості програмного забезпечення, до якого належать модульність, а також здатності до повторного використання, аналізу, модифікації та тестування. У статті супроводження ЕГПС буде розглядатися саме з позиції цих показників. Використовуючи термінологію зі стандарту [10], акцент буде робитися на коригувальному супроводженні та зручності супроводження з погляду внесення модифікацій, що можуть включати покращення й адаптацію програмного забезпечення до змін в оточенні чи специфікаціях.

**Супроводження.** Враховуючи поставлені завдання, доцільно було б розпочати дослідження із загальних технік супроводження програмного забезпечення. В [11, с. 3] наводиться процес супроводження програмного забезпечення, зображений на рис. 1. Виділяються 4 основні фази:

- 1) аналіз портфелю та визначення стратегії – включає оцінку поточного стану системи, встановлення вимог і цілей щодо супроводження, а також розробку відповідної стратегії та заходів;
- 2) моделювання й аналіз системи – передбачає представлення системи у певному формальному вигляді з метою виявлення важливої інформації щодо структури системи, залежностей і характеристик;
- 3) трансформація артефакту – має на меті застосування різних методів для досягнення вимог і цілей, визначених у фазі 1;
- 4) оцінка системи – виконується для виявлення досягнення вимог і цілей за рахунок обчислення показників якості системи після її трансформації та порівняння їх із попередніми значеннями.

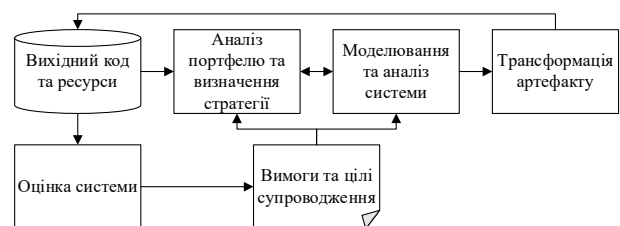


Рис. 1. Процес супроводження програмного забезпечення з [11, с. 3]

Розглянуті фази виконуються ітераційно, але процес передбачає можливість повертання до попередніх фаз: наприклад, результати фази 2 можуть призвести до необхідності перегляду та коригування стратегії фази 1. Моделювання й аналіз систем ЕІС та ЕГПС може бути ускладнений через їхню можливість змінювати власну структуру та параметри під час роботи. Також при супроводженні цих систем потрібно брати до уваги можливість деградації, для виявлення якої потрібно періодично про-

водити оцінку поточного стану системи. Тоді при виявленні падіння показників і наявності стратегії їхнього підвищення необхідно вжити відповідні заходи щодо трансформації системи.

Цікавим є те, що в [11, с. 9] згадується, що методи трансформації з фази 3 можуть бути також напівавтоматичними й автоматичними, що особливо важливо для ЕІС та ЕГІС. Отже, наявність автоматичних засобів запобігання деградації у цих системах у певних випадках зможе спростити їхнє супроводження. Саме такий метод розглядався у [5, с. 386], де для запобігання деградації у багато-агентних ІС пропонувалося використання окремих агентів (агентів супроводження), що стежать за показниками якості ІС та виконують певні дії у разі їх падіння. Такий підхід не позбавляє від необхідності ручного виконання фаз 1–2, оскільки для створення агентів супроводження спочатку необхідно реалізувати відповідні алгоритми, для чого треба визначити, за якими показниками потрібно стежити та власне яким чином покращувати якість цих показників. Враховуючи обмеженість агентів супроводження та практичну неможливість передбачення усіх можливих ситуацій деградування у складних ЕГІС, можна стверджувати, що застосування автоматичних методів супроводження повністю не позбавить від необхідності використання відповідних ручних методів.

Враховуючи те, що ГІС та ЕГІС є системами, які зазвичай складаються з багатьох компонентів, також доцільно розглянути окремі методи супроводження та повторного використання компонентів. Супроводження таких складних систем можна було би спростити за рахунок використання методології, заснованої на інформаційному пошуку й автоматичної каталогізації, що розглядалася у [12]. Запропонована у [12, с. 196] система, яка використовує цю методологію, призначена для застосування з уже написаними програмними компонентами (власне вихідним кодом), але потенційно також може бути модифікована для використання разом із фреймворком, запропонованим у [4], що використовує анотації для опису агентів у багато-агентних системах. Таким чином, теоретично можливо адаптувати методологію з роботи [12] для її використання у багато-агентних ІС під час роботи системи. Це може дозволити спростити аналіз поточного стану системи та виявлення певної додаткової інформації за рахунок використання інформаційного пошуку до активних агентів системи. Таким чином, поєднання методів, запропонованих у [4; 12] може призвести до покращення фаз 1–2 супроводження ЕГІС.

Опис компонентів складних систем із метою подальшого покращення їхнього супроводження, а саме здатності до аналізу та тестування, також розглядається у роботі [13]. Запропонована методологія передбачає додавання метаданих і застосування методів Семантичної Павутини, що включає використання RDF та OWL для представлення інформації, а також SPARQL для її вилучення. Враховуючи вже розглянуті дослідження, перспективним було би поєднання цієї методології із фреймворком з [4]. Таке поєднання дозволить досягти стандартизованого опису агентів, що може бути застосовано у багато-агентній ЕГІС.

Методи, запропоновані у [4; 13] потребують наявності метаданих щодо можливостей системи. Таким чином, за відсутності відповідних метаданих їхнє використання буде неможливим. У цьому разі можна або вручну додати потрібні метадані, або автоматично згенерувати їх. Один із підходів такої автоматичної генерації розписаний у [14]. Отже, поєднання запропонованих підходів у [4; 12–14] із погляду супроводження призведе до покращення фаз 1–2. Цікавим є те, що додавання певних метаданих і їхня доступність користувачам системи може підвищити зручність користування, створюючи довідкову систему. Таким чином, за певних модифікацій запропонована методологія може одночасно підвищити зручності супроводження та користування ЕГІС.

**Архітектури.** Розглянувши деякі методи супроводження, потрібно проаналізувати можливість їхнього застосування до архітектур ЕГІС. Оскільки у більшості публікацій ЕГІС не виокремлюються, виконаємо аналіз на основі публікацій щодо архітектур ГІС та ЕІС, враховуючи те, що фактично ЕГІС як категорія знаходиться на перетині ГІС та ЕІС. Отже, здебільшого для отримання ЕГІС необхідно або додати можливість обробки потокової інформації та зміни власних параметрів до ГІС, або використати декілька різних методів обчислювального інтелекту в ЕІС. Таким чином, далі будуть розглянуті архітектури різних ІС із доведенням того, що вони належать до ЕГІС, або зі способами їхньої модифікації для того, щоб у результаті отримати ЕГІС.

Слід розпочати з досліджень [1; 2; 15], де наведені загальні архітектури ГІС. Отже, відповідно до [1, с. 261] виділяють такі основні архітектури ГІС: уніфіковану нейронну, трансформаційну та гібридну модульну. Також окремо розглядається автономний тип архітектури, у якому модулі є незалежними один від одного. У контексті нашої роботи найбільший інтерес становить гібридна

модульна архітектура, котра використовує нейронний і символний модулі. В [1, с. 262] згадується, що виділяють три типи цієї архітектури: слабо зв'язану, сильно зв'язану та повністю інтегровану. Відмінності між цими типами полягають у взаємодії між модулями цих ГІС: у слабо зв'язаній модулі розділені, а зв'язок між ними є одностороннім; у сильно зв'язаній модулі взаємодіють із використанням спільних внутрішніх структур даних, причому виконується двонаправлений обмін знаннями між ними; у повністю інтегрованої відсутня зовнішня відмінність між модулями, а модулі мають єдиний інтерфейс. Для того, щоб розглянуті архітектури можна було б вважати такими, які належать до архітектур ЕГІС, до них потрібно ввести модулі, що можуть впливати на параметри або структуру системи. Розглядаючи [2, с. 1–3], можна виявити, що для таких цілей пропонується використання алгоритмів глобальної оптимізації та генетичних алгоритмів. Отже, побудова ЕГІС буде можливою за рахунок введення відповідних модулів до сильно зв'язаної або повністю інтегрованої гібридної модульної архітектури. Слабо зв'язана архітектура буде гірше підходити для ЕГІС через односторонність зв'язків у ній.

Відповідно до [15, с. 710] інколи окремо ще виділяють ієрархічну архітектуру, у якій модулі утворюють певну ієрархію і взаємодія відбувається лише між модулями сусідніх рівнів ієрархії. У [2, с. 3] також згадується, що ієрархічна гібридна архітектура може використовувати модуль із генетичними алгоритмами як перший модуль найвищого рівня ієрархії, який може бути використаний для оптимізації топології. Це свідчить про те, що такий різновид належатиме до ЕГІС через можливість системи змінювати власну структуру та параметри.

У [2, с. 4] та [15, с. 711] також згадується, що для більш простого розділення на модулі та кращого розуміння (а отже, і здатності до аналізу) ГІС доцільним є їхнє проектування у вигляді багатоагентних систем. Це також підтверджується тим, що у [3; 5] розглядалися саме багатоагентні ГІС. Таким чином, враховуючи процес супроводження, зображений на рис. 1, та фази супроводження, розглянуті раніше, можна зробити висновок, що побудова ЕГІС у вигляді багатоагентних систем спростить їхнє моделювання й аналіз (фазу 2 супроводження). Також варто згадати, що поєднання запропонованих підходів у [4, 12–14] теж призведе до покращення фаз 1–2, а підхід, розглянутий у [5], дозволить спростити фазу 3 за раху-

нок автоматичного методу трансформації системи агентом супроводження при виявленні падіння певних її параметрів на фазі 4 оцінки системи.

**Модулі архітектур.** Для кращого розуміння архітектур ЕГІС необхідно більш детально розглянути деякі сучасні приклади. Для цього було вирішено обрати статті [16–19] та довести належність розглянутих систем до ЕГІС.

У [16] розглядається підхід до побудови інтелектуальних інформаційних систем (ІС) на основі онтологій та об'єктно-орієнтованих семантичних мереж (фреймових мереж), описана архітектура такої системи та моделі представлення знань. Розглянута ІС складається із семантичного ядра та підсистем, що відповідають: за розробку, верифікацію та супроводження системи знань, за розробку та розвиток контенту, а також за представлення знань користувачу та іншим інтелектуальним агентам. Було запропоновано розділення семантичного ядра на дві частини: менеджер мережі, який відповідає за роботу з мережею на рівні даних, і семантичний модуль, що забезпечує роботу з мережею на рівні системи знань ІС. Для реалізації моделі даних є можливим використання як і реляційних СУБД, так і RDF-сховищ. При розробці онтології ІС використовувалося розділення на три базові онтології: діяльності, базових задач і предметного знання. Для роботи з онтологією ІС система також містить модулі поповнення контенту, які можуть бути використанні для ручного й автоматичного занесення знань, модулі візуалізації, аналізу та верифікації, а також модулі, що відповідають за навігацію та пошук інформації. Враховуючи наявність різних методів обчислювального інтелекту, запропонована у [16] система належить до ГІС. Через можливість автоматичного занесення знань ця ГІС може бути перетворена на ЕГІС, якщо система буде відповідним чином реагувати на нові знання, змінюючи власні параметри чи навіть структуру.

У [17] розглядається створення ІС із позиції інтелектуального інтерфейсу користувача та використання клієнт-серверної архітектури. Пропонується реалізація REST API сервісу, що оброблює запити від клієнтських застосунків. Цікавою особливістю є наявність декількох баєсових мереж на віддаленому сервері – окремо виділяється колективна мережа та персональні мережі. Таким чином, ІС містить ще й центр автентифікації, а база знань складається із загальної та персональних. Такий підхід надає можливість адаптації запропонованого рішення під потреби користувачів. Власне адаптація під користувача й обробка потокової

інформації свідчить про те, що система належить до ЕІС. Систему можна вдосконалити за рахунок додавання нових модулів, перетворивши її на ЕГІС.

У [18] пропонується використання гібридної інтелектуальної інформаційної системи (ГІС) як основи когнітивної архітектури. Використовуючи вже введenu термінологію, можна сказати, що ГІС може розглядатися як ГІС, а отже, усе вищесказане також може бути застосовано і для ГІС. У роботі пропонується розділення системи на модулі підсвідомості та свідомості, де модуль підсвідомості використовує нейронні мережі, нечітку логіку та нейро-нечіткі методи, а модуль свідомості – продукційні правила та модель на основі онтології. Для взаємодії з іншими подібними ГІС пропонується додавання третього модуля – модуля взаємодії. Взаємодія розглянутої ГІС із середовищем виконується через модуль підсвідомості, що отримує та перетворює дані, які надійшли ззовні, та передає їх до модуля свідомості. Після цього виконується логічна обробка даних і їхнє повернення до попереднього модуля. У якості моделі даних запропоноване використання моделі на основі метаграфу. Для трансформації даних метаграфу під час роботи ГІС було запропоновано використовувати агентів чотирьох видів: функціональних, що мають вхідні та вихідні параметри у вигляді метаграфів; заснованих на правилах, які застосовують продукційні правила до заданого стану; контейнерних, що складаються з інших агентів; і динамічних, які можуть змінювати структуру інших агентів. Розглянуті метаграфові агенти також задаються фрагментами метаграфу, що надає агентам можливість змінювати структуру інших агентів. У [18] також було розглянуто застосування описаної ГІС у циклі сприйняття-дія, що застосовується у когнітивних архітектурах. На етапі сприйняття ГІС отримує сигнали (візуальні, звукові чи інші) із зовнішнього середовища, після чого модуль підсвідомості розпізнає елементи онтологій і передає їх до модуля свідомості. Далі модуль свідомості за допомогою метаграфових агентів розпізнає ситуацію та формує необхідні дії, виходячи з відомих системі ситуацій. Дії передаються модулю підсвідомості, який виконує їх, генеруючи певні сигнали. У разі потреби модуль свідомості також може відправляти й отримувати дані у вигляді метаграфів від модуля взаємодії. У розглянутій статті також було припущено, що елементи запропонованої ГІС можна використати не тільки для реалізації циклу сприйняття-дія, але і для когнітивних архітектур загалом як будівельні блоки. Отже, запропонована

у [18] система є багатоагентною ЕГІС, оскільки у ній наявні агенти, що можуть змінювати параметри та структуру системи з метою адаптації під зміни у зовнішньому середовищі.

У [19] розглядається архітектура персонального когнітивного асистента. Особливістю запропонованого рішення є наявність декількох картин світу: власної картини світу асистента та картини світу користувача, що будується асистентом для його користувачів. Запропонована картина світу є знаковою і становить множину каузальних матриць і семантичних мереж, що використовуються для представлення як декларативних, так і процедурних знань. Така модель потребує попереднього навчання та налаштування сценаріїв, але також передбачає можливість автоматичного чи автоматизованого поповнення картини світу. Власна картина світу агенту може бути або статичною, або такою, що еволюціонує під час роботи. Враховуючи можливість використання різних методів обчислювального інтелекту, які можуть бути використані при розробці такого асистента, запропоновану у [19] систему можна легко перетворити на ГІС. Розглянута система також належить до ЕІС через можливість автоматичного поповнення картини світу, її еволюції й адаптації системи під користувача. Отже, можна стверджувати, що система буде належати до ЕГІС за виконання цих вимог.

У розглянутих системах використовується представлення знань, розгляд якого потребує окремого дослідження. Варто сказати, що супроводження ЕГІС буде включати не лише супроводження відповідного програмного забезпечення, а й інформаційного, тобто супроводження бази знань і контроль актуальності цих знань. У [20] згадується, що для представлення знань можуть використовуватися різні моделі, серед яких є ті, що побудовані на основі каскадної моделі, та логічні продукційні моделі. Отже, доцільно буде розглянути окремо підходи щодо супроводження ЕГІС із позиції представлення знань у цих системах.

Слід зауважити, що у [2, с. 2–3] серед загальних модулів ГІС також виділяються модулі, що включають штучні нейронні мережі, нечітку логіку та навіть експертні системи, які розглядаються у [21]. Враховуючи те, що розглянуті системи або належать до ЕГІС, або можуть бути відносно просто перетворені на ЕГІС за рахунок введення додаткових модулів, можна стверджувати, що розглянуті методи супроводження будуть підходити для використання із цими системами. Особливо це стосується розглянутих методів супроводження багатоагентних систем.

**Висновки.** Отже, був розглянутий загальний процес супроводження програмного забезпечення та виділені його фази. Аналіз літератури показав, що супроводження ЕГІС нині розглянуто недостатньо добре. Було виявлено, що ЕГІС можуть бути побудовані у вигляді багатоагентних систем. Знайдено підходи, які можуть покращити деякі фази супроводження програмного забезпечення ЕГІС. Було розглянуто створення агентів супроводження, що можуть автоматично виконувати

коригування параметрів під час роботи ЕГІС. Також проаналізовано найпопулярніші архітектури ГІС та ЕІС, виявлено способи їхнього перетворення на ЕГІС. Було виділено окремі модулі декількох сучасних архітектур ІС, доведено їхню належність до ЕГІС або способи їх перетворення на ЕГІС. Таким чином, можна стверджувати, що розробка та покращення ЕГІС є перспективним та актуальним напрямком, а супроводження ЕГІС заслуговує на подальше дослідження.

#### Список літератури:

1. Крапивный Ю.Н., Кривонос А.О. Архитектуры гибридных интеллектуальных систем. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2016. № 22. С. 260–266. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks\\_2016\\_22\\_45](http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2016_22_45).
2. Abraham A., Nath B. Hybrid intelligent systems design: A review of a decade of research. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics (Part-C)*. August, 2000. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.18.469&rep=rep1&type=pdf>.
3. Zhang Z., Zhang C. Building agent-based hybrid intelligent systems: A case study. *Web Intelligence and Agent Systems*. 2007. Vol. 5. № 3. P. 255–271.
4. Goerz G., Ludwig B., Reiß P., Schiemann B., Seutter T. Self-describing Agents. *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik : Proceedings of MKWI 2008, München, February 26–28, 2008*.
5. Ghrieb N., Mokhati F., Guerram T. Maintaining Organizational Multi-agent Systems: A Reorganization-based Preventive Approach. *Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*. February 4–6, 2021. Vol. 1. P. 384–389. DOI: <https://doi.org/10.5220/0010314803840389>.
6. Ramamoorthy C.V., Cooke D.E. The Correspondence Between Methods of Artificial Intelligence and the Production and Maintenance of Evolutionary Software. *Proceedings of Third International Conference on Tools for Artificial Intelligence*. November 10–13, 1991. P. 114–118. DOI: <https://doi.org/10.1109/TAI.1991.167083>.
7. Lemos A., Caminhas W., Gomide F. Evolving Intelligent Systems: Methods, Algorithms and Applications. *Emerging Paradigms in Machine Learning. Smart Innovation, Systems and Technologies*. 2013. Vol. 13. P. 117–159. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-28699-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-642-28699-5_6).
8. Abraham A. Hybrid Intelligent Systems: Evolving Intelligence in Hierarchical Layers. *Do Smart Adaptive Systems Exist? Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 2006. Vol. 173. P. 159–179. DOI: [https://doi.org/10.1007/3-540-32374-0\\_8](https://doi.org/10.1007/3-540-32374-0_8).
9. ДСТУ ISO/IEC 25010:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Моделі якості системи та програмних засобів (ISO/IEC 25010:2011, IDT).
10. ДСТУ ISO/IEC 14764:2014 Інженерія програмного забезпечення. Процеси життєвого циклу програмного забезпечення. Технічне обслуговування (ISO/IEC 14764:2006, IDT).
11. Kontogiannis K. Techniques for Software Maintenance. *Encyclopedia of Software Engineering*. 2011.
12. Pighin M. A New Methodology for Component Reuse and Maintenance. *Proceedings of the Fifth European Conference on Software Maintenance and Reengineering (CSMR '01)*. Lisbon, Portugal, Mar. 14–16, 2001. P. 196–199.
13. Hyland-Wood D., Carrington D., Kaplan S. Towards a software maintenance methodology using Semantic Web techniques and paradigmatic documentation modelling. *IET Software*. 2008. Vol. 2. No. 4. P. 337–347. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-sen:20070092>.
14. Abid N.J., Dragan N., Collard M.L., Maletic J.I. Using stereotypes in the automatic generation of natural language summaries for C++ methods. *2015 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*. 2015, P. 561–565. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSM.2015.7332514>.
15. Jacobsen H.-A. A generic architecture for hybrid intelligent systems. *1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems Proceedings. IEEE World Congress on Computational Intelligence (Cat. No.98CH36228)*. 1998. Vol. 1. P. 709–714. DOI: <https://doi.org/10.1109/FUZZY.1998.687575>.
16. Загоруйко Ю.А. Подход к построению интеллектуальных информационных систем на основе семантических сетей. *Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2011)*. Минск, февраль 10–12, 2011. С. 15–20.
17. Левус Є.В., Гучок Ю.О., Нитребич О.О. Архітектурне рішення для побудови інтелектуальних інтерфейсів користувача. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018. Т. 28, № 8. С. 155–160. DOI: <https://doi.org/10.15421/40280831>.

18. Chernenkiy V., Gapanyuk Y., Terekhov V., Revunkov G., Kaganov Y. The hybrid intelligent information system approach as the basis for cognitive architecture. *Procedia Computer Science*. 2018. Vol. 145. P. 143–152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.11.022>.

19. Смирнов И.В., Панов А.И., Скрынник А.А., Чистова Е.В. Персональный когнитивный ассистент: концепция и принципы работы. *Информатика и её применения*. 2019. Т. 13. № 3. С. 105–113. DOI: <https://doi.org/10.14357/19922264190315>.

20. Польшкалин В.Я., Баклан И.В. и др. Информационное обеспечение интегрированных АСУ ГПС. Т. 2. Москва : Машиностроение, 1989. 888 с.

21. Баклан И.В. Експертні системи. Курс лекцій : навчальний посібник. Київ : НАУ. 2012. 132 с.

## **Pokhylenko O.A., Baklan I.V. MAINTENANCE OF EVOLVING HYBRID INTELLIGENT SYSTEMS**

*The article considers hybrid intelligent systems (HIS), evolving intelligent systems (EIS), and evolving hybrid intelligent systems (EHIS) – a type of intelligent systems that combines the advantages of HIS and EIS. Despite the increased interest in intelligent systems, as well as the prospects for their use, it was found that the maintenance of EHIS is given insufficient attention. The general process of software maintenance and its phases are investigated. The considered phases were applied to the maintenance of EHIS. Various methods of maintenance of intelligent systems were considered and their use for maintenance of EHIS was suggested. The influence of appropriate methods on the phases of maintenance of EHIS is considered. A combination of methods to improve maintenance of EHIS is proposed. Also, as a result of the study, it was found that EHIS should be created in the form of multi-agent systems. The possibility of creating maintenance agents that allow to automatically make changes to the system to prevent its degradation was considered. The use of maintenance agents as an auxiliary element to improve maintenance of EHIS is proposed. Prospects for the development of multi-agent EHIS with the use of maintenance agents and the use of metadata to create self-describing agents in order to improve the maintenance of EHIS are considered. It is suggested that adding metadata to agents can also be used to create a help system, which can increase the usability of EHIS. Also in the article the architectures of HIS and EIS were analyzed, and the ways of their transformation into EHIS were offered. Some modern architectures of intelligent systems and their separate modules are considered. The belonging of the considered systems to EHIS is proved, and hence the possibility of applying the proposed methods and approaches of maintenance. It is assumed that the presentation of knowledge and maintenance of knowledge bases in EHIS requires separate consideration. As a result, it was found that the maintenance of EHIS deserves more in-depth study.*

**Key words:** computational intelligence, hybrid intelligent system, knowledge representation, multi-agent system, software architecture, software maintenance.

**Прокопенко О.О.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Антоненко Н.С.**

Українська інженерно-педагогічна академія

**Гулей О.Б.**

Українська інженерно-педагогічна академія

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ Й НАПРЯМИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

*У статті проведено аналіз розвитку технологій забезпечення необхідного рівня надійності обладнання в газовому комплексі України. Розглянуто методичні підходи й технічні засоби щодо забезпечення такого рівня, які в цілому базуються на принципах і підходах до експлуатації об'єктів «за станом», замість планової експлуатації їх «за ресурсом». Реалізуються такі підходи виключно методами неруйнівного контролю об'єктів газотранспортної системи.*

*Метою роботи є огляд і порівняльна оцінка низки проблем і завдань, які пов'язані зі створенням сучасної системи вібраційного контролю й упровадженням діагностики «за станом» для компресорних станцій газотранспортної системи України. На базі виконаного огляду науково-технічних публікацій запропоновані й обґрунтовані оцінки суттєвих аспектів методів ідентифікації для систем періодичної та безперервної діагностики елементів газоперекачувального обладнання «за станом».*

*Розглянуто та проаналізовано обмеження принципового характеру, які знижують ефективність наявних методів вібродіагностики, що ґрунтуються на статистичній обробці вібраційного сигналу обладнання компресорних станцій і використанні баз даних із досвіду практичної експлуатації обладнання. Проведено порівняльний аналіз методів оцінки реального стану обладнання компресорних станцій і стратегії прогнозування його ресурсу й передаварійного стану. Проаналізовано застосовність методів і відповідних пристроїв для оцінки реального стану обладнання компресорних станцій за допомогою функцій когерентності, кореляції та кепстру, для визначення місця витоку газу в газопроводі й величини витоку газу через запірну арматуру в разі втрати нею герметичності. Оцінено можливість виділення вібраційного вкладу несправностей кожного з агрегатів обладнання компресорних станцій у сумарну вібрацію газоперекачувальних агрегатів, використовуючи при цьому спектрально-кореляційний аналіз результатів вимірювання вібраційного сигналу у визначених контрольних точках.*

**Ключові слова:** технічний стан газотранспортного обладнання, експлуатація об'єктів «за станом», неруйнівний контроль, газотранспортна система, обладнання компресорних станцій, вібраційний сигнал, спектр, спектрально-кореляційний аналіз.

**Постановка проблеми.** Газотранспортна система (далі – ГТС) України становить 38,55 тис. км газопроводів із компресорними станціями (далі – КС), у тому числі магістральних – понад 22 тис. км., 13 підземних сховищ газу, мережі газорозподільних і газовимірювальних станцій, 71 КС і 1450 газорозподільних станцій. Кількість газоперекачувальних агрегатів (далі – ГПА) становить 692 одиниці, з них – 438 із газотурбінним приводом [1; 2].

Сьогодні близько 80% ГТС України експлуатуються понад 25 років. Так, більш ніж 17% лінійної частини магістральних газопроводів відпрацювали свій амортизаційний термін, а близько 50% мають малонадійне та неякісне антикорозійне покриття [1; 2; 3].

Така ситуація призводить до численних непланових зупинок роботи ГТС із наслідками різного ступеня тяжкості для технічного стану обладнання й порушень вимог безпеки праці. Так, за термін з 2002 року до 2009 року на магістралях ГТС України відбулося 415 випадків аварійних ситуацій і відмов [3]. Тому в Концепції розвитку, модернізації і переоснащення ГТС (затверджена урядом у 2009 році) зазначалося, що обладнання ГТС морально й фізично застаріло, ГПА компресорних станцій працюють неефективно. До цього варто зазначити, що за термін часу з 2010 року до 2016 року близько 36% аварійних ситуацій ГТС виникли з причин старіння саме обладнання КС. Із цього випливає, що умовою розвитку галузі є



насамперед надійність роботи ГТС, яка, у свою чергу, значною мірою визначається ступенем зносу ГПА.

Ще одним важливим чинником розвитку ГТС України є сучасна тенденція до безвахтового обслуговування ГТС, яка вимагає діагностичного обстеження технічного стану обладнання КС у режимі реального часу за умови безперервної експлуатації. Тим самим сучасні ГТС разом із САУ контролю утворюють великі об'єднані багатоконпонентні структури [4].

Але вирішення цієї проблеми ускладнено тим, що для забезпечення безвідмовної роботи ГПА сьогодні традиційно використовують систему планово-запобіжних ремонтів (далі – ППР). Ця система базується на запобіганні відмовам і забезпеченні необхідного технічного стану ГПА шляхом проведення комплексу заходів згідно з розробленими графіками ППР, які регламентовані галузевими нормативними документами.

Згідно зі стратегією експлуатації, за ППР будь-який ГПА, час роботи якого досягає терміну чергового ремонту, може бути виведеним у ремонт у справному стані. З іншого боку, якщо в міжремонтний період у будь-якому ГПА під час роботи стрімко почне розвиватися дефект, це може призвести до виходу його з ладу раніше досягнення терміну ППР, унаслідок чого ГПА вимагатиме ремонтно-відновлюваних робіт. Тому комплекс заходів ППР не забезпечує достатньої надійності агрегатів і призводить до необґрунтованих витрат їх деталей і вузлів, зайвих ремонтів і простоїв.

Можна констатувати, що найбільш перспективним підходом до експлуатації ГТС є перехід на обслуговування «за технічним станом», коли операції з обслуговування визначаються фактичним технічним станом агрегату. Тому науково-технічне забезпечення цього переходу є актуальним і безумовним завданням для газової галузі [1; 4; 7; 8; 10–12, 15–17].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням оптимізації профілактичних і відновлювальних робіт і ремонтів на ОКС присвячено багато досліджень із використанням теорії надійності й масового обслуговування [4–7] та ін. Аналіз цих робіт показав, що найбільш оптимальною є система обслуговування обладнання «за технічним станом» [4; 6; 8–10; 14–17]. Перехід до цієї системи є можливим тільки на основі розвинутої методології та технічних засобів, які забезпечують безперервну діагностику ГПА в режимі реального часу.

Вирішенню проблем, розробці й упровадженню методів діагностування технічного стану

ГПА для забезпечення енергоефективності газотранспортних підприємств присвячено велику кількість наукових публікацій [1; 4; 6; 8–12; 14–17].

Так, у роботі [11] автор констатує, що найбільша кількість досліджень з аналізу стану газотранспортної стосується оцінки технічного стану ОКС, а саме моніторингу параметрів ГПА. Далі він робить висновок, що аналіз великої кількості робіт із цього напрямку дослідження свідчить про відсутність сьогодні єдиних підходів до комплексності аналізу параметрів і характеристик умов експлуатації обладнання об'єктів ГТС.

У свою чергу, з матеріалів роботи [12] випливає, що найбільш ефективним напрямом технічної діагностики ГТС є вібродіагностика в контролі передаварійного стану газотурбінних установок (далі – ГТУ), що входять до складу ГПА. Автор підтверджує цей висновок даними експлуатаційної статистики ГПА за умови віброконтролю технічного стану ГТУ. Також у роботі наводиться думка, що основною проблемою методів вібродіагностики ГТС нині є відсутність ефективних способів обробки безпосередніх сигналів систем контролю. Загалом ці способи є базованими як на детерміністському підході (спектральні характеристики процесу), так і на стохастичному описі (оцінки кореляційних функцій, щільності розподілу, тощо), методи обробки яких безперервно вдосконалюють [12].

Аналіз проблем вібродіагностики стану ГТС говорить про тенденцію пошуку рішення їх за допомогою спектрально-кореляційного та когерентно-кепстрального аналізів віброакустичного (далі – ВА) сигналу, який супроводжує роботу ГПА. З іншого боку, з факторів, що найбільше перешкоджають успішному розвитку вібродіагностики ГПА «за станом», треба відмітити відсутність достовірно встановленої залежності між дефектами та відповідними спектральними, кореляційними, когерентними й кепстральними параметрами вібрації. Для цього не вироблені норми та допустимі величини параметрів вібрації. Немає класифікації дефектів, що спричиняють вібрацію обладнання ГПА [4; 8; 11–17].

З іншого боку, навіть за умови успішної розробки засобів безперервної діагностики ГПА газова галузь не готова й не завжди здатна економічно ефективно здійснювати такі комплексні проекти. Тому не можна виключати з практики контролю ГПА варіанти ручного збору даних для періодичного діагностування за допомогою, наприклад, колекторів-збирачів з подальшою обробкою цих даних на ПЕОМ. Тут необхідна

розробка діагностичних баз даних та універсальних переносних вібродіагностичним (далі – ВД) приладів для визначення технічного стану (далі – ТС) і дефектів ГПА [4; 6; 8; 12; 14-16].

**Постановка завдання.** На підставі даних літературного огляду сформулювати низку проблем і завдань, які пов'язані зі створенням сучасної системи вібраційного контролю й упровадженням діагностики «за станом» для обладнання КС на ГТС України. У результаті поставлено завдання щодо оцінки суттєвих аспектів методів ідентифікації для систем періодичної та безперервної діагностики елементів ГПА «за станом»:

1. Розглянути і проаналізувати обмеження принципового характеру, які знижують ефективність наявних методів вібродіагностики, що ґрунтуються на статистичній обробці вібраційного сигналу (далі – ВС) ОКС і використанні баз даних із досвіду практичної експлуатації обладнання.

2. Провести порівняльний аналіз методів оцінки реального стану ОКС, виходячи з розподілу спектральних складових вібрації, а також стратегії прогнозування ресурсу та передаварійного стану ОКС за допомогою тренду спектральних складників вібрації.

3. Проаналізувати методи й відповідні пристрої для оцінки реального стану ОКС за допомогою функцій когерентності, кореляції та кепстру, для визначення місця витoku газу в газопроводі й величини витoku газу через запірну арматуру при втраті нею герметичності.

4. Оцінити можливість виділення вібраційного вкладу несправностей кожного з агрегатів обладнання КС у сумарну вібрацію ГПА, використовуючи при цьому спектрально-кореляційний аналіз результатів вимірювання ВС у визначених точках.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Упровадження системи технічного обслуговування «за станом» базується на глибоко розвиненій системі діагностування та прогнозування технічного стану ГПА.

Необхідно зазначити, що кількість параметрів і змінних стану, які характеризують об'єкт у реальному режимі часу в ході експлуатації ГПА, перевищує 600 одиниць [12]. Тому вихідний контроль стану ГПА в реальному режимі часу зводиться до комплексу окремих метрологічних завдань, які часто самі ще не мають задовільного рішення. Для цього потрібні ефективні системи прямого й непрямого вимірювання та оцінок різномірних фізичних величин у складних умовах роботи.

У свою чергу, за результатами огляду можна стверджувати, що найбільша кількість досліджень

стосується оцінки технічного стану ГТУ, здебільшого моніторингу параметрів ОКС. Це відповідає вимогам надійності ГТУ як механічно й термічно високо навантаженого обладнання, до якого відносять турбінні та компресорні робочі лопатки.

У газотурбінних ГТУ насамперед не вдається уникнути пошкоджень робочих лопаток, обумовлених резонансними коливаннями, оскільки частоту власних коливань неможливо відокремити від можливих резонансів. Установлено, що причинами підвищеної вібрації лопаток [4; 8–12; 14–16] є:

- збільшення дисбалансу обертових деталей ротора;
- неконсервативні сили масляного шару підшипників ковзання;
- ослаблення або зникнення натягу на вкладишах підшипників;
- деформація корпусу в разі неприпустимого теплового розширення;
- перекося й розхитаність у підшипниках кочення й ковзання;
- порушення центрування ГТУ.

У відцентровому нагнітачі та його обв'язці виявлено високочастотні вібрації лопаток, що призводять до неприпустимих динамічних напружень елементів і вузлів. У свою чергу, по трубопроводах відбуваються перетікання крізь запірну арматуру, які призводять до великих утрат газу.

До теперішнього часу для віброконтролю і знаходження дефектів ОКС використовувалися методи спектрального аналізу вібрації й пристрої реєстрації загального рівня вібрації. Спектральний аналіз, заснований на емпіричних даних експлуатації, відображено в низці стандартів і норм щодо загального рівня вібрації [13; 16; 17]. Однак він не дає змогу контролювати передаварійний стан окремих деталей і вузлів ОКС.

Щодо трубної обв'язки не існує норм і недостатньо повно розроблені методи аналізу високочастотних вібрацій. Визначення втрат газу при перетіканнях у трубі й у кранах, засноване на різниці спектрів і кореляційної функції сигналу шуму витoku, має низку недоліків та обмежень у порівнянні з використанням перехресного кепстру й функції когерентності.

У свою чергу, недоліки, притаманні методам і засобам вібраційного контролю, обумовлюють низку невирішених науково-практичних проблем, пов'язаних із контролем технічного стану ОКС [7; 8; 12; 14-17].

Перспективним напрямом дослідження технічного стану ГТС є нормування та прогнозування граничних параметрів вібрації ГПА для віброкон-

тролю пошкоджень і передаварійного стану ОКС, що потребує комплексного підходу шляхом вирішення таких завдань [8-10; 12; 15-17]:

1) створення класифікації напрямів віброакустичної діагностики, у тому числі класифікації методів і засобів вібраційного контролю передаварійного стану деталей і вузлів обладнання компресорів;

2) розробка математичних моделей механічних коливань ГПА для оцінки амплітуд роторних гармонік і субгармонік спектру швидкостей вібрацій корпусів підшипників бездефектного агрегату й у разі появи характерних його дефектів;

3) установлення властивостей перехресного кепстру вузькосмугового випадкового сигналу для ідентифікації джерел дефектів, виявлення місць течі та механічних напружень у газопроводі;

4) розробка математичної моделі нормування високочастотної вібрації ГПА й обв'язки відцентрових нагнітачів (далі – ВЦН), лопаткових гармонік віброшвидкостей, визначення співвідношення амплітуд лопаткових і бічних смуг частот при зміні частоти ВС лопаток, а також за наявності характерних несправностей лопаткового апарату й функціонального стану ГПА;

5) установлення властивостей перехресного кепстру вузькосмугового випадкового сигналу для ідентифікації джерел дефектів, виявлення місць течі й механічних напружень у газопроводі;

6) визначення втрат газу за допомогою спектральної щільності та когерентності вібрації корпусу запірної арматури, що збуджується шумом перетікання негерметичного крана;

7) розробка комп'ютерного програмного забезпечення для обробки віброакустичних сигналів;

8) оцінювання похибки вимірювання й обробки віброакустичних сигналів для запропонованих методів.

Основними етапами дослідження технічного стану ОКС мають бути:

1) формулювання проблеми вібродіагностики ОКС;

2) розробка алгоритму та програми ЕОМ для спектрально-кореляційної обробки віброакустичного сигналу;

3) розробка способу поділу дефектів ГПА, обумовлених періодичними сигналами однакової частоти, за допомогою автокепстру;

4) отримання в явному вигляді залежності амплітуд лопаткових частот швидкості вібрації корпусів ОКС від коефіцієнта корисної дії (далі – ККД), а також утрати потужності від перетікання ГТУ і ВЦН;

5) експериментальне встановлення залежності низькочастотної самозбуджувальної вібрації обв'язки ВЦН від швидкості потоку газу, числа Струхалія, акустичних та оболонкових резонансних коливань газопроводу;

6) установлення характеру зміни амплітуди роторних гармонік спектра вібрації парку ГПА;

7) розробка алгоритму розрахунку коефіцієнтів технічного стану ГТУ, ГПА і ВЦН;

8) формування співвідношення амплітуд роторної, половинної й подвійної гармоніки вібрації корпусу ГПА за наявності дефектів ОКС.

Практична реалізація вказаних етапів надасть інформацію про природу вібраційних процесів і можливість нормування й розрахунку очікуваних параметрів вібрації ще на стадії проектування зразків нової техніки. Для цього доцільною є класифікація устаткування КС, яке можна поділити на чотири групи за їх призначенням і застосуванням.

До першої групи віднесемо обладнання, що застосовують для безпосереднього перекачування газу, - ГПА: привід і нагнітач.

До другої групи належать системи забезпечення ГПА (маслосистема, автоматика, контрольно-вимірювальні прилади (КВП), пристрої забору повітря (ПЗП), агрегати повітряного охолодження (АПО) газу тощо).

До третьої групи віднесемо обладнання технологічної обв'язки трубопроводів нагнітача (крани, запірну арматуру з електродвигунами, опори трубопроводів, пиловловлювачі, вузли підготовки й очищення газу, турбодетандери, трубопровід обв'язки, регулювальні клапани).

До четвертої групи належить допоміжне обладнання КС (дизельні двигуни, електродвигуни, повітродувки, насоси, підйомні крани тощо).

Об'єктом дослідження при аналізі технічного стану газотранспортного підприємства є обладнання, що включає такі основні елементи газоперекачувальної системи (рисунок 1): ГТУ (електродвигун); ВЦН; кран № 1; кран № 2; кран № 3; трубна обв'язка ВЦН; прилегла частина газопроводу; байпасні крани; крани, що мають вихід на свічку.

Газоперекачувальна система має бути оснащеною віброакустичними засобами вимірювання, що включають пристрої спектрального, кореляційного, кепстрального й когерентного аналізу вібрації ОКС.

Таким чином, об'єктом і предметом дослідження при ВД є спектральний, кореляційний, когерентний і кепстральний віброконтроль і вібродіагностика поточного, дефектного й пере-

даварійного стану газотранспортного обладнання (ГПА, ГТУ, ВЦН), обв'язки та запірної арматури за параметрами вібрації, що супроводжує роботу обладнання, в умовах промислової експлуатації на КС без його зупинки та розбирання, тобто неруйнівними методами.

Розглянемо, яким чином нині відбувається контроль поточного й передаварійного стану обладнання у вітчизняній газовій промисловості.

Для газоперекачувальної техніки в АТ «Укртрансгаз» типовий регламент її обслуговування - при якому на весь період призначають усі види ППР і визначають жорсткі терміни їх проведення. Крім того, для кожного ППР установлюють суворий обсяг (із планованими трудовими й матеріальними витратами) виконуваних робіт на кожному етапі експлуатації ГПА. Ці заходи призначають із досвіду експлуатації ГПА з урахуванням наявної статистики з відмов. У міру накопичення статистичних даних ці ППР мають уточнюватися. За даними ТОВ «Трансгаздіагностика», у ППР вводяться до 40% ГПА, які цих ремонтів у цей час не потребують [14].

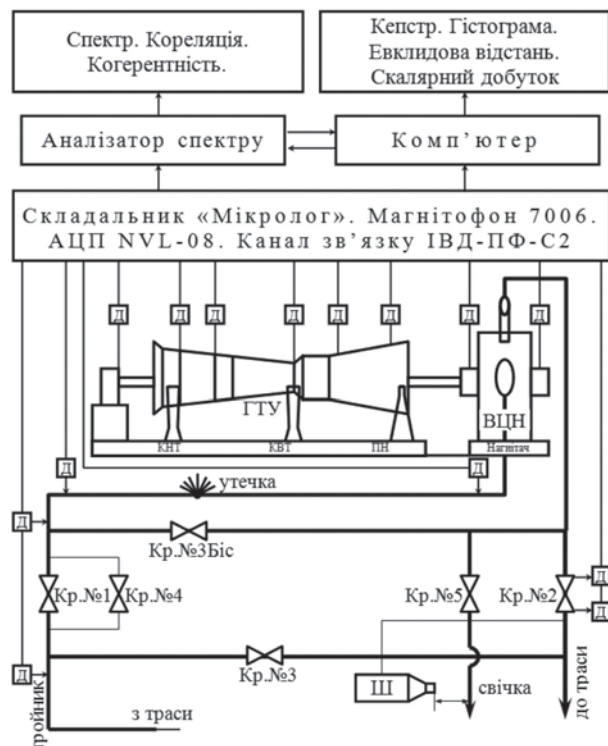


Рис. 1. Схема вимірювання й обробки віброакустичного сигналу ОКС

Теоретично обґрунтовано [7], що навіть експлуатація до вироблення ресурсу (без ремонтних і профілактичних робіт) до повного руйнування й заміни об'єкта є економічно вигіднішою, ніж експлуатація з ППР. Відзначається, що ППР застосовують як вимушений (тимчасовий) захід на стадії доведення коштовних об'єктів, призначених для тривалої експлуатації.

Через те що всі ППР незалежно від вироблення ГПА повного ресурсу призначають із однаковими обсягами робіт, передбачається здійснення профілактики з повним відновленням технічного стану. На практиці повне відновлення технічного стану ГПА здійснити вдається (імовірно) тільки на початку експлуатації. Однак із плином часу в силу старіння системи профілактичні роботи вже не можуть повністю відновити систему і проведення таких ППР є економічно не виправданим. При розгляді витрат на ППР для ГПА, які не потребували відновлення (обсяг і витрати ті самі), стає очевидним, що вони до цих пір не враховуються в собівартості транспорту газу. Дослідження [8] показали, що ремонти в цьому випадку значно погіршують технічний стан і прискорюють старіння агрегату.

У свою чергу, система обслуговування за технічним станом передбачає вибір реальних співвідношень між обсягом і термінами ППР на всіх етапах експлуатації газотранспортного обладнання. Для призначення ППР використовують інформацію не лише про поведінку ГПА в експлуатаційних умовах за останній проміжок часу, а й про його стан у моменти проведення контрольних перевірок.

Працездатність ГПА в процесі експлуатації характеризують  $j$  параметрів ( $j$  - число параметрів, яке залежить від глибини діагностування та кількості дефектів, що можуть бути розпізнаними). При  $\xi(t) < \xi_{i0}(t)$  агрегат вважають працездатним. На кожному етапі (контрольні перевірки) існує своє початкове значення цього параметра. При досягненні  $\xi_j$  певного рівня зародження дефекту рекомендується контролювати стан ГПА з меншим інтервалом. У свою чергу, при досягненні величиною  $\xi_j$  межі допустимого рівня, яка відповідає передаварійному стану агрегату, необхідно зробити профілактику або ремонт ГПА.

Таким чином, планомірний контроль технічного стану ГПА виключає проведення профілактики й (або) ремонтів для агрегатів із допустимим рівнем коефіцієнта технічного стану.

Дослідження [8] показали ефективність застосування цієї системи, за якої знижуються середні питомі витрати на один крок контролю й сумарні витрати на ППР. Зменшується число замінених елементів і час простою об'єкта в ремонті. Але такий підхід до ППР потребує створення деяких передумов, основні з яких включають вирішення таких завдань:

– накопичення значимої множини статистичних даних, отриманих під час експлуатації, що включають виявлені дефектні елементи й експертні оцінки причин відповідних відхилень параметрів від рівня бездефектного ГПА (створення бібліотеки несправностей);

– розробку сукупності методів і засобів для безпосереднього вимірювання й оцінки величин, що характеризують стан обладнання;

– розробку методики, яка дає змогу на підставі даних вимірювань визначити технічний стан, що існує в цей момент часу, у разі початку розвитку дефекту запобігти його подальшому розвитку.

Теоретичну основу для вирішення зазначених проблем забезпечують принципи й методи діагностики складних технічних систем «за станом».

**Висновки.** Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Відомі методи ВД, засновані на статистичній обробці даних вібраційних вимірювань у ході експлуатації (без застосування спеціально організованих експериментів і методів параметричної ідентифікації джерел вібрації), відчувають такі обмеження принципового характеру:

а) труднощі задовільного пояснення появи дискретних частотних викидів спектра віброколивальних;

б) відсутність аналітичних залежностей між видом складників спектру та кількісною характеристикою несправностей;

2. Способи ідентифікації дефектів передаварійного стану ОКС шляхом обробки вібро сигналу за допомогою стандартних методів спектрального аналізу (без використання когерентних, кепстральних і кореляційних залежностей вібро сигналу):

а) призводять до помилок під час ідентифікації дефектів ГПА;

б) не визначають наявності джерела витоку в ГТС, його місцезнаходження та величину витоку газу в запірній арматурі.

3. Технічний стан ОКС характеризує вібрація корпусів обладнання, а кожен дефект робить свій внесок у сумарну вібрацію, а саме:

а) вібрації корпусів ОКС містять суцільний безперервний спектр із дискретними складниками, що становлять роторні та субгармонічні амплітуди частот обертання, автоколивання резонансного характеру та лопаткові вібрації з бічними смугами частот;

б) рівні віброшвидкостей дискретних складників спектру на величину від 10 дБ до 30 дБ перевищують рівень безперервного спектру;

с) справний і дефектний стан обладнання повністю визначають співвідношення рівнів дискретних складників спектру, а суцільний спектр є широкосмуговим шумом немінучих перешкод.

4. Наявні математичні моделі оцінок спектру сигналів від справного та несправного ГПА дають змогу вирішити такі завдання:

а) спланувати дослідження вібровипробувань і виділити інформативну частину в спектрах вібрації ОКС;

б) отримати оцінку залежності параметрів технічного стану від рівнів складників спектрів віброшвидкостей корпусів ОКС;

с) експериментальним шляхом дослідити відмінності в технічних станах ОКС і виявити відповідні цим відмінностям кількості рівнів спектральних складників.

5. Розрахункове моделювання перехресного кепстру вібро сигналу від корпусів ОКС (як випадкового процесу або детермінованої вібрації, зашумленої широкосмуговим шумом) показало, що кепстр у цьому випадку є схожим на кореляційну функцію такого шуму. Ця властивість кепстру використана для ідентифікації трактів поширення сигналу, де застосування кореляційної функції є обмеженим, що дає змогу:

а) ідентифікувати джерело детермінованої вібрації;

б) розробити спосіб визначення координат мікровитоків газу в газопроводі та спосіб оцінки статичної напруги в його стінках.

6. Використання функцій когерентності сигналу ВА для експериментально-розрахункових досліджень протікання газу через запірну арматуру ГКС дало можливість оцінити залежності величин цих протікань від сумарного рівня вібрації крана (для частотних діапазонів, що відповідають третій октаві).

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

Ці результати мають бути використані при створенні й упровадженні методів і способів діагностики ГТУ «за станом» для ГТС України.

#### Список літератури:

1. Горбійчук М.І., Когутяк М.І., Скріпка О.А. Контроль технічного стану газоперекачувальних агрегатів. *Методи та прилади контролю якості*. 2005. № 13. С. 18–19.

2. Характеристика газотранспортної системи України / С. Януль, К. Павлов, М. Коротя, С. Галянт. *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. 2019. № 1 (17). С. 31–38.

3. Мандрик О.М. Аналіз причин аварійних ситуацій та руйнувань магістральних газопроводів. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.1. С. 156–162.

4. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Москва : Недра, 1987. 197 с.

5. Балицкий Ф.Я. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. Москва : Наука, 1984. 120 с.
6. Ігуменцев Є.О., Прокопенко О.О. Підвищення безпеки експлуатації газотранспортного комплексу України. *Якість технологій та освіти* : збірник наук. пр. Укр. інж.-пед. акад. Харків, 2011. Вип. 2. С. 101–104.
7. Смирнов Н.Н., Цукович А.А., Загребальний В.И. О применении технической диагностики для определения сроков замены самолетных агрегатов. *Техническая диагностика* : сборник. Москва : Наука, 1972. С. 18–26.
8. Васильев Ю.Н., Бескелетный М.Е., Ігуменцев Е.А. Вибрационный контроль технического состояния газотурбинных перекачивающих агрегатов. Москва : Недра, 1987. 197 с.
9. Зарицкий С.П. Основные направления работ по разработке и внедрению в отрасли методов, средств и систем технической диагностики оборудования КС. *Диагностика оборудования и трубопроводов*. 1995. № 5. С. 3–17.
10. Ільченко Б.С. Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів : монографія. Харків : ХНАМГ, 2011. 228 с.
11. Романова К.О. Підвищення енерго-екологічної ефективності експлуатації енергетичних об'єктів ідентифікацією фактичного стану обладнання : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 «Екологічна безпека» / Н.-д. установа «Укр. НДІ екол. Проблем». Харків, 2019. 21 с.
12. Акимов В.И. Влияние неоднородности и колебаний эксплуатационных параметров работы ГПА на техническое состояние узлов газотурбинного привода : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы (нефтегазовая отрасль)». Уфа, 2020. 25 с.
13. Регламент измерений, необходимых для технической диагностики газоперекачивающих агрегатов, технологических объектов и общестанционного оборудования компрессорных станций. Москва : ВНИИ-ГАЗПРОМ, 1984. 46 с.
14. Ігуменцев Е.А. Исследование вибрации ГТУ в условиях эксплуатации. *Сборник ВНИИЭГАЗПРОМА. Серия «Транспорт и хранение газа»*. 1982. № 5. С. 7–9.
15. Ігуменцев Е.А., Прокопенко Е.А. Вибродиагностика ГПА на КС «Зеньков». *Вестник НТУ «ХПИ». Серия «Нові рішення в сучасних технологіях»* : сборник научных трудов. 2010. № 46. С. 63–67.
16. Прокопенко О.О., Антоненко Н.С. Класифікація основних напрямків віброакустичної діагностики передаварійного стану обладнання компресорних станцій. *53 Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників Української інженерно-педагогічної академії. Секція «Енергетика»* : збірник тез доповідей. Харків, 2020. С. 65.
17. Ігуменцев Е.А., Прокопенко Е.А. Вибродиагностика газоперекачивающего агрегата. *Научные известия НТСМ*. 2016. № 1 (187). С. 90–93.

**Prokopenko O.O., Antonenko N.S., Hulei O.B. TECHNICAL CONDITION OF GAS TRANSMITTING EQUIPMENT, PROBLEM ANALYSIS AND DIRECTIONS FOR SOLVING PROBLEMS**

*The article analyzes the development of modern technologies to ensure the necessary level of safety and reliability of equipment in the gas complex of Ukraine. Methodological approaches and technical means of solving these problems, which in general, are based on the principles and approaches to the operation of objects “by state” instead of their planned operation “by resource”, are considered. Such approaches are implemented exclusively by methods of non-destructive testing of gas transmission system facilities. The aim of the article is to substantiate the direction of solutions to a number of problems and tasks related to the creation of a modern system of vibration control and the introduction of diagnostics “by state” for the gas transmission system of Ukraine on the basis of a review of scientific and technical publications and an assessment of the essential aspects of identification methods for systems of periodic and continuous diagnostics of the GPU elements “by state”.*

*The fundamental limitations that reduce the effectiveness of existing methods of vibration diagnostics based on statistical processing of the vibration signal of the equipment of compressor stations and the use of databases on the experience of practical operation of equipment are considered and analyzed. A comparative analysis of methods for assessing the actual state of the equipment of compressor stations and strategies for forecasting its resource and pre-emergency condition is carried out. The applicability of methods and corresponding devices for assessing the actual state of the equipment of compressor stations using the functions of coherence, correlation and cepstrum, to determine the place of gas leakage in the gas pipeline and the amount of gas leakage through the shut-off valves in case of loss of tightness is analyzed. The possibility of isolating the vibrational contribution of malfunctions of each unit of equipment of compressor stations to the total vibration of gas pumping units is evaluated, using the spectral-correlation analysis of the results of measuring the vibration signal at certain control points.*

**Key words:** technical condition of gas transmitting equipment, operation of facilities according to their condition, non-destructive testing, gas transmitting system, equipment of compressor stations, vibration signal, spectrum, spectral and correlation analysis.

**Сікора О.В.**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

**Вдовичин Т.Я.**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

**Ших Н.В.**

Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка

## ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО СТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ БІБЛІОТЕЧНОЇ СИСТЕМИ

Інформаційні системи широко використовуються в різних сферах людського життя: управлінні, виробництві, освіті, науці, торгівлі, медицині, побуті тощо. Для пересічного користувача застосування інформаційних систем дає змогу за допомогою власного мобільного телефону перевірити функціональні можливості створених додатків як прикладів таких систем, що зорієнтовані під конкретні потреби.

Використання інформаційних систем в освітній галузі застосовується для різних цілей і в досить широких масштабах. Якщо інтегруватися на використання інформаційних систем конкретного навчального закладу, то одразу можна навести приклад використання електронних бібліотек як потужної електронної бази навчальних матеріалів для провадження освітньої діяльності.

У статті розкрито системний підхід до створення інформаційних систем, методи й технології їх побудови, а також особливості розробки програмних продуктів з використанням об'єктно-орієнтованого програмування. Зокрема, продемонстровано створення засобами об'єктно-орієнтованого програмування досконалої інформаційної системи щодо використання в освітньому процесі електронної бібліотеки, здатної виконувати певні функціональні призначення, задовольняти потреби користувачів і бути зручною та досконалою в користуванні. Створена інформаційна система «Електронна бібліотека» виконує низку функцій: перегляд списку джерел, пошук книги за заданим критерієм, додавання книги, редагування полів запису, видалення та зберігання книги тощо.

**Ключові слова:** інформаційна система, електронна бібліотека, об'єктно-орієнтоване програмування, візуальне середовище програмування.

**Постановка проблеми.** Сучасне суспільство завдяки широкому впровадженню інформаційних технологій у різноманітні сфери людського життя реалізує вирішення певних проблем із використанням інформаційних систем, що містять бази даних. Саме відомості з інформаційної системи є джерелом даних про користувача, організацію, установу тощо. Прикладами таких інформаційних систем сьогодні є реєстр страхувальників, судових рішень, боржників, лікарських засобів, адміністративних послуг, фінансових установ, навчальних закладів, єдиний державний реєстр осіб, система публічних закупівель, портал відкритих даних тощо. Кожна з представлених інформаційних систем має своє призначення, функціональні можливості й зорієнтована під потреби своїх користувачів.

Що стосується сфери освіти, то інформаційні системи повністю супроводжують навчальний процес, його адміністрування та управління.

Зокрема, Постановою Кабінету Міністрів України № 752 у 2011 році створено Єдину державну електронну базу з питань освіти (далі – ЄДБО), що «є автоматизованою системою збирання, реєстрації, оброблення, зберігання та захисту відомостей та даних з питань освіти» [1]. ЄДБО включає реєстр суб'єктів освітньої діяльності, документів про освіту, студентських або учнівських квитків, сертифікатів ЗНО й педагогічних працівників, вступу, довідки про навчання іноземців, інформацію про фізичну особу тощо.

У навчальному процесі окремого закладу освіти використовують найрізноманітніші інформаційні системи, що дають змогу якісніше й ефективніше здійснювати освітню діяльність і проводити управлінські рішення. Зокрема, ще одним прикладом використання інформаційних систем є функціонування електронних бібліотек як важливого компонента інформаційно-ресурсного забезпечення сучасного освітнього розвитку, як розвинутої

навчально-методичної інформаційної інфраструктури навчального закладу з віртуальною колекцією документів в електронній формі для користувачів через глобальні мережі передачі даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Можливості використання електронних бібліотек досліджено в працях О. Онищенко, Л. Дубровіна, В. Горовий [4], Ю. Хохлов, В. Шейко, О. Василенко, Т. Вилегжаніна та інших. У наукових працях автори О. Спірін [6], А. Яцишин [8], С. Іванова розглядали місце й роль мережі електронних бібліотек установ НАПН України в науково-освітньому просторі.

Основи створення інформаційних систем і їх розвиток розкрито в працях А. Берези [3], А. Мамиконова, Дж. Мартин [5] та ін. Програмній розробці додатків за допомогою об'єктно-орієнтованого середовища Delphi присвятили праці такі вчені, як В. Фаронов [7], Н. Культин, А. Архангельський [2], В. Рубанцев, С. Федотова, С. Попов, Ю. Ревіч та інші.

**Постановка завдання** – підходи до розроблення програмного забезпечення інформаційних систем на прикладі створення електронної бібліотеки навчального закладу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нині одним із найперспективніших способів інформаційного забезпечення освіти є використання електронних бібліотек. Сьогодні електронні бібліотеки є частиною освітнього інформаційного простору, а також складником інфраструктури інформаційного суспільства, адже весь час збільшується кількість джерел інформації, доступної тільки в електронній формі.

Електронні бібліотеки – це сучасні складні інформаційні системи, за допомогою яких можна надійно зберігати й ефективно використовувати різноманітні колекції електронних документів, локалізованих у самій системі чи доступних їй через телекомунікаційні мережі, що дає змогу представляти їх кінцевому користувачеві в зручному для нього вигляді [3].

Якщо порівняти традиційну бібліотеку й електронну, то можна побачити, що електронні бібліотеки надають повсюдний, цілодобовий доступ до інформації, широкий спектр пошуку потрібних відомостей, можливості спільного використання даних і збереження потрібних матеріалів у різних форматах. Також електронні бібліотеки мають можливість підтримувати свої інформаційні ресурси в актуальному стані.

Дуже часто в сучасному суспільстві можна почути термін «цифрова бібліотека», яка є сино-

німом електронної бібліотеки й надає точніше тлумачення визначення цього терміна, оскільки всі матеріали, що зберігаються в такій бібліотеці, попередньо тим або іншим чином оцифровуються, тобто мають дискретний характер. «Цифрова бібліотека – це система інформаційних послуг, у межах якої всі інформаційні ресурси існують в електронній формі, придатній для обробки на комп'ютері, а функції отримання, збереження, захисту, поновлення, доступу та перегляду інформації здійснюються шляхом застосування цифрових технологій» [4].

Якщо розглянути функціональні можливості електронних бібліотек, то варто відзначити, що інформація, яка в них міститься, може бути доступною як у звичній традиційній бібліотеці, пошук потрібного джерела можна здійснювати з будь-якого місця, де є доступ до глобальної мережі, а також електронна бібліотека може складатися з частин, які розміщені в різних місцях земної кулі. Ці показники дають можливість доповнити тлумачення терміна «електронна бібліотека» ще одним синонімом – «віртуальна бібліотека».

Електронна бібліотека складається з веб-сервера, що забезпечує доступ до ресурсів обчислювальної системи, сервера баз даних і сервера управління доступом користувачів бібліотеки до інформаційних ресурсів. Критеріями оцінювання діяльності електронних бібліотек можуть служити користувачі та їхні інформаційні потреби, характер і зміст інформаційних ресурсів, функціональні можливості електронних бібліотек.

Якщо проаналізувати використання електронних бібліотек для освітнього процесу, то кожен навчальний заклад має можливість розгорнути її діяльність, використовуючи певну інформаційну систему, яка відповідатиме його потребам. Сьогодні переважно на сайті кожного навчального закладу є можливість скористатися академічним репозитарієм електронної бібліотеки (рис. 1).

Інформаційну систему для функціонування електронної бібліотеки можна також створити самостійно. Для цих цілей обрано мову програмування Delphi, яка характеризується оригінальністю, універсальністю, а також різноманітністю щодо створення програмних продуктів.

Якщо прослідкувати за розвитком технологій програмування, то можемо констатувати, що вони зробили величезний крок уперед. Інструментальні засоби компанії Inprise/Borland Delphi й C++Builder надають низку можливостей для створення прикладних програм у режимі «клієнт-сервер», включаючи багатороздільні модулі й



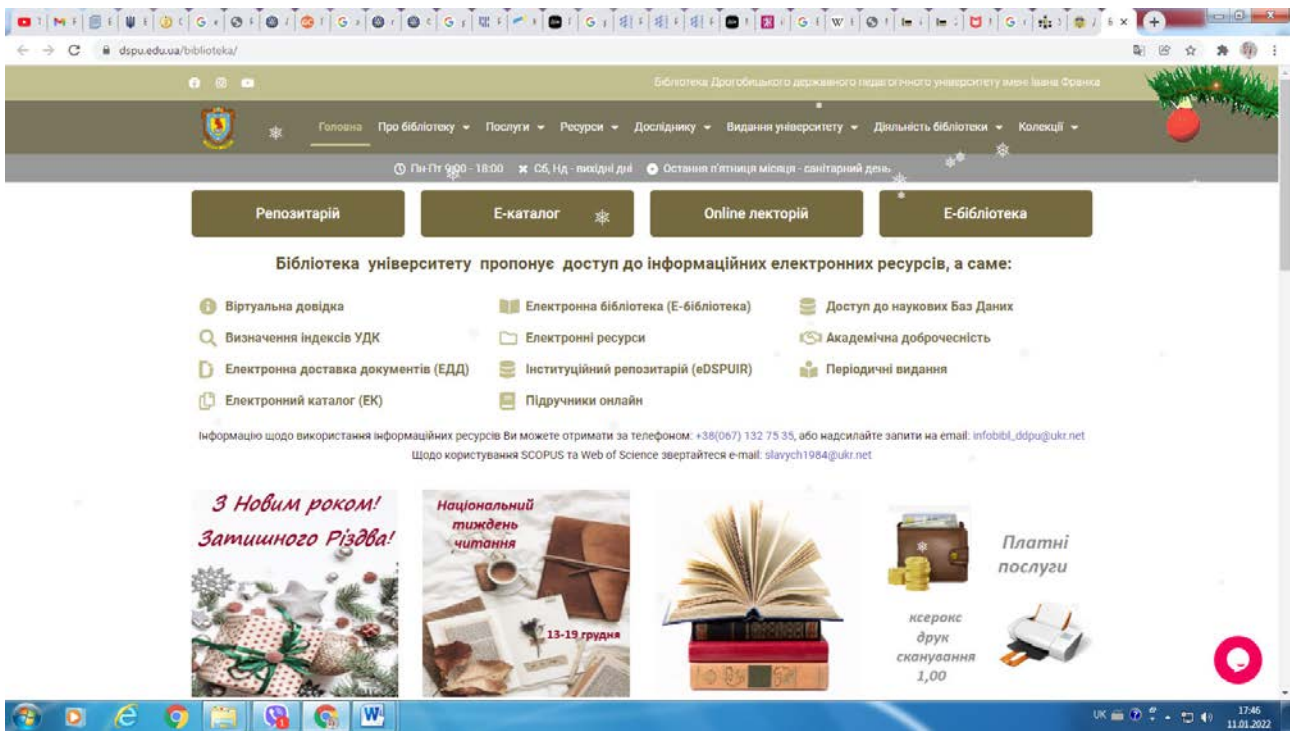


Рис. 1. Бібліотека ДДПУ імені Івана Франка

Internet/intranet-додатки. Система розробки Delphi дає можливість швидко та просто проектувати додатки, використовуючи елементи, властивості й правила мови програмування для задання самих процедур. У цьому середовищі є можливість роботи з бібліотекою Borland Database Engine, що дає можливість однотипного доступу до персональних баз даних і до серверних систем управління базами даних, що робить простішим сам процес проектування інформаційних систем.

Розробка програмного продукту в Delphi складається з двох основних кроків: по-перше, розміщення на формі основних компонент, візуального встановлення їх властивостей, у результаті чого можна швидко сформувавши користувацький

інтерфейс і забезпечити більшу частину функціональних можливостей системи; по-друге, написання програмного коду для забезпечення певних функцій інформаційної системи, яких неможливо досягти лише використанням візуальної побудови.

Інформаційна система для обслуговування клієнтів бібліотеки складається з головної форми (рис. 2), яка дає змогу внести зміни в базу даних або здійснити пошук літератури за заданим критерієм.

Вибір потрібного режиму роботи реалізовано за допомогою компоненти Button, яка використовується для реалізації в програмі команд за допомогою процесора події OnClick цього компонента. Один і той же обробник може обробляти події кількох компонентів Button (та й не тільки Button, а й навіть компонентів інших типів). Для визначення компонента, у якому потрібно обробляти команди, використовується вбудована змінна Sender типу TObject, що позначає об'єкт, який викликає цю подію.

Для перегляду каталогу електронної бібліотеки, пошуку книги за критерієм, створення переліку літератури за заданою умовою й очищення поля фільтра створено форму, зображену на рис. 3, на якій знаходяться компоненти DBGrid, два компоненти Combobox, DBNavigator, три компоненти Button і два компоненти Edit.

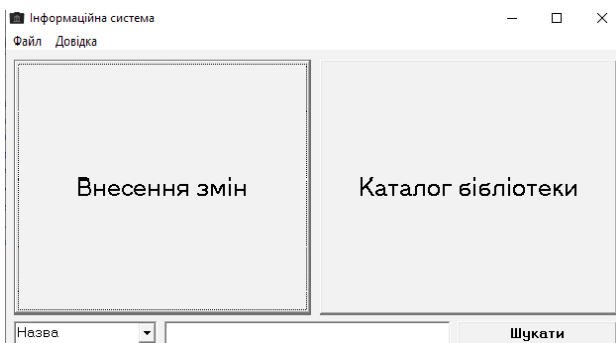


Рис. 2. Головна форма інформаційної системи «Електронна бібліотека»

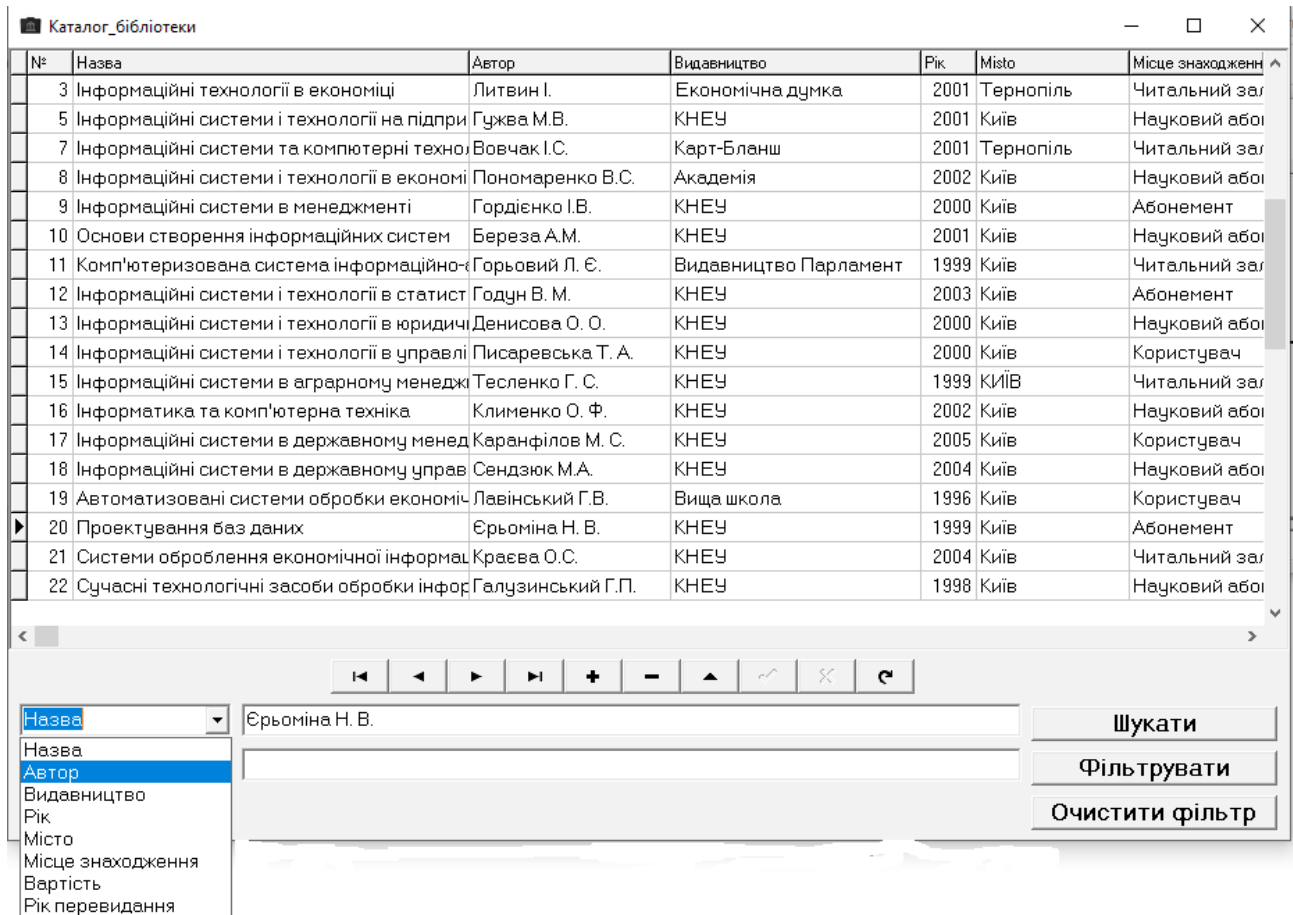


Рис. 3. Перегляд електронної бібліотеки та пошук книги за автором

Компонент DBGrid призначений для відображення в одному елементі керування цілої таблиці або набору даних. Кожному полю, що повертається в результуючому наборі даних, відповідає окремий стовпець, тому в цьому елементі властивість DataField не використовується, а встановлюється лише властивість DataSource. У таблицях за замовчуванням відображаються всі поля, включаючи ключове. Стовпці таблиці описуються властивістю Columns, що являє собою список елементів. За замовчуванням відображаються всі стовпці, а за допомогою спеціального редактора формується потрібний набір. За допомогою компонента Combobox користувач може вибрати критерій пошуку потрібної літератури.

Компонент DBNavigator1 доданий на форму для переміщення по записах таблиці. Цей компонент також має властивість DataSource, у якій потрібно вказувати, якою таблицею керувати. Також на формі розміщено два компоненти Edit, за допомогою яких задається значення критеріїв. Програмний код для здійснення фільтрування в електронній бібліотеці подано на рис. 4.

Якщо користувач у полі пошуку ввів некоректний запис або такої книги немає в базі електронної бібліотеки, то виводиться повідомлення, як показано на рис. 5.

На рис. 6 показано форму для редагування записів у базі даних електронної бібліотеки. Цю форму можна умовно поділити на три частини: 1) компоненти для переміщення по базі редагування (перший, попередній, наступний та останній, які розміщені у верхній частині форми); 2) компоненти для редагування назви, автора, міста, видавництва, року видання тощо, що згруповані в центральній частині форми;

3) компоненти для додавання, збереження та видалення книги, що знаходяться в нижній частині форми.

Для роботи з базою даних інформаційної системи основними компонентами є Table та DataSource. Об'єкт Table оперує з даними, забезпечує доступ до них, а його властивості й методи задають реляційні таблиці бази даних незалежно від її виду. Об'єкт DataSource призначений для забезпечення взаємозв'язку між компонентами, що призначені для роботи з даними (Table,

```

procedure TView_Form_.Button2Click(Sender: TObject);
begin
    Table1.Filtered := False;
    case Combobox2.ItemIndex of
        0:begin
            Table1.Filter := 'Name=' + QuotedStr(Edit2.Text+'*');
        end;
        1:begin
            Table1.Filter := 'Avtor=' + QuotedStr(Edit2.Text+'*');
        end;
        2:begin
            Table1.Filter := 'Vudavnuctvo=' + QuotedStr(Edit2.Text+'*');
        end;
        3:begin
            Table1.Filter := 'Rik=' + Edit2.Text;
        end;
        4:begin
            Table1.Filter := 'Misto=' + QuotedStr(Edit2.Text+'*');
        end;
        5:begin
            Table1.Filter := 'Znah=' + QuotedStr(Edit2.Text+'*');
        end;
        6:begin
            Table1.Filter := 'Vartist=' + Edit2.Text;
        end;
        7:begin
            Table1.Filter := 'Rik_p=' + Edit2.Text;
        end;
    end;
    Table1.Filtered := True;
end;

```

Рис. 4. Програмний код події OnClick кнопки «Фільтрувати»

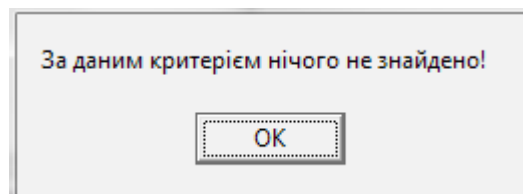


Рис. 5. Повідомлення про відсутність запису в БД

The screenshot shows a window titled "Інформаційна система\_Внесення змін". At the top, there are navigation buttons: "Перший", "Попередній", "Наступний", "Останній", and a page number "3". Below this is a form with the following fields and values:

Назва	Інформаційні технології в економіці
Автор	Литвин І.
Місто	Тернопіль
Видавництво	Економічна думка
Рік	2001
Місце знаходження	Читальний зал
Вартість	50
Рік перевидання	

At the bottom of the form, there are three buttons: "Видалити біжучу книгу", "Додати книгу", and "Зберегти".

Рис. 6. Режим редагування

Query або StoredProc), з візуальними об'єктами, які показують числові й текстові дані (DBGGrid, DBEdit, DBListBox тощо). Головна мета компонента DataSource – спрощення роботи й модернізація додатків.

Отже, середовище програмування Delphi володіє широкими можливостями щодо створення подібних інформаційних систем, а загалом використання засобів об'єктно-орієнтованого програмування дає змогу спроектувати зручну для користування інформаційну систему, що здатна виконувати певні функціональні призначення.

**Висновки.** Сьогодні розробляються системи нового покоління, інформаційні системи при-

йняття оптимальних рішень і системи, які ґрунтуються на штучному інтелекті. Мета побудови будь-якої інформаційної системи – створити систему опрацювання інформаційних ресурсів із певними функціональними можливостями. Інформаційну систему створюють для розв'язування завдань певної галузі, полегшення функціональних обов'язків працівників, автоматизації рутинної праці, упровадження нових завдань. Процес упровадження інформаційної системи в керування якоюсь галуззю вимагає зміни принципів керування цим підприємством, зміни функціональних обов'язків персоналу, оптимізації всіх структур галузі тощо.

#### Список літератури:

1. Єдина державна електронна база з питань освіти. URL: <https://info.edbo.gov.ua/about/> (дата звернення: 16.01.2022).
2. Архангельский А.Я. Программирование в Delphi 7. Москва, 2003. 568 с.
3. Береза А.М. Основи створення інформаційних систем : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2001. 214 с.
4. Електронні інформаційні ресурси бібліотек у піднесенні інтелектуального і духовного потенціалу українського суспільства / С.О. Онищенко, Л.А. Дубровіна, В.М. Горовий та ін. Київ : НБУВ ім. В.І. Вернадського, 2011. 235 с.
5. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем. Москва : Финансы и статистика, 1984.
6. Проектування системи електронних бібліотек наукових і навчальних закладів АПН України / О.М. Спірін, В.М. Саух, В.А. Резніченко, О.В. Новицький. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2009. № 6 (14). URL: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/213/199> (дата звернення: 21.11.2021).
7. Фаронов В.В. Программирование баз данных в Delphi 7 : учебный курс. Питер, 2006. 459 с.
8. Яцишин А.В. Місце і роль мережі електронних бібліотек установ НАПН України в науково-освітньому просторі. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2013. № 1 (33). URL: <http://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/download/791/589> (дата звернення: 10.12.2021).

#### **Sikora O.V., Vdovychyn T.Ya., Shih N.V. OBJECT-ORIENTED APPROACH TO THE ESTABLISHMENT OF ELECTRONIC LIBRARY SYSTEM**

*Information systems are widely used in various spheres of human life: management, production, education, science, trade, medicine, life and more. For the average user, the use of information systems allows you to use your own mobile phone to test the functionality of the created applications, as examples of such systems that are focused on specific needs.*

*The use of information systems in the field of education is used for various purposes and on a fairly large scale. If you integrate the use of information systems of a particular educational institution, you can immediately give an example of the use of electronic libraries as a powerful electronic database of educational materials for educational activities.*

*The article reveals a systematic approach to the creation of information systems, methods and technologies for their construction, as well as features of software development using object-oriented programming. In particular, the article demonstrates the creation of object-oriented programming of a perfect information system for the use in the educational process of an electronic library capable of fulfilling certain functional purposes, meeting user needs and being convenient and perfect to use. The created information system "Electronic Library" performs a number of functions: viewing the list of sources, searching for a book by a given criterion, adding a book, editing record fields, deleting and saving a book and others.*

**Key words:** *information system, electronic library, object-oriented programming, visual programming environment.*

**Терейковський І.А.**

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

**Кулаков Ю.О.**

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

**Терейковська Л.О.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Терейковський О.І.**

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

## ПАРАМЕТРИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСОБИ ЗА РАЙДУЖНОЮ ОБОЛОНКОЮ ТА СІТКІВКОЮ ОКА

*Стаття присвячена розв'язанню проблеми вдосконалення засобів біометричної аутентифікації користувачів комп'ютерних систем загального призначення. Обґрунтована перспективність застосування засобів, що базуються на аналізі райдужної оболонки та сітківки ока, тобто біометричних параметрів, які асоціюються із зображенням ока людини. За результатами літературного огляду визначена обмеженість сучасних підходів до розробки засобів біометричної аутентифікації на основі райдужної оболонки та сітківки ока, яка стосується оцінки ефективності вказаних засобів, що ускладнює як окреслення можливостей їх застосування в різноманітних умовах експлуатації, так і прогнозування напрямів їх удосконалення. За аналогією з відомими рішеннями в галузі проектування засобів розпізнавання емоцій передбачена можливість виправлення вказаного недоліку шляхом розробки методу оцінки ефективності засобів аналізу біометричних параметрів, що асоціюються із зображенням ока людини та можуть бути зареєстровані за допомогою поширеного апаратного забезпечення. Показано, що розробка такого методу призводить до необхідності формування відповідної множини параметрів оцінки ефективності. На основі результатів відомих засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока визначено, що в першому наближенні параметри оцінки ефективності доцільно співвіднести з точністю та обчислювальною складністю розпізнавання особи, можливістю визначення заданого переліку контрольних точок, скелетизації зображення та виділення кордонів сфери аналізу, стійкістю до різноманітних завад, можливістю аналізу монохромних, напівтонових та кольорових зображень, а також з можливістю розпізнавання особи на основі аналізу частини зображення. Показана доцільність доповнення сформованої множини за рахунок параметрів, що відображають ефективність нейромережових моделей, які використовуються для аналізу. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень зі створенням методу адаптації засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока до умов експлуатації в комп'ютерних системах різного призначення та із застосуванням у таких засобах нейромережових технологій на основі згорткових нейронних мереж.*

**Ключові слова:** райдужна оболонка ока, сітківка ока, біометричний параметр, ефективність, розпізнавання особи, засоби розпізнавання.

**Постановка проблеми.** Практичний досвід та дані численних публікацій свідчать про те, що вдосконалення сучасних комп'ютерних систем значною мірою корелюється з вирішенням завдання розробки високонадійних та високоефективних засобів розпізнавання особи користувача на базі аналізу біометричних параметрів, які можна зареєструвати за допомогою доступного апаратного забезпечення. При цьому можливість

безконтактної реєстрації первинної інформації, висока точність, швидкість розпізнавання визначають перспективність засобів аналізу біометричних параметрів (БП), асоційованих із зображенням ока користувача. До таких БП належать райдужна оболонка ока (РО) та сітківка ока (СО) [2; 3]. До незаперечних переваг використання зазначених БП належать висока стабільність і унікальність, що своєю чергою визначає можливість

отримання високонадійних результатів аналізу. Недоліками сучасних засобів аналізу зазначених параметрів є необхідність використання складних засобів обробки зареєстрованих зображень, не досить адаптованих до аналізу зашумлених даних [8; 9]. Передбачається, що широке впровадження в комп'ютерні системи удосконалених засобів аналізу параметрів РО та СО дозволить не тільки підвищити ефективність систем біометричної аутентифікації, а й знайде своє застосування в медицині [11]. Водночас практичний досвід та результати науково-прикладних робіт [10; 12] вказують на необхідність суттєвої модернізації таких засобів у напрямі зменшення ресурсоемності, збільшення точності розпізнавання та підвищення рівня адаптації до інших умов застосування, що і зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** РО – це забарвлене кільце навколо зіниці ока, що складається з м'язової та сполучної тканин та пігментних клітин [11]. Рисунок РО є унікальним і не повторюється навіть у близнюків. Вважається, що у РО міститься набагато більше даних, ніж у відбитку пальця або інших БП. На відміну від РО, СО розташована всередині ока і просканувати її оптичним сенсором неможливо. Для цього СО підсвічується інфрачервоним променем, який пропускається через зіницю ока. Результат фіксується за допомогою інфрачервоної камери. Процес аналізу параметрів РО та СО можна умовно розділити на етапи попередньої обробки і власне розпізнавання [6; 11]. Технологія попередньої обробки РО полягає у послідовному виконанні таких кроків, як: аналіз якості зображення ока; виділення внутрішнього і зовнішнього кордонів РО; геометричне перетворення виділеної РО для нормалізації зображення. Особливістю попередньої обробки СО є необхідність виявлення кордонів зіниці ока та чіткого окреслення контурів судин ока. У разі заздалегідь сформованої номенклатури параметрів, що підлягають аналізу, розпізнавання РО та СО полягає у визначенні величин вказаних параметрів, формуванні тестового образу і порівняння цього образу з одним або декількома зразками.

У роботах [5; 9] зазначено, що некоректність аналізу РО та СО може бути викликана: різними умовами освітлення; використанням різних засобів відеореєстрації; перешкодами від вій і повік; дефектами зіниці; темним кольором РО, через що зіниця і РО зливаються; відблисками; рухами і позиціонуванням голови; перешкодами від лінз і окулярів; змінами, які пов'язані з віком та хворобами. Відомі підходи для подолання зазначених

труднощів пов'язані як з підвищенням ефективності засобів відеореєстрації, так і з підвищенням ефективності обробки зареєстрованих параметрів.

Хоча методології розробки засобів розпізнавання особи за РО та СО присвячено досить багато досліджень, однак у проаналізованій літературі [2–6; 8–12] не знайдено методу оцінки їх ефективності, що ускладнює як окреслення можливостей їх застосування в різноманітних умовах експлуатації, так і прогнозування напрямів їх удосконалення. За аналогією з відомими рішеннями в галузі засобів аналізу БП для розпізнавання емоцій людини можна передбачити, що відправним пунктом розробки такого методу має бути обґрунтування переліку параметрів, за допомогою яких можливо комплексно оцінити ефективність відповідних засобів розпізнавання особи [1].

**Постановка завдання.** Основною метою публікації є формування множини параметрів для оцінки ефективності засобів розпізнавання особи людини за біометричними параметрами, що асоціюються із зображеннями її очей та підлягають реєстрації за допомогою поширеного апаратного забезпечення. До вказаних біометричних параметрів належать райдужна оболонка ока та сітківка ока. Для формування множини параметрів ефективності слід провести дослідження відомих рішень у галузі створення та застосування відповідних засобів розпізнавання особи людини на основі аналізу вказаних біометричних параметрів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На сьогодні відома велика кількість засобів аналізу БП, що асоціюються із зображеннями РО та СО і можуть бути використані для розпізнавання особи людини. Однак обмежений обсяг публікації та обмежена доступність таких засобів зумовила можливість дослідження тільки найбільш відомих та апробованих рішень.

Так, у роботі [8] пропонується двоетапна **технологія визначення інформативних ознак РО**. На першому етапі сегментації визначається ділянка РО на зображенні. Для цього реалізується виділення ділянок, на яких немає відблисків та які не закриті віями і повіками. На другому етапі параметризації реалізується обчислення інформативних ознак.

У роботі [4] запропоновано **алгоритм обробки зображення РО** за допомогою багатомасштабних вейвлет-перетворень. Також розроблено алгоритми обчислення порогових значень для бінаризації зображення.

У роботі [10] запропоновано **метод параметризації РО** на основі виділення ключових точок

за допомогою методу перетворення Ерміта. За допомогою комп'ютерних експериментів показано, що помилка системи ідентифікації на основі зображень РО у разі використання прикладів, представлених у БД CASIA-IrisV3, становить близько 0,23%.

У роботі [4] обґрунтований **метод виділення зіниці і зовнішнього кордону РО**, який базується на детекторах краю і виділення кіл за допомогою перетворення Хафа. Показані обмеження методу, що стосуються зміни освітленості і ракурсу РО.

Робота [9] присвячена **нейромережевому аналізу зашумлених зображень РО**, зареєстрованих відеокамерою видимого діапазону світла без додаткового освітлення. Досліджувалися перешкоди, викликані поворотом очей людини, а також розмитістю зображення. Визначено кроки попередньої обробки зображень, які полягають у розрахунку центру зіниці, нормалізації зображення і приведенні нормалізованого зображення до полярної системи координат. Для розпізнавання використовувався нейромережевий ансамбль, що складається з трьох згорткових нейронних мереж (ЗНМ) типу LeNet-5. Основні відмінності полягають у зміні кількості шарів згортки і кількості карт згортки. Описано експериментальні дослідження, спрямовані на розпізнавання РО, зображення яких представлені в БД CASIA і UBIRIS. Задекларовано, що досягнута похибка розпізнавання на рівні 3%.

У статті [3] розглянуто завдання розробки **системи біометричної ідентифікації особи** на основі аналізу РО. Розроблена система передбачає локалізацію ділянки РО, нормалізацію, а потім і нейромережеве розпізнавання РО. Розпізнавання реалізоване з використанням двохшарового перцептрон (ДШП), для навчання і тестування якого застосовувалися приклади з БД CASIA. Показано, що мережа чутлива до початкового розподілу вагових коефіцієнтів. Також визначено необхідність своєчасної зупинки навчання. Запропоновано швидкий алгоритм локалізації внутрішніх і зовнішніх кордонів ділянки РО. Задекларована точність розпізнавання на рівні 93%.

Робота [8] присвячена розробці **системи розпізнавання райдужної оболонки в умовах шуму**. Розглянуто особливості викривлення зображення РО, викликані перекриттям повіками, віями, відблисками світла, окулярами та погіршенням якості реєстрації за рахунок великої відстані до відеокамери, контактними лінзами, поганим освітленням. Запропоновано оригінальний метод виділення інформативних ознак з використанням

комбінованого підходу із застосуванням локальної двійкової структури і матриці збігів рівня сірого. Проведені експерименти з розпізнавання РО з використанням БД CASIA і MMUiris. Для розпізнавання використаний класифікатор на базі ймовірнісної нейронної мережі (НМ). Задекларований рівень розпізнавання 96,5%.

**Нейромережевій системі розпізнавання райдужної оболонки ока** присвячена робота [11]. Показано, що сучасні алгоритми сегментації РО не досить адаптовані до типових перешкод. Для вирішення проблем сегментації РО у складних ситуаціях пропонується використання ЗНМ, яка здатна визначити кордон діафрагми ока на зображеннях низької якості.

У роботі [10] розглянуто завдання побудови **методу розпізнавання РО** за допомогою глибоких НМ з прямим поширенням сигналу, для навчання якого використовується алгоритм зворотного поширення помилки. Метод передбачає виконання етапів, асоційованих з локалізацією РО на зображенні ока, нормалізацією, кодуванням і нейромережевим порівнянням.

Роботи [5; 9] присвячені розробці **нейромережевих систем біометричної аутентифікації** на основі аналізу зображення СО. Доводяться переваги НМ для аналізу СО. У [5] розроблена НМ типу тришарового перцептрон з сигмоїдальною функцією активації схованих нейронів, що застосована для аналізу попередньо оброблених двовимірних зображень СО. У [9] описана **система аналізу СО**, в якій використано ДШП з 35 схованими нейронами, на вхід якого подавались вектори ознак, що отримані шляхом перетворення сегментованого зображення СО в числові значення. Проведені комп'ютерні експерименти, що спрямовані на визначення точності розпізнавання 139 осіб на основі аналізу зображень СО розміром 768x584 пікселів. Досягнута точність розпізнавання близько 97,5%.

Схожі результати наведені в роботі [3], присвяченій розробці **системи нейромережевої ідентифікації** на базі СО. Оригінальними рішеннями цієї роботи є процедура визначення кордонів зіниці ока та процедура виділення кордонів судин. Для розпізнавання використано два ДШП. Навчання та тестування таких НМ реалізовано на базі 990 зображень СО 99 людей, записаних у БД CASIA. Задекларована точність розпізнавання близько 94%.

У результаті проведеного дослідження було визначено множини базових параметрів, використання яких дозволяє в першому наближенні

оцінити ефективність засобів аналізу БП, асоційованих із зображенням ока людини. Короткий опис вказаних параметрів представлено в табл. 1.

Таблиця 1  
**Параметри оцінки ефективності засобів розпізнавання особи**

№	Опис параметру
Z <sub>1</sub>	Точність розпізнавання особи
Z <sub>2</sub>	Обчислювальна складність розпізнавання особи
Z <sub>3</sub>	Можливість визначення заданого переліку контрольних точок
Z <sub>4</sub>	Можливість скелетизації зображення
Z <sub>5</sub>	Можливість виділення кордонів ділянки аналізу
Z <sub>6</sub>	Стійкість до завад типу контактні лінзи та окуляри
Z <sub>7</sub>	Стійкість до завад, пов'язаних з віком та хворобами
Z <sub>8</sub>	Можливість аналізу монохромних зображень
Z <sub>9</sub>	Можливість аналізу напівтонових зображень
Z <sub>10</sub>	Можливість аналізу кольорових зображень
Z <sub>11</sub>	Можливість аналізу зображень, зареєстрованих з невисокою роздільною здатністю
Z <sub>12</sub>	Можливість розпізнавання особи на основі аналізу частини зображення

Надалі перелік параметрів, наведених у табл. 1, може бути уточнений і розширений. Наприклад, перелік може бути доповнений параметрами, що відображають ефективність НМ, які використовуються для аналізу. Також формування вказаного переліку дозволяє перейти до комплексної оцінки ефективності засобів аналізу БП, що в першому наближенні можна реалізувати за допомогою виразу виду:

$$\Psi = \sum_{i=1}^I \alpha_i Z_i,$$

де  $\Psi$  – функція ефективності засобів аналізу БП,  $\alpha_i$  – ваговий коефіцієнт  $i$ -го параметру ефективності,  $Z_i$  – значення  $i$ -го параметру ефективності.

Крім того, результати проведеного дослідження засобів розпізнавання особи за РО та СО свідчать про те, що вдосконалення таких засобів

можна досягти як за рахунок підвищення ефективності обробки первинно зареєстрованих ознак БП, так і за рахунок застосування найбільш досконалих нейромережових технологій. Оскільки джерелом інформації для аналізу таких БП є монохромні, напівтонові або кольорові зображення, то напрями подальших досліджень доцільно співвіднести з розробкою нейромережових технологій на основі ЗНМ, що останні декілька років вважаються найбільш ефективним засобом розпізнавання графічної інформації [7; 11; 12].

Формування переліку параметрів ефективності засобів аналізу РО та СО дозволяє окреслити напрям такого етапу досліджень – розробки методу адаптації зазначених засобів до умов експлуатації в комп'ютерних системах різного призначення. Також являє інтерес оцінка ефективності засобів аналізу РО та СО для вузькоспеціалізованих систем медичного призначення, в яких вказані засоби використовуються для іридодіагностики різноманітних захворювань.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень сформовано множину параметрів ефективності засобів розпізнавання особи людини за біометричними параметрами, що асоціюються із зображеннями її очей та підлягають реєстрації за допомогою поширеного апаратного забезпечення, що дозволяє оцінити відповідність зазначених засобів умовам поставленого завдання розпізнавання. Запропоновано вираз для комплексної оцінки ефективності засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока. Визначено, що напрями подальших досліджень полягають у розробці методу адаптації зазначених засобів до умов експлуатації в комп'ютерних системах різного призначення. Також визначено доцільність формування множини параметрів ефективності засобів аналізу райдужної оболонки та сітківки ока, що призначені для вузькоспеціалізованих медичних систем.

#### Список літератури:

1. Терейковська Л.О. Аналіз засобів розпізнавання емоційного стану людини за голосом. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2019. № 1. Том 30 (69). С. 120–124.
2. Терейковская Л.А., Терейковский И.А. Применение сверточной нейронной сети для анализа биометрических параметров. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2020. № 5. Том 31 (70). С. 124–128.
3. Aim A., Bill F. Ocular circulation. *Adler's Physiology of the Eye/Ed by Moses and Hart*. 1987. No. 5. P. 183–203.
4. Al-Raisi A.N., Al-Khoury A.M. Iris recognition and challenge of homeland and border control security in UEA. *Telematics and Informatics*. 2008. No. 25. P. 117–132.
5. Bowyer K.W. Identity in the information society. *Telematics and Informatics*. 2009. No 2. P. 327–343.
6. Dua M., Gupta R., Khari M. Biometric iris recognition using radial basis function neural network. *Soft Comput.* 2019. No. 23. P. 11801–11815.



7. Dychka I., Chernyshev D., Tereikovskiy I., Tereikovska L., Pogorelov V. Malware detection using artificial neural networks. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019. No. 938. P. 3–12.
8. Hajaria K., Ujwalla G., Golharc Y. Neural network approach to iris recognition in noisy environment. *International Conference on Information Security & Privacy (ICISP2015)*. 2015. Vol. 78. P. 675–682.
9. Min B., Hyung G., Kang R. Noisy ocular recognition based on three convolutional neural networks. *Sensors*. 2017. No. 17. P. 1–26.
10. Miyazawa K. An effective approach for iris recognition using phase-based image matching. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2008. Vol. 30. P. 1741–1756.
11. Toliupa S., Tereikovska L., Tereikovskiy I., Doszhanova A. Procedure for adapting a neural network to eye iris recognition. *IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology*. 2020. Vol. 1. P. 167–171.
12. Toliupa S., Tereikovskiy I., Dychka I., Tereikovska L. The method of using production rules in neural network recognition of emotions by facial geometry. *International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*. 2019. Vol. 1. P. 323–327.

**Tereikovskiy I.A., Kulakov Y.O., Tereikovska L.O., Tereikovskiy O.I. PARAMETERS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF PERSONALITY RECOGNIZATION BY THE IRIS AND THE RETINA OF THE EYE**

*The article is devoted to solving the problem of improving the means of biometric authentication of users of general purpose computer systems. The prospects of using tools based on the analysis of the iris and retina, i.e. biometric parameters associated with the image of the human eye are substantiated. According to the literature review, the limitations of modern approaches to the development of biometric authentication tools based on the iris and retina, which concerns the evaluation of the effectiveness of these tools, which complicates both outlining their application in different operating conditions and predicting areas for improvement. By analogy with the known solutions in the field of design of emotion recognition, it is possible to correct this shortcoming by developing a method to assess the effectiveness of analysis of biometric parameters associated with the human eye, and can be registered using common hardware. It is shown that the development of such a method leads to the need to form an appropriate set of parameters for evaluating efficiency. Based on the results of the analysis of known methods of analysis of the iris and retina, it is determined that in the first approximation it is advisable to correlate the parameters of efficiency assessment with accuracy and computational complexity of facial recognition, the ability to determine a set list, the ability to analyze monochrome, halftone and color images, as well as the ability to recognize the face based on the analysis of the image. The expediency of supplementing the formed set due to the parameters that reflect the effectiveness of neural network models used for analysis is shown. It is proposed to correlate the ways of further research with the development of a method of adaptation of the analysis of the iris and retina to the operating conditions in computer systems for various purposes and with the use of neural network technologies based on convolutional neural networks.*

**Key words:** iris, retina, biometric parameter, efficiency, facial recognition, recognition.

## ЕНЕРГЕТИКА

UDC 621.165.62-192

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/30>

**Bednarska I.S.**

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

**Sheleshei T.V.**

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

**Merenher P.P.**

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

**Goncharov O.V.**

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

**Shakhbazov I.O.**

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

### **CALCULATED EVALUATION OF QUANTITATIVE INDICATORS OF NITROGEN OXIDES WHEN USED AT DIFFERENT ENERGY INSTALLATIONS**

*Energy consumption is closely linked to all human activities. Today, emissions from thermal power plants in Ukraine are 5–30 times higher than the established standards of the European Union and are the main air pollutant in the country. Although solid fuels are being replaced by other energy sources (such as natural gas and oil), over the last century, approximately 3 billion people worldwide still rely on solid fuels burned in traditional furnaces or on open fires for cooking or heating. This traditional incineration equipment emits large amounts of pollutants, leading to 4 million premature deaths worldwide each year and serious regional air pollution. The negative impact of harmful components, such as nitrogen oxides, on human health, flora and fauna, buildings and structures is not limited to the area adjacent to the emission sources, but extends to hundreds and thousands of kilometers. Emissions of nitrogen oxides should be controlled, as they are strictly regulated by current legislation. First of all, the production of exhaust gases should be minimized. The following anthracite-type combustion plants in order to reduce the emission of nitrogen oxides are considered: boilers with circulating fluidized bed and fixed bed, as well as boiler plants with liquid slag removal and solid slag removal. Therefore, currently environmental pollution is becoming global in nature, and the cost of its protection has become commensurate with the magnitude of environmental damage. The main purpose of this article is to conduct a calculated study of the level of nitrogen oxide emissions during the combustion of anthracite-type at various power plants. A comparative analysis of the level of emission of nitrogen oxides during the combustion of anthracite in the above equipment. It is established that the most optimal installation from the point of view of environmental friendliness is the circulating fluidized bed, the worst – the installation with liquid slag removal at flaring. It is established that the most optimal installation from the point of view of environmental friendliness is the circulating fluidized bed, the worst – the installation with liquid slag removal at flaring. Also, measures to reduce emissions of nitrogen oxides used in boilers with solid and liquid slag removal are considered.*

**Key words:** *nitrogen oxides, emission index, ecological status, circulating fluidized bed, fixed bed, liquid slag removal, solid slag removal.*

**Formulation of the problem.** Environmental pollution in the most developed countries of the world is one of the most important and urgent issues of our time and it really needs a lot of attention from both

the community and government agencies, in particular, much attention is paid to studying the environmental impact of energy production. Energy consumption is closely linked to all human activities, such as: home

heating, cooking, vehicle traffic, agricultural production, etc. Solid fuels (eg coal, wood, crop residues, etc.) play an important role in energy for everyday human life and production. Although solid fuels are being replaced by other energy sources (such as natural gas and oil), over the last century, approximately 3 billion people worldwide still rely on solid fuels burned in traditional furnaces or on open fires for cooking or heating. This traditional incineration equipment emits large amounts of pollutants, leading to 4 million premature deaths worldwide each year and serious regional air pollution.

**Analysis of recent research and publications.**

Consider a number of works on the above issues, among which we should pay attention to [2–11].

At the same time, fossil fuels are gradually depleted every year, and environmental damage such as global warming, acid rain and urban smog due to emissions are forcing the world to reduce pollutant emissions. According to the EU Directive [1], it is necessary to provide 30% of renewable energy sources in final energy consumption by 2030 in order to reduce harmful emissions. But in Ukraine, compared to other countries, the situation is the opposite. While all countries of the world are trying to reduce the number of thermal power plants, Ukraine, on the contrary, is increasing the purchase of coal for thermal power plants. Combustion of solid and liquid fuels is accompanied by the release of sulfur, carbon dioxide and carbon monoxide, as well as oxides of nitrogen, dust, soot and other pollutants and hazardous substances [2]. Inefficient combustion also leads to greenhouse gas emissions and exacerbates global warming. Today, emissions from thermal power plants in Ukraine are 5–30 times higher than the established standards of the European Union and are the main air pollutants in the country. Therefore, the provision of favorable living conditions for the inhabitants of the cities of our country is the main pressing issue, which requires a clear analysis of the impact of harmful emissions of thermal power plants on the environment and the adoption of ways to solve this environmental problem. Among the harmful emissions, nitric oxide (NO<sub>x</sub>) attracts a lot of attention. Although nitrogen oxides are not the only pollutants, they make a significant contribution to air pollution. Industrial processes, which are mainly related to energy production, combustion of coal, oil and natural gas, as well as galvanic processes, are largely responsible for the production of the largest amount of NO<sub>x</sub>. Various scientists deal with the problem of nitrogen oxides. J.S. Mysak studied the combustion of fuel in pulverized coal boilers while maintaining the reliability of the equipment,

improving environmental performance and reducing harmful emissions into the environment of thermal power plants [3]. F. Shiro and others. [7] analyzed the properties of natural gas enriched with hydrogen and its combustion products, taking into account the current European standards for gas boilers. Scientists around the world are trying to reduce emissions into the environment, there are many ways to do this. One such way is to choose the combustion process. First of all, it is important to minimize the formation of emissions, and then remove those nitrogen oxides, the formation of which is unavoidable. Minimizing their formation can be achieved through strategies such as lowering the operating temperature, reducing the residence time of gases in the combustion zone and reducing the oxygen / fuel ratio while reducing excess air. Reduction of NO<sub>x</sub> formation is achieved mainly by influencing the maximum combustion temperature provided by the introduction of recirculation gases, water or steam into the combustion zone or into the blast air, as well as two- and three-stage fuel combustion, which reduces the maximum temperature and oxygen content in the maximum temperature zone. During the last decades, engineers have developed and implemented various advanced furnaces. However, it is not possible to completely prevent the formation of nitrogen oxides, it is necessary to use methods that allow the removal of NO<sub>x</sub> formed to comply with increasingly demanding legislation in this area. Absorption by chemical reaction, selective non-catalytic reduction and selective catalytic reduction by chemical reaction are the most commonly used measures to remove nitrogen oxides. And the latter is more suitable for powerful boilers. The reduction method in a selective catalytic chemical reaction is based on a catalytic process in which nitrogen oxides are selectively reduced in the presence of a catalyst and the reducing agent is oxidized to nitrogen gas. The main advantages of this technology are the very high yield of NO<sub>x</sub> during removal and the fact that NO<sub>x</sub> is converted to nitrogen gas without additional by-products or residues. Many studies have been conducted on this topic, but in the literature there is no data on a comparative analysis of the characteristics of anthracite-type combustion at different fuel combustion plants in terms of determining the level of nitrogen oxide emissions.

**Setting objectives.** The main purpose of this article is to conduct a calculated study of the level of nitrogen oxide emissions during the combustion of anthracite-type at various power plants. Such installations are: boilers with circulating fluidized bed and fixed bed, as well as boiler plants with liquid and solid slag removal.

**Presentation of the main research material.**

Consider in more detail the above settings. A fluidized bed is a two- or three-phase system that is created by bringing particles of a solid phase to a suspended state by dynamically influencing them with an upward flow of liquid or gas (air). In fireboxes with a fluidized bed, the lifting force of the gas-air flow balances the weight of the particles, due to which there is a pseudo-liquefaction - intense heat and mass transfer in height and cross section of the layer. In the superlayer space, the living cross-sectional area is larger, and, consequently, the gas velocity is smaller (up to 1.0–2.5 m / s), and most of the particles removed from the layer fall back into the layer. Due to the fact that the combustion particles, the proportion of which in the layer is small, are surrounded by inert gases, they do not overheat, and the average temperature of the layer does not exceed 950°C. Under these conditions, the generation of nitrogen oxides is low. Relatively low specific burning rates of carbon and its concentration in the layer are compensated by the relatively large mass and height of the layer (up to 1.0–1.2 m), and deep firing of most particles is achieved due to a sufficiently long time in the furnace. The fluidized bed is undemanding to the quality of fuel: it is quite successful in burning coal and carbonaceous waste with an ash content of up to 70% and relatively low-ash with a moisture content of up to 60% [8].

A firebox with a fixed layer is a type of fuel combustion that originates from the development of fire by ancient people in the form of a fire. Fuel can be loaded manually, through the door, or mechanically, from the hopper. Before feeding into the fuel hopper, the required fraction is provided by crushing on a crusher, or, conversely, the formation of fuel pellets (pellets). In furnaces with a fixed layer, the fuel lying freely on the grates is blown from below by air. Due to this, there are zones of oxidant leakage in the layer and, as a consequence, zones of uneven combustion – cooling (resulting in local afterburning and CO emissions with flue gases), as well as zones of overheating (result – accelerated destruction of the lattice) [9].

With liquid slag removal furnaces are of different types. Much more favorable working conditions of a semi-open single-chamber furnace with liquid slag removal. Here the melting zone and the cooling zone are largely separated. In the combustion chamber, the screen pipes are studded and covered with refractory coating. The process of fuel combustion is almost completely completed in this chamber, and its volume is relatively limited, in connection with which the intensity of heat release here is 0.5–0.8 MW / m<sup>3</sup>, and the temperature is 1700–1800°C. 20–40% of fuel ash is captured in the

chamber, which is removed in a liquid state through the fly. In the upper part of the furnace there are open screen surfaces, which provide gas cooling and removal.

In a two-chamber furnace with liquid slag removal, the combustion chamber with liquid slag and the cooling chamber are separated by slag-separating gratings, which are made of diluted studded screen tubes having a refractory coating. The main amount of molten slag is captured in the combustion chamber. Additionally, the trapped slag flows to the bottom of the furnace, from where it enters the water bath for granulation through the fly. Up to 70% of all ash is captured in a two-chamber furnace [10].

To determine the most efficient technological method of burning anthracite, among those discussed above, it is necessary to calculate the level of nitrogen oxides.

The calculations were performed in accordance with [11] by the formula:

$$k_{NOx} = (k_{NOx})_0 f_H (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta), \text{ g / GJ} \quad (1)$$

where  $(k_{NOx})_0$  – emission index of nitrogen oxides without taking into account emission reduction measures, g / GJ;

$f_H$  – the degree of reduction of NOx emissions when working at low load;

$\eta_I$  – the effectiveness of primary (regime-technological) measures to reduce emissions;

$\eta_{II}$  – efficiency of secondary measures (nitrogen treatment plant);

$\beta$  – the efficiency of the nitrogen treatment plant.

According to the calculations obtained the following data, which are listed in table 1.

Table 1

**The emission of nitrogen oxides when using different technological methods of combustion of anthracite**

Installation for burning of ASH	Nitrogen oxide emission index, g / Gcal
With a circulating fluidized bed	32
With a fixed layer	49
With solid slag removal	105
With liquid slag removal	190

Figure 1 shows the dependence of the emission of nitrogen oxides during the combustion of coal in a circulating fluidized bed, with liquid and solid slag removal during flare combustion and in a fixed bed.

The graph (Fig. 1) shows that the best setting in terms of environmental friendliness is a circulating fluidized bed, the worst – a plant with liquid slag removal during flaring.

To improve the environmental conditions and solve the problems of plants with a high concentration of

nitrogen oxides, measures have been developed and implemented to help reduce NOx emissions at stations with boilers with liquid and solid slag removal.

The reduction of NOx formation is achieved by influencing the maximum combustion temperature provided by the introduction of recirculation gases, water or steam into the combustion zone or into the blast air, as well as by multi-stage fuel combustion.

The introduction of flue gas recirculation became widespread in the late 70's of the twentieth century. and has since been widely used in boiler technology. Flue gases with a temperature of up to 400°C are taken in front of the air heater and a special recirculation flue is fed to the combustion chamber. It is technically possible to provide recirculation without a special recirculation flue. To do this, a special tongue damper is installed in the chimney of the boiler near the smoke extractor, which allows you to regularly select about 20% of the flue gases and direct them to the inlet of the blast fan. As a result, the maximum temperature in the furnace is reduced and, in addition, the concentration of oxygen in the combustion zone is reduced, which also reduces the formation of NOx. The supply of recirculating gases with fuel reduces the yield of nitrogen oxides more effectively than mixing them into the blast air. It should be borne in mind that the use of recirculation leads to a decrease in the efficiency of boilers in proportion to the amount of recirculation gases supplied. Thus, with increasing the degree of recirculation from 20 to 30%, the efficiency of the boiler decreases by 0.5 and 0.75%, respectively. Currently, gas recirculation is used in

powerful boilers of power units running on coal dust, fuel oil and natural gas.

The introduction of water or steam into the combustion zone suppresses the formation of nitrogen oxides no less effectively, and it should be noted the relative simplicity of this method, deeper combustion of carbon monoxide and benzopyrene, as well as the possibility of using solid fuels. The introduction of water or steam in an amount of more than 5–6% of the mass of air supplied to the burners can adversely affect the completeness of combustion and reduce efficiency by 4–5% due to a significant decrease in temperature.

The essence of staged fuel combustion is that less air is supplied to the primary combustion zone than theoretically required ( $\alpha = 0.70-0.95$ ), the remaining air required for complete fuel combustion is supplied further at one or more levels along the length torch, resulting in a decrease in the maximum temperature in the combustion zone, the oxygen content in the core of the torch, decreases the reaction rate of nitric oxide formation, increases the length and luminosity of the torch. Structurally staged combustion is used in boiler units with a multi-tiered arrangement of burners, which allows you to adjust the fuel-air ratio along the length of the torch. Lower tier burners operate with a lack of air, the rest of the air is supplied through air blast lances or upper row burners where fuel is supplied little or not at all. The most important feature of step combustion is the presence of a recovery zone, where due to lack of air there are products of incomplete combustion of CO and H<sub>2</sub>, and nitric oxide is not formed.

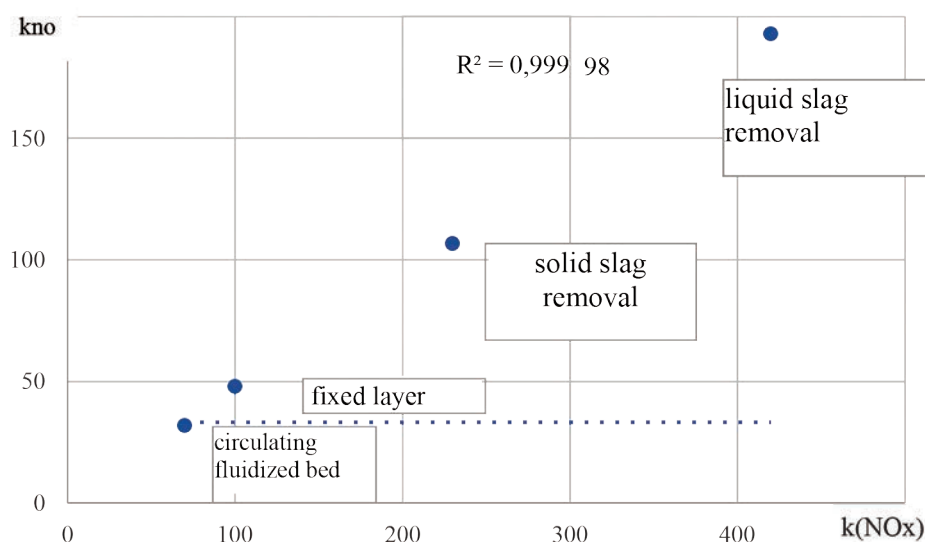


Figure 1. “Dependence of emission of nitrogen oxides during combustion of coal in a circulating fluidized bed, with liquid and solid slag removal during flare combustion and in a fixed bed”

**Conclusions.** Emissions of nitrogen oxides should be controlled, as they are strictly regulated by current legislation. First of all, the production of exhaust gases should be minimized. The following anthracite-type combustion plants in order to reduce the emission of nitrogen oxides are considered: boilers with circulating fluidized bed and fixed bed, as well as boiler plants with liquid slag removal and solid slag removal. A comparative analysis of

the level of nitrogen oxides emission during the combustion of anthracite was performed using different technological methods.

It is established that the most optimal installation from the point of view of environmental friendliness is the circulating fluidized bed, the worst – the installation with liquid slag removal at flaring. Also, measures to reduce emissions of nitrogen oxides used in boilers with solid and liquid slag removal are considered.

#### References:

1. Директива (ЄС) 2018/2001 Європейського Парламенту та Ради від 11 грудня 2018 р. про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел. 2018.
2. Національний план скорочення викидів від великих енергетичних установок, від 8 листопада 2017 р. № 796-р. *Розпорядження, Кабінет міністрів України*. Київ, 99 с.
3. Янко П.І., Мисак Й.С. Режими експлуатації енергетичних котлів. Львів. *НВФ «Українські технології»*, 2004. 270 с.
4. Широ Ф., Стоппато А., Бенато А. Моделювання та аналіз впливу природного газу, збагаченого воднем, на побутові газові котли в перспективі декарбонізації. *Конверсія вуглецевих ресурсів у пресі*. 2020.
5. Бондаренко В.И. и др. Энергетика: история, настоящее и будущее. Киев, 2005. Т. 3. 304 с.
6. Майстренко А.Ю., Дудник А.Н., Топал А.И. Сравнительный анализ технико-экономических показателей работы ТЭС, использующих чистые угольные технологии. *Энергетика и электрификация*. 2007. № 6. С. 1–3.
7. ГКД 34.02.305-2002. Викиди забруднювальних речовин у атмосферу від енергетичних установок. *Методика визначення*. Киев, 2002. 43 с.
8. Маляренко В.А., Варламов Г.Б., Любчик Г.Н. и др. Энергетические установки и окружающая среда. Харьков : ХГФГХ, 2002. 397 с.
9. Шелешей Т.В., Беднарская И.С., Меренгер П.П., Дорошенко В.В., Юрчук В.С. Analysis of features of combustion of anthracite calibration at different energy installations. *Науковий погляд у майбутнє*. № 19. 2020. С. 24–27.
10. Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Майер Л., Юрчук В.С. Порівняльний аналіз рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу на різних енергетичних установках. *Молодий вчений*. 2020. № 5. С. 129–132.
11. Риндюк Д.В., Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Дубас Д.О. Порівняння ефективності первинних заходів скорочення викидів NOX при спалюванні різних палив. *Modern Scientific Researches*. 2020. № 11. Part 2. P. 37–42.
12. Риндюк Д.В., Шелешей Т.В., Беднарська І.С., Беднарська Я.С., Качківський Д.О. Dependence of the amount of emissions from the solid fuel composition. *SWorldJournal*. № 5. 2020. С. 24–28.

#### **Беднарська І.С., Шелешей Т.В., Меренгер П.П., Гончаров О.В., Шахбазов І.О. РОЗРАХУНКОВА ОЦІНКА КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАКИСІВ АЗОТУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ НА РІЗНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ**

Споживання енергії тісно пов'язане з усіма видами людської діяльності. Сьогодні викиди від теплових електростанцій в Україні у 5–30 разів перевищують встановлені стандарти Європейського Союзу та є основним забруднювачем атмосферного повітря у країні. Негативний вплив шкідливих компонентів, таких як оксиди азоту, на здоров'я населення, флору і фауну, будівельні об'єкти і споруди не обмежується територією, що прилягає до джерел викидів, а поширюється на сотні й тисячі кілометрів. Хоча тверде паливо замінюється іншими джерелами енергії (наприклад, природним газом і нафтою), протягом останнього століття приблизно 3 мільярди людей у всьому світі все ще покладаються на тверде паливо, що спалюється у традиційних печах для приготування їжі або опалення. Це традиційне обладнання для спалювання виділяє велику кількість забруднюючих речовин, що призводить до 4 мільйонів передчасних смертей у всьому світі щороку та серйозного регіонального забруднення повітря. Необхідно контролювати викиди оксидів азоту, оскільки вони суворо регламентуються чинним законодавством. Насамперед слід звести до мінімуму утворення вихлопних газів. Для зменшення викидів оксидів азоту розглядаються такі спалювальні установки антрацитового типу: котли з циркуляційним киплячим шаром і нерухомим шаром, а також котельні

з видаленням рідкого шлаку та видаленням твердого шлаку. Тому нині забруднення довкілля набуває глобального характеру, а витрати на його охорону стали сумірні з величиною екологічного збитку. Головною метою цієї статті є провести розрахункове дослідження рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу на різних енергетичних установках. Проведено порівняльний аналіз рівня емісії оксидів азоту при спалюванні антрацитового штибу у вищезазначеному обладнанні. Встановлено, що найоптимальнішою установкою з погляду екологічності є циркулюючий киплячий шар, найгіршою – установка з рідким шлаковидаленням при факельному спалюванні. Також розглянуто заходи щодо зниження викидів оксидів азоту, що використовуються у котлах із видаленням твердого та рідкого шлаку.

**Ключові слова:** оксиди азоту, показник емісії, екологічний стан, циркулюючий киплячий шар, нерухомий шар, рідке шлаковидалення, тверде шлаковидалення.

**Беляновська О.А.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Скляренко О.І.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Сухий К.М.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Пустовой Г.М.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Сухий М.П.**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Прокопенко О.М.**

Національна Металургійна Академія України

**Єрємін О.О.**

Національна Металургійна Академія України

## УТИЛІЗАЦІЯ НИЗЬКО-ПОТЕНЦІЙНОЇ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПАРОВОЇ КОМПРЕСОРНОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

*Проведено дослідження процесів утилізації низькопотенційної теплової енергії при експлуатації парової компресорної холодильної установки, яка працює з використанням холодильного агента R32. Оцінено її ефективність і показано доцільність теплоти конденсації для теплопостачання підприємства. Запропоновано схеми систем холодопостачання з контуром акумуляції тепла та з модулем рекуперації тепла для опалення та з контуром геліоколектора. Розроблено алгоритм розрахунку розроблених систем, який передбачає розрахунок параметрів холодильної машини за типовою методикою, зокрема холодильного коефіцієнту, потужності конденсації, масових витрат теплоносія в конденсаторному теплообміннику, теплового навантаження на конденсаторний теплообмінник, холодопродуктивності випарникового теплообмінника, кількості тепла, яке необхідне для підігріву води в теплоакumuлюючій ємності у літній і зимовий період, кількості теплоти для підтримки кліматичних умов в офісних приміщеннях, коефіцієнта рекуперації тепла та кількість теплоти рекуперації кількості теплоти, яка йде на гаряче водопостачання, масової й об'ємної витрати теплоносія в системі опалення, температури води на виході з системи опалювання. Показана кореляція коефіцієнта рекуперації теплоти, а також об'єму приміщення, яке опалюється, об'єму теплового акумулятора та температури води у контурі теплопостачання. Встановлено об'єми приміщення, які доцільно опалювати за допомогою цих систем і температури води у цих умовах. Виявлено умови, за яких доцільно використовувати сонячний колектор у подібних системах. Показано перспективність використання рекуперації теплоти конденсації у системах теплопостачання.*

**Ключеві слова:** парова компресійна холодильна машина, теплота конденсації, утилізація теплової енергії, коефіцієнт рекуперації.

**Постановка проблеми.** Економічна й енергетична кризи нарівні зі здорожчанням вартості первинного палива та тарифів на енергоносії вимагають заходів із раціоналізації споживання енергоресурсів у всіх сферах виробництва і побуту. До основних споживачів електричної енергії нале-

жать парові компресорні холодильні установки [1, с. 147–154]. Водночас при їх експлуатації до навколишнього середовища скидається теплота конденсації, що призводить до його теплового забруднення [2, с. 61–64]. Цю теплоту можна було би використовувати у системах теплопостачання,



але більш активне впровадження подібних систем вимагає подальших досліджень процесів утилізації низькопотенційної теплової енергії при експлуатації парової компресорної холодильної установки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційна парова компресорна холодильної установка включає випарник, компресор, конденсатор та дросель [3, с. 195]. Парові компресійні холодильні установки модернізували шляхом впровадження нового теплообмінника з новим фазово-перехідним матеріалом, який поєднано який замінює традиційний випарник Varvagiannis та ін. [4, с. 198–212]. Теплота конденсації використовується для підведення частини теплоти до абсорбційного холодильного пристрою, а інша підводиться шляхом підігріву за допомогою резистивного елемента від сонячної батареї. Аналогічне технічне рішення пропонує Ну та ін. [5, с. 101–187], причому конденсатор у цій системі повітряний, тобто скидання теплоти відбувається до навколишнього середовища. Перспективним варіантом для подібних систем згідно із Ху та ін. [6, с. 10–1270] є поєднання компресорної й абсорбційної підсистем із використанням геліоколектора для підведення теплоти. Водночас подібні системи доволі складні в експлуатації, а їх впровадження буде вимагати значних капіталовкладень. Більш простим варіантом є підігрів теплоносія (води) за рахунок теплоти конденсації, тож було би доцільно оцінити ефективність використання цього методу.

**Мета роботи** – вивчення процесів утилізації низькопотенційної теплової енергії при експлуатації парової компресорної холодильної установки. Для досягнення мети поставлені такі задачі:

– запропонувати схеми системи холодопостачання з контуром акумуляції тепла та з моду-

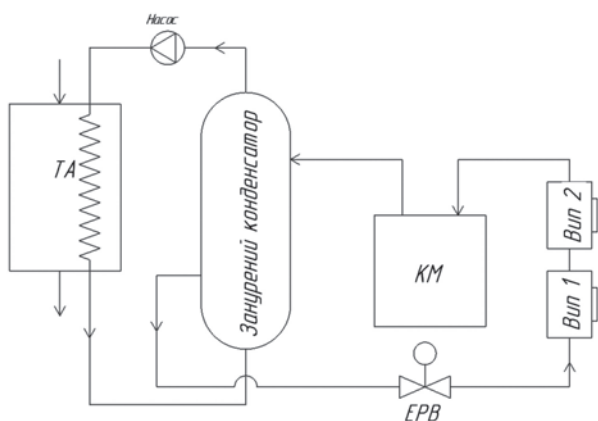


Рис. 1. Система холодозабезпечення із контуром акумуляції тепла

лем рекуперації теплоти та контуром додаткового джерела теплоти;

– допрацювати методику розрахунку подібних систем;

– виявити основні фактори, які впливають на ефективність подібних систем;

– встановити основні умови необхідності впровадження додаткових джерел теплоти до системи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Було запропоновано дві схеми систем. Перша включає випарники, компресорну машину, занурений конденсатор і теплоакumuлюючу ємність (рис. 1). Хладоагент стискається компресором холодильної машини до температури та тиску конденсації. У зануреному конденсаторі теплота передається від хладоагента до теплоносія (води). Далі хладоагент проходить терморегулюючу запірну арматуру (ЕРВ), де його тиск і температура знижуються до значень у випарнику. Проходячи через випарник, хладоагент відбирає теплоту від холодоносія і далі від охолоджуваного середовища тепло відбирається за допомогою повітроохолоджувачів, де тепло передається холодоносію, який направляється у випарник. Із випарника хладоагент прямує до компресора холодильної машини, де відбувається його стиснення, і далі до зануреного конденсатора, де теплота передається теплоносію (воді), яка за допомоги циркуляційного насоса спрямовується до теплового акумулятора. З теплового акумулятора теплоносій із заданою температурою за допомогою циркуляційних насосів спрямовується до системи теплопостачання приміщень.

Іншим варіантом є системи з модулем геліоколектора (рис. 2), яка працює аналогічно, причому з теплового акумулятора теплоносій надходить до розташованих у приміщеннях фанкойлів, де тепло від теплоносія розсіюється, підтримуючи задану температуру у приміщенні у діапазоні 24–26°C. Далі теплоносій спрямовується назад до теплового акумулятора та зміщується з теплою водою з конденсатора і підтримуючи загальну температуру в ємності на рівні 50°C. Якщо система моніторингу теплових показників ємності, це сигналізує про стрімке зменшення температури в ємності, задля компенсації цієї нестачі включається контур геліоколектора, який буде догрівати воду до необхідної температури.

Як критерій ефективності прийнято критерій рекуперації тепла, який дорівнює відношення теплоти, необхідної для підігріву води, та теплоти конденсації. Крім того, важливою умовою є температура води на виході із системи опалювання.

Блок-схема алгоритму представлена на рис 3.

Вихідними даними є температура у холодильних камерах  $t_{v1}$ , температура кипіння хладагенту  $t_{v2}$ , температура початку конденсації  $t_{k1}$ , температура кінця конденсації  $t_{k2}$ , холодопродуктивність компресору  $P_{km}$ , холодонавантаження від камер  $Q_h$ , кількість компресорів  $n_k$ , теплоємності тепло- та хладоносія  $c_k$  та  $c_v$ .

Далі проводиться розрахунок параметрів холодильної машини за типовою методикою, зокрема холодильного коефіцієнту COP, потужності конденсації  $Q_{kd}$ , масової витрати теплоносія у конденсаторному теплообміннику  $G_k$ , масової витрати теплоносія у випарниковому теплообміннику  $G_v$ , теплового навантаження на конденсаторний теплообмінник  $Q_k$ , холодопродуктивності випарникового теплообмінника  $Q_v$ .

Кількість тепла, необхідного для підігріву води у теплоакуюлюючій ємності у літній і зимовий період, розраховується як:

$$Q = \frac{V_e \cdot RO_{vd} \cdot c_{vd} \cdot (t_{gv} - t_{hv})}{\tau} \quad (1)$$

де  $V_e$  – об’єм теплоакуюлюючій ємності,  $m^3$ ,  $RO_{vd}$  – густина теплоносія,  $kg/m^3$ ,  $c_{vd}$  – теплоємність теплоносія,  $kJ/kg \cdot K$ ,  $\tau$  – тривалість поновлення теплоносія у теплоакуюлюючій ємності, год.

Далі за традиційними методиками визначають кількість теплоти для підтримки кліматичних умов в офісних приміщеннях, наприклад, згідно із [7, с. 12]:

$$Q_o = a_j \cdot q_{op} \cdot B_t \cdot V_0 \cdot (t_{gvz} - t_{hvt}) \quad (2)$$

де  $q_{op}$  – питома теплова характеристика будівлі на опалення та вентиляцію,  $Wt/(m^3 \cdot ^\circ C)$ ;  $V_0$  – об’єм будівлі за зовнішніми обмірами,  $m^3$ ;  $t_{gvz}$  – середня температура внутрішнього повітря будівлі,  $^\circ C$ ;  $t_{hvt}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування опалення,  $^\circ C$ ;  $B_t$  – температурний коефіцієнт, який враховує різні кліматичні зони та використовується, коли розрахункова температура зовнішнього повітря відрізняється від  $-30^\circ C$ ;  $a_i$  – коефіцієнт, що враховує витрату теплоти на підігрівання зовнішнього повітря, яке надходить у будівлю за рахунок інфільтрації через нещільності у зовнішніх огороженнях, приймають рівним 1,05–1,1.

Далі обчислюють коефіцієнт рекуперації тепла  $\eta_r$  та кількість теплоти рекуперації  $Q_R$ , як добуток теплового навантаження на конденсаторний тепло-

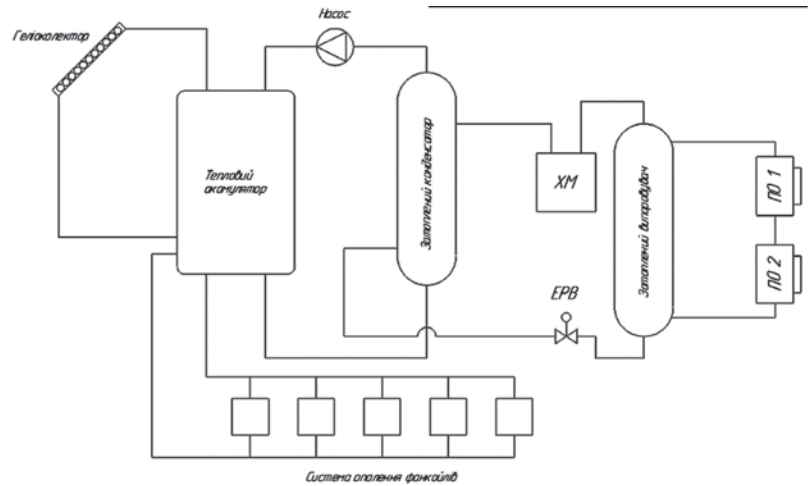


Рис. 2. Система холодопостачання з модулем рекуперації тепла для опалення та з контуром геліоколектора

обмінник  $Q_k$  та коефіцієнта рекуперації, а також кількість теплоти, що йде на гаряче водопостачання:

$$Q_c = Q_R - Q_o \quad (3)$$

Далі розраховують масову й об’ємну витрати теплоносія у системі опалення  $G_{op}$  та  $V_{op}$ , а також температуру води на виході із системи опалювання  $t_{ohv}$ .

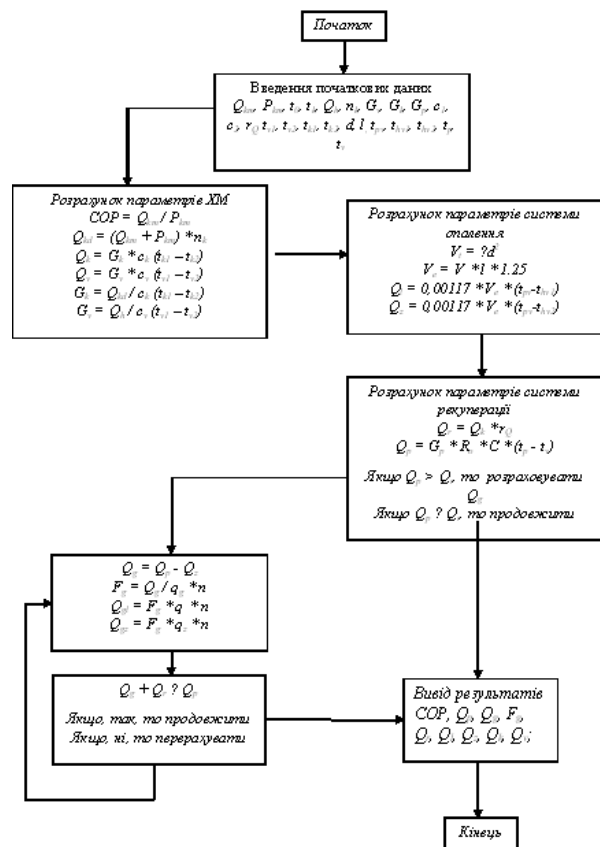


Рис. 3. Блок-схема алгоритму

Як хладагент обрано фреон R32 [8, с. 950–956], він розглядається як середньо- та довгостроковий потенційний альтернативний холодоагент порівняно із R410A завдяки його тепловим властивостям, таким як нульове значення ODP, низьке значення GWP (675), велика холодопродуктивність, висока енергоефективність і низька ціна. Холодильна машина розглянута як якості чилера, вона мусить охолоджувати холодоносії, а саме калій форміат калію в кожухотрубчатому випарнику до заданої температури, а конденсація проходитьиме у кожухотрубчатому зануреному теплообміннику, де теплота конденсації відводиться водою.

Було розраховано основні характеристики холодильного циклу. зокрема, оцінено холодильний коефіцієнт холодильної машини 1,62 та теплове навантаження на конденсатор 501,6 кВт.

Температура холодильного агента у конденсаторі прийнята 81°C.

Далі було розглянуто вплив об'єму приміщення, яке опалюється, об'єму теплоакumuлюючої ємності, температури теплоносія (води) на величину коефіцієнта рекуперації (рис. 4). При опаленні малого об'єму приміщення (не більше за 5100 м<sup>3</sup>) значення коефіцієнту рекуперації, близькі до 100%, вочевидь досягаються за температури води 60°C.

Є можливість прийняти об'єм ємності 15 м<sup>3</sup>, але якщо необхідно збільшити об'єм приміщення, оскільки коефіцієнт рекуперації більше 100%, необхідно використовувати додаткове джерело теплоти для компенсації дефіциту теплоти у системі.

Цю нестачу можна спрогнозувати при об'ємі приміщення, яке опалюють, більше за 10200 м<sup>3</sup>

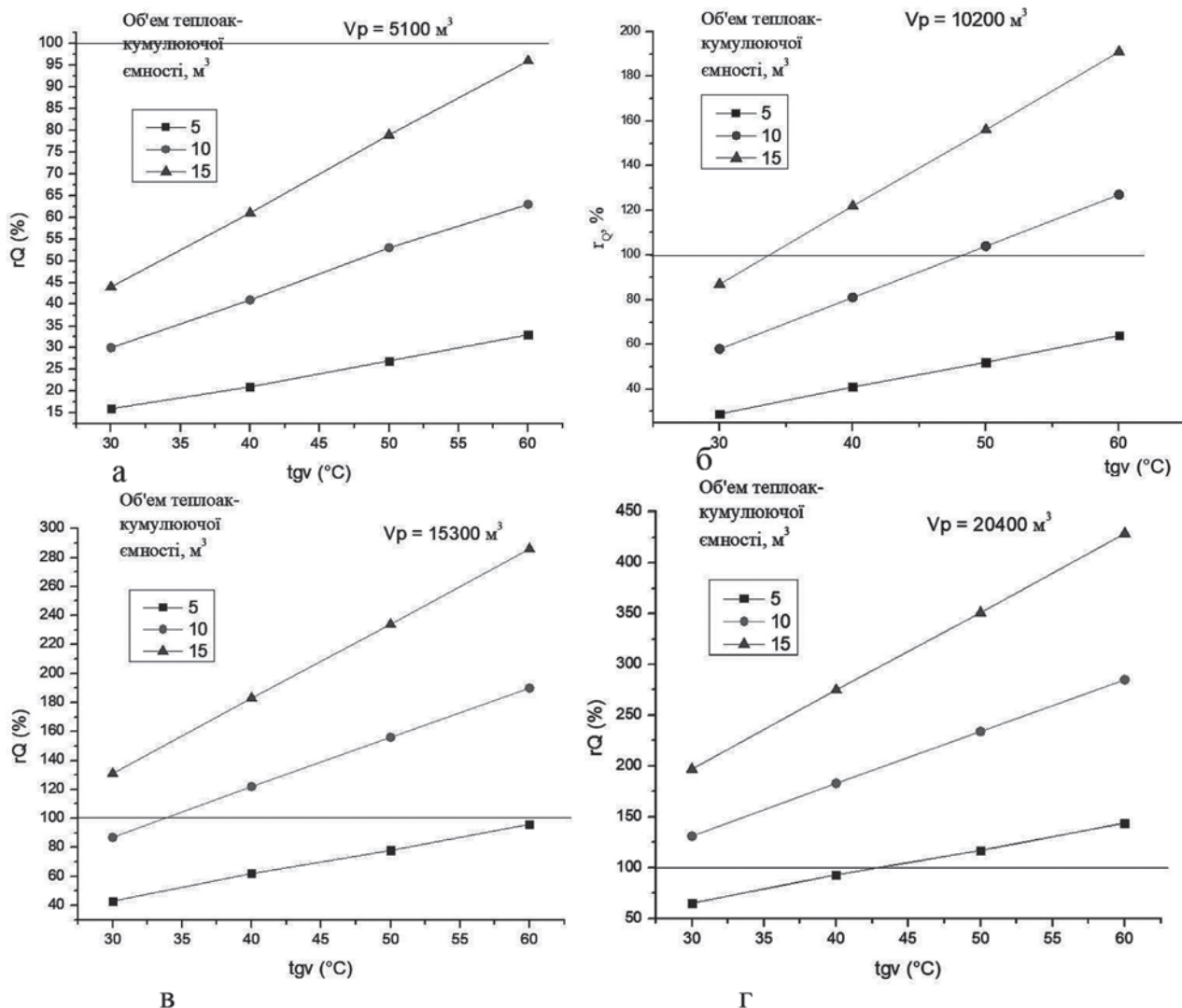


Рис. 4. Графіки теплового навантаження на систему опалення та відповідного відсотку рекуперації залежно від об'єму приміщення, яке опалюється

(рис. 4б), а з підвищенням об'єму приміщення, котре опалюється, ця величина стрімко зростає (рис. 4в, г). Враховуючи величину подібної нестачі (4,61%) за умови температури води +50°C, доцільно прийняти об'єм приміщення, яке опалюють, 10200 м<sup>3</sup> та об'єм ємності теплового акумулятора 10 м<sup>3</sup>.

Недостатню теплову потужність пропонується компенсувати за допомогою додаткового джерела теплоти, наприклад, сонячного колектора, тобто доцільно використовувати систему з контуром геліоколектора (рис. 2), зокрема за допомогою 30 модулів вакуумних геліоколекторів Vaillant auroTHERM exclusiv VTK 570/2.

Альтернативою є менш дорогі полімерні сонячні колектори, зокрема ПСК-АВ1-2, ПСК-ВС2-2 та ПСК-ВС1-2, які рекомендовано для експлуатації протягом року [9, с. 67], площа яких дорівнює 46 м<sup>2</sup> площі, що еквівалентно площі 7×6,5 м. Ця величина дещо більша порівняно із вакуумним колектором, але менша вартість модуля сонячного колектора дозволяє розглядати подібні пристрої як перспективні.

**Висновки.** 1. Проведено дослідження процесів утилізації низько-потенційної теплової енергії при експлуатації парової компресорної холо-

дильної установки з використанням холодильного агенту R32. Підтверджено доцільність використання теплоти конденсації для теплопостачання підприємства.

2. Запропоновано схема системи холодопостачання з контуром акумуляції тепла та схема системи холодопостачання з модулем рекуперації тепла для опалення та з контуром геліоколектора. Розроблено алгоритм розрахунку об'єму теплоакумулюючої ємності та площі геліоколектора для розроблених систем. Як критерій ефективності системи теплопостачання використано коефіцієнт рекуперації.

3. На основі розробленого алгоритму та проведених розрахунків показана кореляція коефіцієнта рекуперації теплоти, а також об'єму приміщення, що опалюється, об'єму теплового акумулятора та температури води у контурі теплопостачання. Встановлено об'єми приміщення, які доцільно опалювати за допомогою цих систем – 5100–10200 м<sup>2</sup>, температура води у системі теплопостачання дорівнює за цих умов 50°C. Показано умови, за яких слід використовувати геліоколектори, розраховано оптимальну величину площі сонячних колекторів – вакуумного auroTHERM exclusiv VTK 570/2 та полімерних сонячних колекторів ПСК-АВ1-2, ПСК-ВС2-2 та ПСК-ВС1-2.

#### Список літератури:

1. Keleher M., Narayanan R. Performance analysis of alternative HVAC systems incorporating renewable energies in sub-tropical climates. *Energy Procedia*. 2019. Vol. 160. P. 147–154
2. Усенков Р.А. Улучшение характеристик параметров холодильной установки как один из способов уменьшения негативного влияния на окружающую среду. *Вестник новгородского государственного университета*. 2019. № 4 (116). С. 61–64.
3. Мааке В., Эккерт Г.-Ю., Копшен Ж.-П. Учебник по холодильной технике. Издательство МГУ, 1998. 1160 с.
4. Varvagiannis E., Charalampidis A., Zsembinszki G., Karellas S., Cabeza L.F. Energy assessment based on semi-dynamic modelling of a photovoltaic driven vapour compression chiller using phase change materials for cold energy storage. *Renewable Energy*. 2021. Vol. 163. P. 198–212.
5. Hu C., Li M., Wang Y., Li G., Ma X., Du W., Zhou X., Zhang Y. Preliminary investigation on pilot-scale photovoltaic-driven cold storage with ice thermal storage based on vapor compression refrigeration cycle. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2021. Vol. 45. P. 101–187.
6. Xu Y., Li Z., Chen H., Lv S. Techno-economic evaluation and analysis of solar hybrid cooling systems with cool energy buffer for cold storages. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021. Vol. 46. P. 101–270.
7. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання. Ч. I «Теплові мережі та споруди : навчальний посібник. Київ : Кондор, 2007. 244 с.
8. Xue J., Guo X., Xue L. Experimental Study on Performance of Flash-tank Vapor Injection Air-Source Heat Pump System with Refrigerant R32. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 142. P. 950–956.
9. Сухий К.М., Козлов Я.М., Беяновська О.А., Сухий М.П. Системи акумуляції та трансформації сонячної енергії : монографія. Д.: ДВНЗ УДХТУ, 2017. 168 с.

**Belyanovskaya E.A., Sklyarenko A.I., Sukhyu K.M., Pustovoy G.N., Sukhyu M.P., Prokopenko E.M., Yeromin A.O. UTILIZATION OF LOW-POTENTIAL HEAT ENERGY WHEN STEAM COMPRESSOR-DRIVEN REFRIGERATION PLANT OPERATED**

*The processes of utilization of low-potential thermal energy during the operation of a steam compressor-driven refrigeration plant, which operates using the refrigerant R32 were studied. Its efficiency is estimated and*

*the expediency of use of heat of condensation for heat supply is shown. Schemes of refrigeration systems with heat storage circuit and with heat recovery unit for heating and with solar collector circuit are proposed. An algorithm for calculation the developed systems has been developed. It involves the next stages: the calculation of refrigeration machine parameters according to standard methods, in particular, coefficient of performance, condensing power, mass flow of coolant in condenser heat exchanger, heat load on condenser heat exchanger; evaporator heat storage capacity in summer and winter; the amount of heat to maintain climatic conditions in office space, the coefficient of heat recovery and the amount of heat recovered, the amount of heat which goes for heating water, mass and volume flow of heat carrier in the heating system and water temperature in heat supply system. The correlation between the heat recovery coefficient and the volume of the heated premise, the volume of the heat storage device and the water temperature in the heat supply circuit is shown. The volumes of the premises which should be heated with these systems and the water temperature in these conditions have been determined. The conditions under which it is expedient to use a solar collector in similar systems are revealed. The prospects of using recovery of condensation heat in heat supply systems are shown.*

**Key words:** *steam compressor-driven refrigeration plant, heat of condensation, utilization of heat energy, coefficient of heat recovery.*

**Назарова І.О.**

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

## УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ КОТЕЛЬНИХ АГРЕГАТІВ У ТЕПЛООБМІННОМУ АПАРАТІ КОНТАКТНОГО ТИПУ

*На основі аналізу літературних даних, досліджень, проведених автором, розглядається доцільність використання теплоти відхідних газів котельних агрегатів, що включає теплоту конденсації водяної пари у контактних теплоутилізаторах. Відзначається, що кількість теплоти, яку можна корисно використати, набагато зростає, якщо повною мірою використати теплоту конденсації водяних парів, що містяться у димових газах. Ефективною технологією утилізації теплоти димових газів котлів, що використовує теплоту конденсації водяної пари, є використання як утилізаторів теплообмінників контактного типу, у яких досягається охолодження газів до температури, меншої за температуру точки роси. Запропоновано у якості утилізатора теплоти конструкцію контактного тепломасообмінного апарату, в якому відхідні гази і вода, що нагрівається, рухаються у супутньому висхідному потоці. Було поставлено завдання розглянути особливості процесу тепломасообміну і нагріву води у контактному теплоутилізаторі з висхідною течією газів і плівки рідини. Представлено результати експериментального дослідження процесу нагріву води залежно від густини зрошення робочої ділянки, швидкості та температури газів, висоти робочого каналу. Отримано залежність для розрахунку щільності зрошення, яка забезпечує ефективність використання поверхні робочого каналу контактного утилізатора теплоти з висхідною супутньою течією теплоносіїв (відсутність ділянки випаровування). У загальному вигляді отримано рівняння для розрахунку ефективної висоти робочого каналу, вище якої теплопродуктивність каналу не буде змінюватися. Отримані результати можуть бути використані для розрахунку вискоелективних контактних теплоутилізаторів із висхідним супутнім рухом теплоносіїв. Подальші дослідження необхідно зосередити на створенні методики розрахунку контактного тепломасообмінного апарату з висхідною течією газів і рідини, яка відображатиме результати експериментальних досліджень процесів тепло- і масообміну й особливостей гідродинамічних характеристик при взаємодії газу і рідини у висхідному супутньому русі.*

**Ключові слова:** контактний теплоутилізатор, конденсація водяної пари, тепломасообмін при контактній конденсації, висхідний супутній рух, гранична температура нагріву.

**Постановка проблеми.** В умовах високої вартості газу, який нині є найбільш розповсюдженим теплоносієм для промисловості та населення України, зниження втрат тепла з димовими газами, може бути найбільш значущим енергозберігаючим заходом і головним завданням. У загальному об'ємі природного газу, який використовується у паливно-енергетичному комплексі, на промислові й опалювальні котли припадає до 45%. У продуктах згоряння природного газу міститься досить великий об'єм водяної пари, на утворення якої витрачається частина теплоти згоряння палива. Можливий виграв теплоти зростає у рази, якщо повною мірою використати теплоту конденсації водяних парів, що містяться у димових газах. Ефективною технологією утилізації теплоти димових газів котлів, яка використовує теплоту конденсації водяної пари, є використання як утилізаторів теплообмінників контактного типу, у яких досягається охолодження газів до

температури, меншої за температуру точки роси. Охолодження газів при безпосередньому контакті теплоносіїв дозволяє використовувати як фізичну (суху), так і конденсаційну (вологу) складові частини теплоти газів. Теплоту, яка утилізована у контактному теплообміннику, використовують у певному елементі теплової схеми. Додатково отримана теплота утилізації зменшує витрату природного газу на котел, а також дозволяє зменшити шкідливі викиди, які потрапляють в атмосферу після спалювання газу.

Однією із проблем, що перешкоджають розвитку утилізаційних технологій, є відмінність і складність методик розрахунку теплоутилізаторів димових газів із конденсацією водяної пари, проблема повноти використання теплоти конденсації водяних парів, а також проблема раціонального вибору типу і конструкції утилізатора. Відома конструкція вискоелективного контактного утилізатора теплоти [1, с. 152], у якому швидкість газів

перевищує верхню межу «захлинання» протиточного руху в вертикальних трубах. Це забезпечує умови протікання контактного тепломасообміну в супутньому висхідному потоці газів і плівки рідини та призводить до значної інтенсифікації процесів міжфазної взаємодії та, як наслідок, до багаторазового збільшення середніх коефіцієнтів тепловіддачі та масовіддачі порівняно із протиточними схемами руху [1, с. 152].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичний потенціал утилізації теплоти представлений на рис. 1 [2, с. 33].

При спалюванні природного газу практично відсутні втрати теплоти від механічного недопалу палива, близькі до нуля втрати теплоти від хімічної неповноти горіння палива і дуже невеликі втрати теплоти у довокільця. Єдиною втратою теплоти в котлах, про подальше зниження якої може йтися, є лише втрати з відхідними газами, яка дорівнює 5–6% від нижчої теплоти згоряння газу. У котельних агрегатах, що працюють на природному газі, єдиним шляхом суттєвого поліпшення використання палива є глибоке охолодження продуктів згоряння до такої температури, за якої вдається сконденсувати максимально можливу частину пари, що містяться в газах, і використовувати приховану теплоту, яка виділяється при конденсації. Крім того, глибоке охолодження газів дозволяє повніше використовувати їх фізичну теплоту.

У газових котлоагрегатах іншого шляху помітного підвищення ефективності використання палива, крім глибокого охолодження продуктів згоряння до температури, за якої відбувається конденсація водяних парів із димових газів, немає. Крім того, при глибокій утилізації у присутності у продуктах згоряння водяної пари емісія шкідливих викидів скорочується на 20–40% і більше, що робить процес екологічно чистим [3, с. 17].

Методики визначення та розрахунку параметрів, які забезпечать конденсацію максимально

можливої частини пари, що міститься у газах, практично відсутні. У роботі [4, с. 49] розглядається система глибокої утилізації та теплоти відхідних газів, у якій автори поєднали поверхневі та контактні теплообмінні апарати. Експериментально дослідили вплив основних параметрів теплоносіїв на процес охолодження газового потоку ізотермічною плівкою рідини у регулярній насадці (канал із сітчастим покриттям) контактного утилізатора. Робота [5, с. 19] присвячена експериментальному дослідженню теплових характеристик проточного барботажного шару під час нагрівання води парогазовою сумішшю у вертикальному каналі.

**Формулювання цілей статті.** Розв'язання конкретної задачі утилізації теплоти димових газів залежить від багатьох факторів, але на першому етапі необхідно визначити кількість теплоти, яку можна отримати у конкретному випадку від димових газів, обрати тип і конструкцію утилізаційного теплообмінника, оцінити економічну доцільність використання утилізатора, тому що капіталовкладення є прямо пропорційними кількості утилізованої теплоти. Було поставлено завдання розглянути особливості тепломасообміну у контактному теплоутилізаторі з висхідною течією газів і плівки рідини та оптимізувати його конструкцію, а саме дослідити процес нагріву рідини відхідними газами та визначити, яка довжина робочої ділянки буде забезпечувати необхідний процес повної конденсації водяних парів із димових газів на плівці води.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес тепло масообміну при контакті газів і води складний і залежить від багатьох факторів. Результат взаємодії нагрітих димових газів (за складом і властивостями це фактично вологе повітря) та води (у вигляді плівки), визначається цілим комплексом процесів (для кращого їх розуміння і розрахунків, схеми цих процесів будують у  $h, d$  – діаграмі вологого повітря, методика побудови викладена у [6, с. 211]).



Рис. 1. Теоретичний потенціал утилізації теплоти димових газів котлів, працюючих на природному газі

Одночасно із нагріванням може відбуватися конденсація вологи на поверхні плівки або випаровування. Фактично можливі три варіанти взаємного напрямку потоків теплоти та вологи (тепловіддачі та масовіддачі), які залежать від співвідношення температур фаз і співвідношення парціальних тисків пари у прикордонному шарі (біля плівки) й у ядрі газового потоку. Перший випадок, коли потоки теплоти та вологи спрямовані від крапель до газу, відповідає випарному охолодженню води; другий – нагріванню крапель при одночасному випаровуванні вологи з їхньої поверхні; а у третьому варіанті, у якому теплота і волога спрямовані від газу до крапель, відбувається нагрівання води з конденсацією парів. Зі сказаного можна зробити висновок, що у теплоутилізаторі необхідно організувати третій варіант. При контакті води з гарячими газами спочатку відбувається процес нагрівання рідини та конденсації парів на поверхні холодної плівки води доти, доки не буде досягнуто температуру, що відповідає точці роси для газу. Далі, у міру нагрівання води і зростання парціального тиску пари біля поверхні крапель, кількість теплоти, що передається за рахунок тепловіддачі, буде зменшуватися, а кількість теплоти, яка передається від крапель до димових газів за рахунок випаровування, зростатиме. Продовжуватиметься це до досягнення рівноваги, коли вся теплота, одержувана водою від димового газу, повертатиметься газу у вигляді теплоти випаровування рідини. Після цього подальше нагрівання рідини неможливе, відбувається її випаровування за постійної температури. Досягнута температура називається температурою мокрого термометра.

Для аналізу і розуміння процесу нагріву води з одночасною конденсацією вологи з газів у висхідній супутній течії були проведені дослідження на експериментальній установці, дослідною ділянкою якої була вертикальна трубка, а як теплоносії використовувалися парогазова суміш і вода.

Для визначення щільності зрошення, за якої охолодження парогазової суміші супроводжуватиметься лише процесами конденсації, були отримані залежності кінцевої температури води від швидкості суміші ( $w_{пр} = 20,8 - 47$  м/с) і початкового паровмісту суміші ( $\phi = 11-30\%$ ).

Аналіз залежності кінцевої температури води від щільності зрошення при зміні швидкості парогазового потоку і початкової температури  $t_{ж2} = f(Q_m; w_{пр}; t_{гр1})$  при  $\phi = 11\%$ ,  $L = 1404$  мм, показав, що за відносно малих щільностей зрошення температура  $t_{ж2}$  не залежить від щільності зрошення  $Q_m$ , ні від швидкості суміші  $w_{пр}$ , ні від початкової темпера-

тури парогазового потоку  $t_{гр1}$ . При досягненні деякої граничної щільності зрошення  $Q_m^{гр1}$ , значення якої залежить від швидкості парогазової суміші,  $t_{ж2}$  зменшується зі збільшенням щільності зрошення, зростає зі збільшенням швидкості парогазового потоку і також залежить від початкової температури суміші.

Було встановлено, що за щільності зрошення  $Q_m$  нижче граничного значення  $Q_m < Q_m^{гр1}$  вода нагрівається до граничної температури  $t_{ж}^{гр}$ . Граничний нагрів рідини пов'язаний із досягненням температури мокрого термометра парогазового потоку, оскільки у контактних апаратах підігрів води можливий лише до температури мокрого термометра приблизно рівної температурі кипіння води при парціальному тиску водяної пари парогазової суміші. При досягненні деякої граничної щільності зрошення  $Q_m > Q_m^{гр1}$  вода нагрівається до деякої рівноважної температури з умов охолодження парогазової суміші. Також значення граничної температури підігріву води збільшується при підвищенні початкового паровмісту, оскільки за його зростання збільшується значення температури мокрого термометра парогазового потоку.

Температура води на виході з дослідної ділянки  $t_{ж2}$  залежить від таких параметрів

$$t_{ж2} = t_{ж}^{гр} = f(\phi) \text{ при } Q_m < Q_m^{гр1}; \quad (1)$$

$$t_{ж2} = f(Q_m; w_{пр}; \phi), t_{ж2} < t_{ж}^{гр} \text{ при } Q_m > Q_m^{гр1}. \quad (2)$$

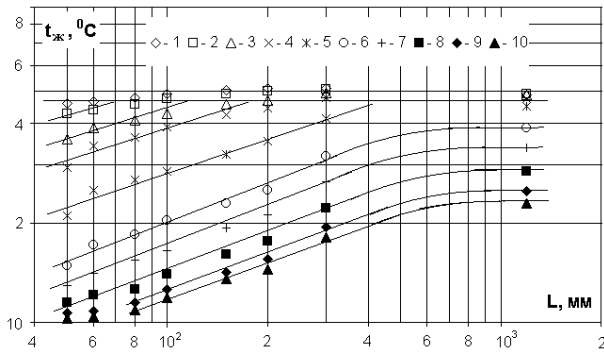
Для визначення граничної температури нагрівання рідини отримано співвідношення

$$t_{ж2} = t_{ж}^{гр} = 88,94 \cdot \phi^{0,3}. \quad (3)$$

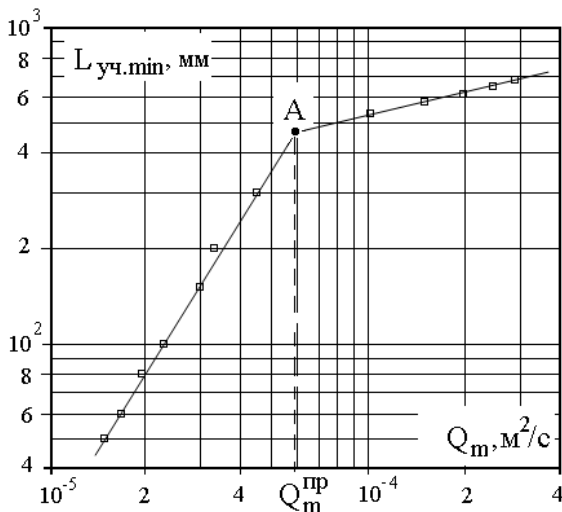
Виходячи з вищесказаного, наявність ділянки випаровування пов'язана з нагріванням рідини до граничної температури за щільності зрошення нижче деякого граничного значення  $Q_m < Q_m^{гр1}$ , що залежить від швидкості та початкового паровмісту парогазової суміші.

Проаналізуємо, як змінюється значення температури води, що нагрівається, по висоті дослідної ділянки за різних значень щільності зрошення (рис. 2). З рисунку видно, що існує гранична температура нагрівання води, що дорівнює приблизно  $t_{ж}^{гр} = 46$  °С для цих умов ( $t_{гр1} = 105$  °С;  $\phi = 11\%$ ;  $w_{пр} = 20,8$  м/с). Вище цієї температури рідина не нагрівається. За кожного значення щільності зрошення існує деяке граничне значення робочої висоти дослідної ділянки, вище якого не відбувається подальшого підвищення температури рідини, що нагрівається. За щільності зрошення  $Q_m < Q_m^{гр1}$  це пов'язано з досягненням граничної температури нагрівання води, а при  $Q_m > Q_m^{гр1}$  – з максимальним охолодженням парогазової суміші за умов теплового балансу.





**Рис. 2.** Розподіл температури нагрітої води  $t_{ж}$  по висоті труби  $L$  при початковій температурі парогазової суміші  $t_{пр1} = 105^\circ\text{C}$ , початковому паровмісті  $\varphi = 11\%$  і швидкості  $w_{пр} = 20,8 \text{ м/с}$ : 1 – щільність зрошення  $Q_m = 1,255 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 2 –  $Q_m = 1,69 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 3 –  $Q_m = 2,62 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 4 –  $Q_m = 3,37 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 5 –  $Q_m = 5,43 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 6 –  $Q_m = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 7 –  $Q_m = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 8 –  $Q_m = 1,98 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 9 –  $Q_m = 2,47 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ; 10 –  $Q_m = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .



**Рис. 3.** Залежність граничної робочої висоти дослідної ділянки труби  $L_{уч.мін}$  від щільності зрошення  $Q_m$  при початковій температурі суміші  $t_{пр1} = 105^\circ\text{C}$ , початковому паровмісті  $\varphi = 11\%$ , швидкості суміші  $w_{пр} = 20,8 \text{ м/с}$  у каналі висотою  $L = 1404 \text{ мм}$ .

Таким чином, при щільності зрошення нижче деякого граничного значення  $Q_m < Q_m^{пр1}$  на певній робочій довжині дослідної ділянки відбувається нагрівання рідини до граничної температури  $t_{ж2} = t_{ж}^{пр}$ . Протягом решти ділянки труби відбувається зворотний процес – процес випаровування.

Експериментальні дані дозволили отримати залежність мінімальної робочої висоти дослідної ділянки труби від щільності зрошення (рис. 3).

При  $Q_m < Q_m^{пр1}$  на робочій висоті дослідної ділянки досягається нагрівання рідини до гранич-

ної температури. При  $Q_m > Q_m^{пр1}$  рідина нагрівається до деякої рівноважної температури за умов охолодження парогазової суміші. У ході експериментів встановлено, що зі зростанням швидкості парогазової суміші та початкового паровмісту мінімальна робоча висота дослідної ділянки зменшується.

Залежність для визначення мінімальної робочої висоти дослідної ділянки труби має вигляд:

а) при досягненні граничної температури нагрівання води

$$L_{уч.мін} = 9,2 \cdot 10^8 \cdot Q_m^{1,38} \cdot w_{пр}^{-0,66} \cdot \varphi^{-0,4} \text{ при } Q_m < Q_m^{пр1}; \quad (4)$$

б) при температурі нагрівання води за умов максимального охолодження парогазової суміші

$$L_{уч.мін} = 4,1 \cdot 10^3 \cdot Q_m^{0,23} \cdot w_{пр}^{-0,14} \cdot \varphi^{-0,2} \text{ при } Q_m > Q_m^{пр1}. \quad (5)$$

Практичне значення на рис. 3 має точка А. У точці А довжина робочого каналу забезпечує дві важливі для практики умови: нагрівання води до граничної температури та водночас максимальне за цієї умови значення щільності зрошення, що відповідає максимальній теплопродуктивності робочого каналу.

Емпіричні співвідношення для щільності зрошення та висоти каналу в точці А впливають зі спільного вирішення співвідношень (4, 5)

$$Q_m^{пр1} = 2,22 \cdot 10^{-5} \cdot w_{пр}^{0,45} \cdot \varphi^{0,17}. \quad (6)$$

$$L_A = 3,48 \cdot 10^{-1} \cdot w_{пр}^{-0,04} \cdot \varphi^{-0,17}, \quad (7)$$

чи в узагальненому вигляді

$$(L/d)_A = 26,77 \cdot Re_{пр}^{-0,04} \cdot \varphi^{-0,17}. \quad (8)$$

**Висновки.** Результати дослідження мають важливе практичне значення. Отримана залежність (6) для розрахунку щільності зрошення, яка забезпечує ефективність використання поверхні робочого каналу контактного утилізатора теплоти з висхідною супутньою течією теплоносіїв (відсутність ділянки випаровування). Також встановлено, що ефективна висота робочого каналу не повинна перевищувати значення згідно з рівнянням (8), тому що при подальшому збільшенні висоти робочого каналу теплопродуктивність робочого каналу не змінюється. Отримані можуть бути використані при розрахунку вискоефективних контактних теплоутилізаторів з такою організацією руху теплоносіїв. Подальші дослідження необхідно зосередити на створенні методики розрахунку контактного тепломасообмінного апарату з висхідною течією газів і рідини, яка буде відображати результати експериментальних досліджень процесів тепло- і масообміну й особливостей гідродинамічних характеристик при взаємодії газу і рідини у висхідному супутньому русі.

**Список літератури:**

1. Назарова І.О. Підвищення енергоекологічної ефективності біопаливних котелень. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Т. 31 (70). № 4. С. 149–154.
2. Беспалов В.В. Технологии глубокой утилизации тепла дымовых газов. *Энергетика*. 2015. № 2 (38). С. 32–36.
3. Шадек Е.Г. Оценка эффективности глубокой утилизации тепла продуктов сгорания котлов электростанций. *Энергосбережение*. 2016. № 2. С. 16–19.
4. Утилізація теплоти відпрацьованих газів котлів у комбінованих тепло- і масообмінних апаратах / В.О. Туз, Я.Є. Трокоз, Н.Л. Лебедь *Проблеми загальної енергетики*. 2011. Вип. 1. С. 46–50.
5. Тепловые характеристики проточного барботажного слоя контактных утилизаторов теплоты / М.К. Безродний, П.О. Барабаш, І.О. Назарова, О.П. Костюк. *Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика*. 2009. Вип. 1. С. 16–26.
6. Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н. Высокоэффективные газовые контактные водонагреватели. Москва : Стройиздат, 1988. 376 с.

**Nazarova I.O. UTILIZATION OF HEAT BOILERS EXIT GASES IN THE CONTACT HEAT EXCHANGER**

*Based on the analysis of literature data, research conducted by the author, the feasibility of using the heat of boilers exit gases, including the heat of condensation of water vapor in contact heat utilizer. It is noted that the amount of useful heat can be greatly increased if you fully use the heat of condensation of water vapor. An effective technology for utilization of heat of boilers exit gases, which uses the heat of condensation of water vapor, is the use as utilizers of contact type heat exchangers, which achieve cooling of gases to a temperature less than the dew point temperature. The design of a contact heat exchanger in which exit gases and heated water move in a concomitant upward flow is proposed as a heat utilizer. In this paper, the task was set to consider the features of the process of heat and mass transfer and heating of water in contact heat exchanger with the concomitant upward flow of gases and liquid film. The results of an experimental study of the process of heating water depending on the density of irrigation of the working area, the speed and temperature of gases, the height of the working channel are presented. The results of this study are of great practical importance. The dependence for the calculation of irrigation density is obtained, which ensures the efficiency of using the surface of the working channel of the contact heat exchanger with the ascending concomitant flow of coolants (no evaporation area). In general, the equation for calculating the effective height of the working channel, above which the heat output of the channel will not change. The obtained results can be used in the calculation of high-efficiency contact heat exchangers with upward concomitant movement of coolants. It is noted that further research should focus on creating a method for calculating the contact heat and mass transfer apparatus with upward flow of gases and liquid, which will reflect the results of experimental studies of heat and mass transfer and hydrodynamic characteristics of gas-liquid interaction in ascending concomitant motion. The calculation method is necessary for practical use and will allow calculating a highly efficient contact heat exchanger for heat utilization.*

**Key words:** contact heat utilizer, condensation of water vapor, heat and mass transfer by contact condensation, upward concomitant movement, maximum heating temperature.

УДК 697.7

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/33>**Пуховий І.І.**

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

**Назарова І.О.**

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

## БЕЗПОСЕРЕДНЄ ВИКОРИСТАННЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ БУФЕРНИХ ЗОН БУДІВЕЛЬ

У роботі розглядається альтернатива тепловим насосам – безпосереднє використання енергії природних і техногенних вод для підігріву повітря в буферних зонах будівель. Метою роботи є визначення впливу конструктивних, таких як площа огорожі будинку без буферної зони і площа огорожі буферної зони, та експлуатаційних характеристик будівель на температурні й енергетичні характеристики будівель з опаленням буферної зони та на витрати низькопотенційної енергії в буферній зоні. Для розрахунку ефективності системи отримана залежність, що враховує частку огорож із буферними зонами й витрату енергії на інтенсифікацію теплообміну в теплопередаючих пристроях, розташованих у буферній зоні або поза нею, і використовують теплоту низького потенціалу. Установлені залежності середньої температури в буферній зоні від відношення коефіцієнта теплопередачі огорожі буферної зони до коефіцієнта теплопередачі житлової зони, від відношення площі огорожі будинку без буферної зони до площі огорожі буферної зони, від температури атмосфери. Аналітичним шляхом отримані залежності для визначення витрати низькопотенційної енергії й максимальної температури навколишнього середовища, вище якої система низькотемпературного опалення, що розглядається, не може працювати при різних температурах теплоносія. Установлено, що безпосереднє використання теплоту низького потенціалу в буферних зонах будівель є альтернативою використанню теплових насосів, які мають низьку ефективність узижку на природній теплоті. Економія традиційної енергії залежить від наявності буферних зон на різних фасадах будівлі та на піддаховому просторі. Технічно можлива економія традиційної енергії у 2–3 рази. Для розрахунку ефективності системи отримана залежність, що враховує частку огорож із буферними зонами та витрату енергії на інтенсифікацію теплообміну в теплопередаючих пристроях, розташованих у буферній зоні або поза нею, і використовують теплоту низького потенціалу. Система опалення, що розглядається, рекомендується для регіонів з холодним кліматом, де велика кількість морозних днів, а в умовах помірнього клімату – для запобігання піковим навантаженням, що особливо важливо при теплонасосному опаленні житлової зони.

**Ключові слова:** системи опалення, використання теплоти замерзання води, буферна зона будівель, низькотемпературна система опалення, низькотемпературна енергія.

**Постановка проблеми.** Відновлювані джерела енергії заощаджують традиційне паливо та зменшують викиди в атмосферу парникових газів. У зимовий період крім сонячної енергії для опалення будівель можна використовувати ґрунтові та поверхневі води з температурою 1–9°C. У міських умовах і в промислових районах є технологічні води з температурою до 20–30°C. Зараз енергія таких вод використовується в теплових насосах (далі – ТН), які є досить дорогими й доступними для використання в розвинених країнах (ціна 1 кВт теплової енергії в ТН становить 300–800 USD).

У роботі розглядається альтернатива тепловим насосам – безпосереднє використання енергії

природних і техногенних вод для підігріву повітря в буферних зонах будівель, де температура нижче 0°C.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спочатку в Канаді й в Україні (Кривий Ріг), а потім і в Росії стали використовувати теплоту замерзання води для підігріву повітря в шахтах і копальнях [1, с. 26].

Нами отримано авторське свідоцтво на винахід системи опалення з використанням теплоти замерзання води в буферній зоні будівель [2, с. 1]. Буферними зонами (далі – БЗ) будівель називають простір між стіною будівлі з великим термічним опором, що утворює житлову зону (далі – ЖЗ), де внутрішня температура близько  $t_D=20^\circ\text{C}$ , і зовнішньою

огороженою будівлі (буферної зони), що стикається з атмосферою.

Як буде показано далі, узимку температура БЗ  $t_B$  менше  $t_D$  і може бути негативною (на 3–15°C вище за атмосферну  $t_A$ ).

Буферну зону будівель утворюють пасивні сонячні системи опалення (засклені лоджії, балкони, веранди, оранжереї), що примикають до основних огорож будівель. Уночі за відсутності Сонця там також може бути негативна температура, створюються умови для використання теплоти кристалізації води ( $r = 334$  кДж/кг), що дає змогу різко скоротити витрати води. Система опалення з використанням кристалізації води запатентована в 1986 році [2, с. 2], в основних аспектах досліджена в роботах [3–7]. У праці [3, с. 59] отримано аналітичним шляхом залежність для визначення середньої температури  $t_B$  в БЗ за відсутності опалення БЗ Сонцем або водою. Знання  $t_B$  необхідне для прийняття рішення про використання опалення БЗ та для розрахунків ефективності.

$$t_B = \frac{t_D + \varphi \omega t_A}{1 + \varphi \omega} \quad (1)$$

При  $t_A = 0$  °C  $t_B$  залежить виключно від  $\varphi$  – відношення коефіцієнта теплопередачі  $K_g$  огорожі БЗ до коефіцієнта теплопередачі житлової зони  $K_D$ . У формулі (1) є відношення площ поверхонь буферної та житлової зон, позначене через  $\omega$ . Зі збільшенням цього відношення температура в БЗ знижується.

У праці [3, с. 59] також знайдено коефіцієнт ефективності низькотемпературної системи опалення будівлі за умови, що всі огороження ЖЗ межують з БЗ (горищене приміщення також є БЗ). Однак така конструкція будівлі буває рідко, тому варто враховувати наявність буферних зон на фасадах. Зауважимо, що в міських квартирах між першим та останнім поверхом таких фасадів не більше двох.

У роботі [4, с. 51] проведено розрахунки ефективності запропонованої нами системи природної холодної води (далі – СПХВ) для різних кліматичних зон за середньомісячними температурами.

Низькопотенційна теплота не дає змоги мати великі різниці температур між водою (що кристалізується) і повітрям, яке нагрівається, тому варто застосовувати методи інтенсифікації теплообміну, які вимагають витрат цінної електричної та механічної енергії. У зв'язку з цим варто враховувати витрати первинного палива на отримання традиційної енергії. З'ясовано [5, с.52], що при елетроопаленні ЖЗ та при використанні ТН з коефіці-

єнтом трансформації  $\varphi_{ТН}$  менше 2,5 (зима, повітряний ТН) годяться навіть високоенерговитратні методи інтенсифікації теплообміну, а в інших випадках (котел, грубка, ТН з  $\varphi_{ТН} > 2,5$ ) варто враховувати додаткову витрату первинного палива на електростанціях для інтенсифікації теплообміну.

Лід, що утворюється взимку в системах вентиляції та опалення, з успіхом можна використовувати влітку для холодопостачання [1, с. 26; 6, с. 32].

Для оцінки ефективності системи природної холодної води (далі – СПХВ) у роботі [3, с. 60] отримано коефіцієнт  $n_f$ , який показує, у скільки разів знижується витрата високопотенційної енергії в ЖЗ за рахунок опалення БЗ, що повністю оточує ЖЗ (ідеальний варіант). Цей коефіцієнт аналогічний за змістом з  $\varphi_{ТН}$ .

$$n_f = \frac{t_D - t_B}{t_D - t_B^0} \quad (2)$$

Тут  $t_D$ ,  $t_B$  і  $t_B^0$ , відповідно, є температури в ЖЗ та БЗ за відсутності опалення БЗ й у БЗ при опаленні БЗ низькопотенційною енергією. Величина  $t_B^0$  залежить від температурного потенціалу теплоносія БЗ. При негативній температурі  $t_B$  (нижче за мінус 7 °C) величина  $t_B^0$  залежно від теплообмінної поверхні охолоджувачів-кристалізаторів води дорівнюватиме мінус 3–5 °C. При використанні джерел (вода, повітря) вище 10 °C значення  $t_B^0$  може бути 5–10 °C. Розрахована величина  $n_f$  залежить від  $t_D$  і для  $t_D = 20$ –25 °C у діапазоні мінус 10–0 °C становить 1,15–2,4 при  $t_B^0 = -5$  °C. За умови  $t_D = 5$ °C (сховища),  $n_f = 2$ –6.

З урахуванням витрати енергії на інтенсифікацію теплообміну в БЗ [5, с. 47] коефіцієнт ефективності  $n_f$  варто замінити на  $n$ :

$$n = n_f \cdot \psi, \quad (3)$$

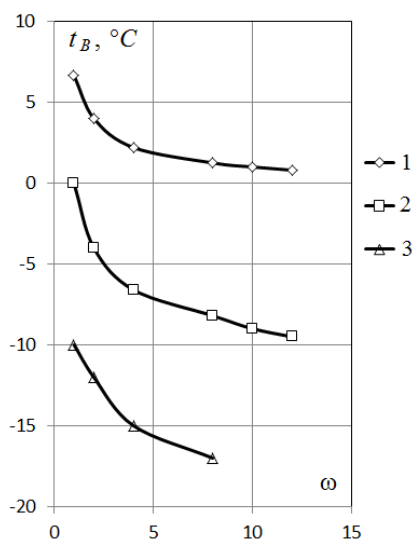
де  $\psi = 0,8$ –0,95.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є визначення впливу конструктивних, таких як площа огорожі будинку без буферної зони та площа огорожі буферної зони, та експлуатаційних характеристик будівель на температурні й енергетичні характеристики будівель з опаленням буферної зони та на витрати низькопотенційної енергії в буферній зоні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Конструктивною характеристикою БЗ є її розміри (ширина та висота), що впливають на площу огорож. При малій відстані між стінками ЖЗ та БЗ площа огорож БЗ дорівнює площі стін ЖЗ. З'ясуємо вплив ширини БЗ у багатоповерхових будинках на величину  $\omega$  і, відповідно,  $t_B$  при фіксованому значенні  $\varphi$ , що залежить від термічних

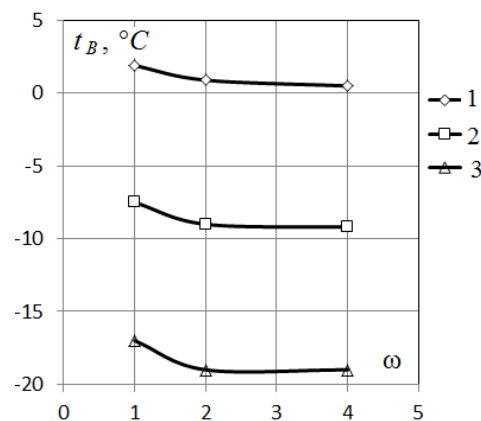
опорів. Площа  $F_B$  огорож БЗ завжди більша за  $F_D$ , а для випадку опалення традиційними джерелами лише однієї кімнати в будинку  $F_B$  будуть до 10–12 разів більшими за  $F_D$ .

За формулою (1) проведемо розрахунки  $t_B$ . Розраховані коефіцієнти тепловіддачі при вільній конвекції становлять від 3 до 6 Вт/(м<sup>2</sup>К) залежно від температур та умов, зумовлених конструкцією будівлі (вплив підлоги та стелі). За тихої погоди коефіцієнт тепловіддачі в атмосферу й у скло з боку БЗ приймаємо 6 Вт/(м<sup>2</sup>К), а за вітру – 13 Вт/(м<sup>2</sup>К), щоб урахувати інфільтрацію. Таким чином, при одинарному склінні (термічний опір теплопровідності скла  $R_\lambda = 0,004$  (м<sup>2</sup>К)/Вт) термічний опір огорож БЗ без інфільтрації при коефіцієнтах тепловіддачі буде менше 6 Вт/(м<sup>2</sup>К) (ми приймали 4 Вт/(м<sup>2</sup>К)). Для умови  $F_B > F_D$  розрахунки проведені при термічному опорі  $R_B = 0,5$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (коефіцієнт теплопередачі 2 Вт/(м<sup>2</sup>К)), а результати наведено на рис. 1. Це відповідає безвітряній погоді або установці рам із подвійним склінням під час вітру. Термічний опір ЖЗ прийнято 1 (м<sup>2</sup>К)/Вт (стінка із цегли товщиною 0,5 м). У випадку  $R_\lambda = 2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (сосновий брус товщиною 0,2 м, повітряний прошарок і цегла товщиною 0,125 м) величина  $R_B = 0,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (рис. 2). Зауважимо, що  $R = 0,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт відповідає одинарній скляній огорожі БЗ з інфільтрацією. При цьому величина  $\varphi = 10$ .



**Рис. 1.** Залежність температур у БЗ від відношення  $\omega = \frac{F_B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери: 1 –  $t_A = 0$  °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С ( $\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 1 / 0,5 = 2$ ).

Як видно з рис. 1 і 2,  $\omega$ , дуже сильно впливає на температуру в буферній зоні й при  $\omega > 8$  температура БЗ наближається до температури атмосфери. У випадку  $\varphi = 10$  при  $R_B = 0,2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт навіть для  $\omega = 1$  за зовнішньої температури  $t_A = -10$  °С у БЗ



**Рис. 2.** Залежність температури в БЗ від відношення  $\omega = \frac{F_B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери: 1 –  $t_A = 0$  °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С

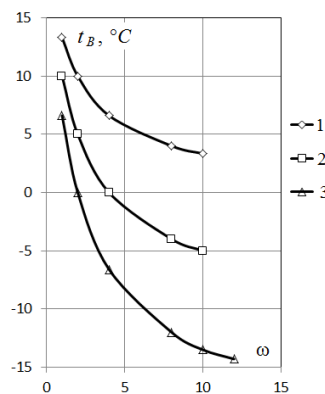
$$(\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 2 / 0,2 = 10).$$

спостерігається негативна температура (–7,5 °С), а при  $\omega = 4$  вона стає (–9,2 °С).

Часто для економії енергії на опалення господарі обігрівають лише одну кімнату в будинку. Тому внутрішня перегородка стає огорожею ЖЗ, а капітальні огорожі приміщень, що не обігріваються, – огорожами БЗ (величина  $\omega < 1$ ). Приймаючи  $R_D = 0,5$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (мінімальне значення термічного опору внутрішніх перегородок), провели розрахунки для  $R_B = 1$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (цегляна стіна завтовшки 0,5 м) і  $R_B = 2$  (м<sup>2</sup>К)/Вт (описано вище).

На рис. 3 показані температури БЗ для  $\varphi = 0,5$ , а на рис. 4 – для  $\varphi = 0,25$  залежно від  $\omega$ .

При опаленні однієї кімнати в будинку (рис. 3 й 4) для досягнення умов застосування теплоти замерзання води при  $\varphi = 0,5$  необхідно, щоб значення  $\omega$  було більше 4–8.



**Рис. 3.** Залежність температури в БЗ будівель, у яких опалюються не всі кімнати, від відношення  $\omega = \frac{F_B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери:

$$1 - t_A = 0$$
 °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С ( $\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 0,5 / 1 = 0,5$ )

(будівля із цегли  $\delta=0,5$  м).

Проведені експерименти в БЗ (лоджії квартири) показали, що біля заскленої поверхні температура нижче на 6–8 °С на висоті 2,2 м і на 3–4 °С на висоті 0,1 м від підлоги. Вимірювання проведено в темний час доби. Температура зростає з висотою та вище біля стелі на 6–8 °С. При  $t_A = -8$  °С в середині ширини БЗ температури на висотах 0,25 м і 2,2 м становили відповідно (-4,5°С) та 2 °С. У сонячну погоду різниця сягає 12°С. Експериментальні результати, середні за висотою та шириною з точністю до 15% збігаються з розрахунковими за формулою (1), що вказує на її адекватність [5, с. 47].

З'ясуємо вплив на ефективність СПХВ наявності БЗ біля різних огорож ЖЗ. Уведемо відношення площі  $F_D^B$  огорож житлової зони з БЗ до загальної площі  $F_D$  огорож ЖЗ:

$$\sigma = \frac{F_D^B}{F_D} \quad (4)$$

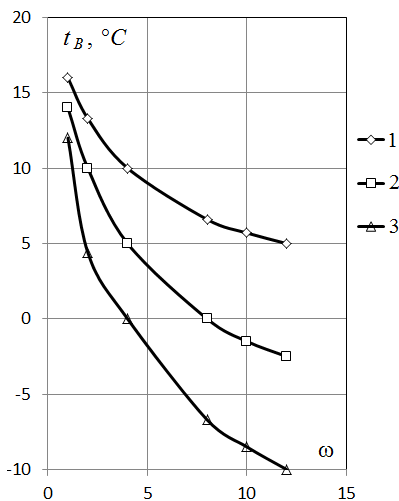


Рис. 4. Залежність температури в БЗ будівель, у яких опалюються не всі кімнати, від відношення  $\omega = \frac{F_D^B}{F_D}$  при різних значеннях температури атмосфери:

1 –  $t_A = 0$  °С; 2 –  $t_A = -10$  °С; 3 –  $t_A = -20$  °С ( $\varphi = \frac{R_D}{R_B} = 0,5 / 2 = 0,25$ )

(стіна із соснового бруса та цегли із зазором між ними)

В одноповерхових будівлях не враховуємо втрати теплоти через підлогу, а в багатоповерхових будинках вище за другий поверх вони відсутні. Влаштування БЗ у таких будинках на стінах без проблем дає змогу отримати  $\sigma = 1$ . У разі двоповерхової будівлі довжиною 12 м і шириною 6 м при розміщенні БЗ на одному фасаді та 2-х коротких з урахуванням горища  $\sigma = 0,74$ , а без нього  $\sigma = 0,5$ .

Позначимо індексом  $R$  теплоту, що передається через стіни ЖЗ і БЗ з відновлюваною енергією, а індексом  $TR$  – від традиційної енергії через огороження ЖЗ, що контактують з атмосферою. Для будівлі з  $\sigma < 1$  теплова потужність на опалення ЖЗ:

$$Q = \sigma Q_R^0 + (1 - \sigma) Q_{TR} \quad (5)$$

Огородження БЗ зменшує теплові втрати будівлі без опалення БЗ. Нами розраховано, що при термічному опорі теплопровідності стіни  $R_\lambda$  ЖЗ від 0,2 до 2 Вт/(м²К) та з огороженням БЗ з рам з одинарним склінням величина  $m$  знижується зі збільшенням  $R_\lambda$  і становить, відповідно, величину, що змінюється від 1,4 до 1 05.

З урахуванням (2), (3), (4) та (5) потужність традиційних джерел енергії в ЖЗ:

$$Q_D = Q_D^{TR} \left[ \frac{\sigma}{mn} + (1 - \sigma) \right] \quad (6)$$

де  $Q_{TR}$  – потужність теплових джерел у ЖЗ без наявності БЗ.

Розділивши обидві частини рівняння на  $Q_D^{TR}$ , отримаємо коефіцієнт зменшення витрати традиційної енергії в ЖЗ  $\mu$ , який дорівнює:

$$\mu = \left[ \frac{\sigma}{mn} + (1 - \sigma) \right] \quad (7)$$

Вплив  $m$  та  $\sigma$  передають вплив конструктивних характеристик будівлі, а  $n$  – вплив температур в атмосфері  $t_A$ , буферної зони  $t_B$  й у житловій зоні  $t_D$ . Величина  $\mu < 1$ , тому витрата традиційної енергії в ЖЗ при опаленні БЗ в  $\mu$  разів менша, ніж у будівлі без БЗ й опалення БЗ.

$$Q_D = Q_D^{TR} \cdot \mu \quad (8)$$

Прийнявши  $m=1,1$ , проведено розрахунки залежності від  $\sigma$  при різних  $n$ . Результати розрахунку показано на рис. 1. Якщо температура ЖЗ 5 °С, то ( $n=6$ ) при цьому можна зменшити витрати традиційної енергії (зниження  $Q_D$  у 2 рази) при  $n=2$  ( $t_A < -20$  °С та  $\sigma = 0,9$ ,  $\mu = 0,5$ ). Для збільшення  $n$ , якщо можливо, варто застосовувати технологічні теплові викиди, щоб підняти  $t_B^0$  й, відповідно, величину  $n$ . Такий варіант можливий для будівель, розташованих поряд із ТЕС (ТЕЦ), заводами та в разі наявності підприємства з великою кратністю вентиляції, коли викидається повітря з температурою 15–25 °С. Таке повітря може бути використане в герметичних БЗ, щоб воно не потрапляло в ЖЗ.

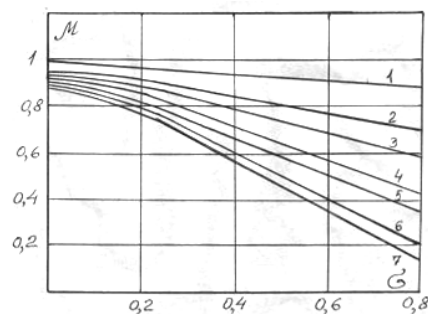


Рис. 5. Залежність коефіцієнта зменшення витрати традиційної енергії від  $\sigma$  і  $n$  при  $m = 1,1$ : 1 –  $n = 1$ ; 2 –  $n = 1,25$ ; 3 –  $n = 1,5$ ; 4 –  $n = 2$ ; 5 –  $n = 2,5$ ; 6 –  $n = 6$ ; 7 –  $n = 7$

Економія пального:

$$\Delta B = \frac{Q_{TR}}{Q_H^p \cdot t} (1 - \frac{1}{\eta}), \quad (9)$$

де  $B$  – витрата пального, кг/с;  $Q_{TR}$ , кВт;  $Q_H^p$ , кДж/кг.

Зауважимо, що СПХВ дає змогу не змінювати потужність традиційних джерел у ЖЗ при морозах. Піки теплоспоживання згладжуватимуться опаленням БЗ. Стає також можливим використовувати взимку в будинку індивідуальні теплові насоси з  $\phi_{TH} > 2$  за наявності традиційної електричної проводки на 2,2–2,5 кВт. У невеликих котеджах і квартирах достатньо електричної потужності ТН до 1,5 кВт взимку з меншою витратою теплоти в ЖЗ за наявності СПХВ.

Розглянемо витрату низькопотенційної енергії для опалення БЗ. Теплові втрати  $Q_p^x$  (витрата теплоти на опалення) БЗ можна визначити з теплового балансу БЗ, у якому є теплові втрати  $Q_B$  через стінку БЗ з коефіцієнтом теплопередачі  $K$  і приплив теплоти в БЗ від стінки ЖЗ.

$$Q_R^x = Q_B - Q_{TR}, \quad (10)$$

$$Q_B = K_B F_B (t_B^0 - t_A), \quad a \quad Q_{TR} = K_D F_D (t_D - t_B^0). \quad (11)$$

Уводячи величини  $\phi$  і  $\omega$ , отримаємо:

$$Q_R^x = K_D F_D [(\phi\omega + 1)t_B^0 - \phi\omega t_A - t_D] \quad (12)$$

Коли  $Q_p^x = 0$ , система ПХВ не працює й не використовується теплота низького потенціалу, можна знайти максимальну температуру атмосфери, вище за яку СПХВ непрацездатна при заданій температурі  $t_B^0$  при опаленні БЗ.

$$t_A^{\max} = \frac{(\phi\omega + 1)t_B^0 - t_D}{\phi\omega}. \quad (13)$$

Якщо  $t_B^0 = 0^\circ\text{C}$ ,  $t_A^{\max} = \frac{-t_D}{\phi\omega}$ , а за  $\phi=2$ ,  $\omega=1$ , отримаємо  $t_A = -10^\circ\text{C}$ . При значенні  $t_B^0 = 5^\circ\text{C}$  (використані джерела з температурою 10–20 °С) у разі  $\phi\omega=2,5$  система непрацездатна при температурах вище 0 °С.

При використанні води (охладження або кристалізація) варто рекомендувати контактні теплообмінники з розпиленням води та при замерзанні – воду в бурульках [8, с. 120] на вертикальних поверхнях огорож із різних матеріалів, у т. ч.

льоду [9, с. 32; 10, с. 39]. В останньому випадку немає необхідності періодично видаляти лід.

**Висновки.** На підставі аналізу проведених досліджень безпосереднього використання низькотемпературних джерел енергії для опалення буферних зон будівель можна стверджувати таке.

1. Безпосереднє використання теплоти низького потенціалу в буферних зонах будівель є альтернативою використанню теплових насосів, які мають низьку ефективність узимку на природній теплоті.

2. Збільшення поверхні огорож буферної зони в порівнянні з поверхнею житлової зони призводить до значного зниження температури в ній і поряд зі збільшенням термічного опору огорожі житлової зони будівлі створює умови для використання теплоти низького потенціалу.

3. У будинку з декількома кімнатами при опаленні лише однієї з них площа огорожі ЖЗ менша за площу БЗ, а температура в БЗ знижується не так сильно залежно від збільшення поверхні БЗ завдяки значному термічному опору огорож будинку.

4. Економія традиційної енергії залежить від наявності буферних зон на різних фасадах будівлі й на піддаховому просторі. Технічно можлива економія традиційної енергії у 2–3 рази. Для розрахунку ефективності системи отримана залежність, що враховує частку огорож із буферними зонами та витрату енергії на інтенсифікацію теплообміну в теплопередаючих пристроях, розташованих у буферній зоні або поза й використовують теплоту низького потенціалу.

5. Аналітичним шляхом отримані залежності для визначення витрати низькопотенційної енергії й максимальної температури навколишнього середовища, вище якої система низькотемпературного опалення, що розглядається, не може працювати при різних температурах теплоносія.

6. Передусім система опалення, що розглядається, рекомендується для регіонів із холодним кліматом, де велика кількість морозних днів, а в умовах помірного клімату – для запобігання піковим навантаженням, що особливо важливо при теплонасосному опаленні житлової зони.

#### Список літератури:

1. Бобровников В.Н. Теплоснабжение шахт и рудников с использованием низкопотенциальных источников тепла (холода) при фазовых переходах воды. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 1999. № 4. С. 25–31.
2. Пуховой И.И. Система отопления Пухового И.И. Патент СССР № 1388665 А1; опубл. 15.04.1988. 3 с.
3. Пуховой И.И. Система отопления зданий без теплового насоса с использованием природной холодной воды. *Промышленная теплотехника*. 1992. Т. 14. № 1–3. С. 57–61.
4. Пуховой И.И. Пассивные солнечные системы отопления, использующие теплоту кристаллизации воды. *Промышленная теплотехника*. 1998. № 5. С. 47–55.

5. Пуховой И.И. Энергетические исследования охладителей – кристаллизаторов для систем отопления с использованием теплоты кристаллизации воды. *Промышленная теплотехника*. 2002. Т. 24. № 1. С. 45–48.
6. Пуховий І.І. Безпосереднє використання теплоти доквілля в системах тепло- і холодопостачання. *Техническая электродинамика*. 2003. С. 31–33.
7. Пуховой И.И. Сравнение систем отопления с непосредственным и теплонасосным использованием воды с потенциалом до 30 °С. *Проблемы машиностроения*. 2005. № 2. С. 23–27.
8. Пуховий І.І., Постоленко А.М. Диспергація потоку води при малих її витратах та формування бурульок на насадках з дроту. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 4. С. 119–123.
9. Пуховий І.І., Кривошеєв М.О. Течія та замерзання води на вертикальних поверхнях при зрошенні їх краплями від розпилення ударом. *Наукові вісті НТУУ «Київський політехнічний інститут»*. 2012. № 6. С. 29–35.
10. Пуховий І.І., Денисова А.О. Температурні та теплові характеристики утворення льоду на стінках буферної зони будівлі, що опалюється теплотою кристалізації води. *Строительство и технологическая безопасность* : сборник трудов. 2011. Вып. 40. С. 37–43.

### **Pukhovyi I.I., Nazarova I.O. DIRECT USE OF LOW-TEMPERATURE ENERGY SOURCES FOR HEATING THE BUFFER ZONES OF BUILDINGS**

*This paper considers an alternative to heat pumps – the direct use of energy from natural and man-made waters to heat the air in the buffer zones of buildings. The aim of the work is to determine the impact of constructive, such as the area of the fence without a buffer zone and the area of the buffer zone, and the performance of buildings on the temperature and energy characteristics of buildings with buffer heating and low potential energy consumption in the buffer zone. To calculate the efficiency of the system, dependence is obtained that takes into account the share of fences with buffer zones and energy consumption for intensification of heat exchange in heat transfer devices located in the buffer zone or outside it and using low potential heat. The dependences of the average temperature in the buffer zone on the ratio of the heat transfer coefficient of the buffer zone fence to the heat transfer coefficient of the residential zone, the ratio of the area of the fence without a buffer zone to the area of the buffer zone fence, and the atmospheric temperature. The dependences for determining the consumption of low-potential energy and the maximum ambient temperature above which the low-temperature heating system under consideration cannot operate at different coolant temperatures are obtained analytically. It is established that the direct use of low-potential heat in the buffer zones of buildings is an alternative to the use of heat pumps, which have low efficiency in winter on natural heat. Saving traditional energy depends on the presence of buffer zones on different facades of the building and in the attic space. It is technically possible to save traditional energy by 2–3 times. To calculate the efficiency of the system, a dependence is obtained that takes into account the share of fences with buffer zones and energy consumption for intensification of heat exchange in heat transfer devices located in the buffer zone or outside and using low potential heat. The considered heating system is recommended for regions with cold climates, where a large number of frosty days, and in temperate climates – to prevent peak loads, which is especially important for heat pump heating of the living area.*

**Key words:** heating systems, use of freezing heat of water, buffer zone of buildings, low temperature heating system, low temperature energy.



**Тарасов Д.О.**

Державний університет «Одеська політехніка»

## ДОСЛІДЖЕННЯ СИНТЕЗУ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ В ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ

На атомних електростанціях велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним зі способів підвищення якості згаданих питань є автоматизація технології процесів. Механізм регенерації турбоустановки призначений для підвищення термодинамічного ККД його циклу шляхом підігріву основного конденсату та живильної води паром нерегульованих відборів турбіни. Також необхідно враховувати, що після техногенної аварії на Чорнобильській АЕС атомній енергетиці увага приділяється набагато пильніша, стають суворішими вимоги до надійності систем контролю, управління і захисту як з боку державних наглядових органів, так і з боку світової спільноти. Упровадження систем автоматизованого управління рівнем конденсату в підігрівачах низького тиску, побудованих на основі програмованих контролерів, допомагає автоматизувати процес контролю рівня конденсату в підігрівачах низького тиску. Застосування таких систем дає змогу підвищити ККД атомної електростанції. Підтримання заданого рівня конденсату в підігрівачах низького тиску є складовою частиною автоматизованої роботи атомної електростанції. Метою дослідження є визначення доцільності використання системи контролю і регулювання рівня води в групі підігрівачів низького тиску. Актуальність полягає в тому, що підвищення рівня конденсату від нормального призводить до затоплення поверхонь теплообміну, а іноді призводить до проскакування крапель води до турбіни; пониження рівня призводить до проскакування конденсату до конденсаційних насосів, що призводить до кавітації. Тому виникла необхідність синтезу та аналізу автоматизованої системи регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів низького тиску, що дає змогу підтримувати характерний технологічний параметр. У результаті дослідження автоматизованої системи управління було виявлено, що нова система забезпечує поліпшення умов праці робочого персоналу, підвищення безпеки виробництва, підвищення якості вихідного продукту завдяки високій точності вимірювання і швидкості порівняння та обробки технологічної інформації.

**Ключові слова:** підігрівач низького тиску, автоматизація, регулятор, атомна станція.

**Постановка проблеми.** На атомних електростанціях (далі – АЕС) велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним зі способів підвищення якості цих питань є автоматизація технологічних процесів.

Найважливішим показником сучасного науково-технічного прогресу є значна інтенсифікація технологічних процесів, зростання одиничної потужності й продуктивності агрегатів. Наслідком цього є всезростаючі вимоги до надійності та якості управління технологічними процесами. Забезпечити рішення цих завдань дають змогу технічні засоби автоматизації, упровадження яких дає можливість досягти поліпшення умов праці та зниження собівартості продукції, що випускається.

Система регенерації турбоустановки призначена для підвищення термодинамічного коефіцієнта корисної дії (далі – ККД) її циклу шляхом підігрівання основного конденсату й живильної води паром нерегульованих відборів турбіни.

Система регенерації у зв'язку з різними тисками середовища (основного конденсату і живильної води), що підігривається, складається з регенеративних установок низького й високого тисків.

Атомна станція від традиційної теплової електростанції на органічному паливі (вугіллі тощо) відрізняється джерелом отримання теплової енергії, що перетворюється на механічну енергію в паровій турбіні. На АЕС таким джерелом отримання теплової енергії служить ядерний реактор. Реактор є пристроєм, в активній зоні якого здійснюється керована реакція ділення ядер урану й кінетична енергія продуктів ділення перетворюється в тепло. Тепло розігриває воду та перетворює його на водяну пару. Середовище (водяна пара), яке виконує роботу в турбіні (приводить в обертання турбіну), називається робочим тілом.

Реактори підрозділяються на теплові та швидкі залежно від того, чи йде процес ділення ядер урану на теплових або швидких нейтронах. Реактор, що розглядається, належить до типу реакторів на теплових нейтронах.

Усі ці особливості роблять енергоблок з реакторною установкою дуже складним об'єктом управління, що вимагає високої міри автоматизації устаткування й централізації управління, застосування сучасних засобів обчислювальної техніки, високонадійної та ефективної системи управління, контролю й ремонту.

**Постановка завдання.** Метою статті є таке:

- дослідження наукової літератури з експлуатації автоматичних систем регулювання рівня в групі підігрівачів низького тиску;
- розробка функціональної схеми автоматизації та схеми комплексу технічних засобів автоматизації;
- розробка математичної моделі;
- синтез автоматичної системи регулювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Опис об'єкта автоматизації. У реакторній установці використовуються регенеративні підігрівачі поверхневого типу, тобто такі, у яких середовище, що нагріває (пар відбору турбіни), відокремлене від того, яке нагрівається (вода конденсаційно-живильного тракту). Пар, що конденсується в підігрівачі низького тиску (далі – ПНТ), у вигляді води, так званий дренаж, відводиться на попередній по ходу води, що підігрівається ПНТ. З першого, після конденсатора підігрівача (ПНТ), дренаж зливається в конденсатор. Така схема отримала назву «каскадний злив дренажів».

При каскадному зливі дренажів має бути забезпечено відведення тільки конденсату. Пар, що не сконденсувався в підігрівачі, може по дренажному трубопроводу надходити в попередній підігрівач. Рівень конденсату в підігрівачах також повинен бути певним. Оскільки регенеративний підігрів води в тракті здійснюється за рахунок конденсації пари на стінках труб, то при підвищенні рівня конденсату частина поверхні, залита водою, не бере участі в теплообміні, виключається можливість підігріву води до певного рівня, що визначається оптимальним розбиттям підігріву ступенями.

**Розробка функціональної схеми автоматизації та схеми комплексу технічних засобів автоматизації.** Забезпечення безпеки, надійності й економічності технологічного процесу можливе лише за умови, що всі величини, які характеризують процес (температура, тиск, витрата тощо), знаходяться в суворо заданих межах. Вихід за ці межі тягне за собою зниження економічності, а при збільшенні відхилень може призвести до аварійної зупинки або навіть руйнування технологічного об'єкта. При цьому необхідно постійно контролювати ці величини й впливати на техно-

логічний процес таким чином, щоб підтримувати їх необхідні значення, тобто здійснювати процес управління. Функціональна схема автоматизації представлена на рисунку 1. Схема комплексу технічних засобів автоматизації представлена на рисунку 2.

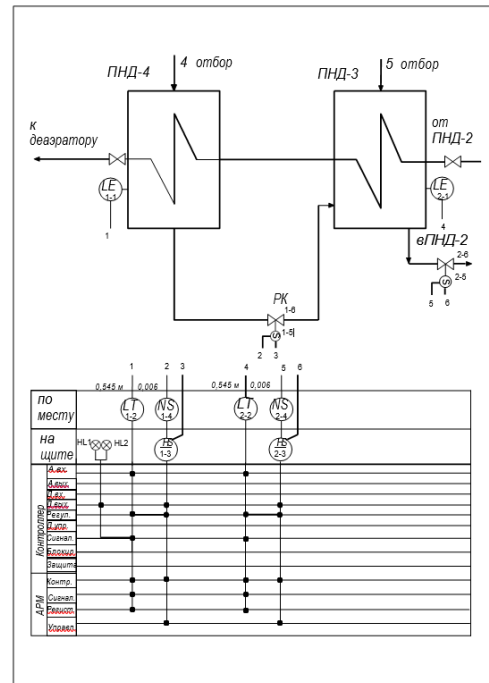


Рис. 1. Функціональна схема автоматизації

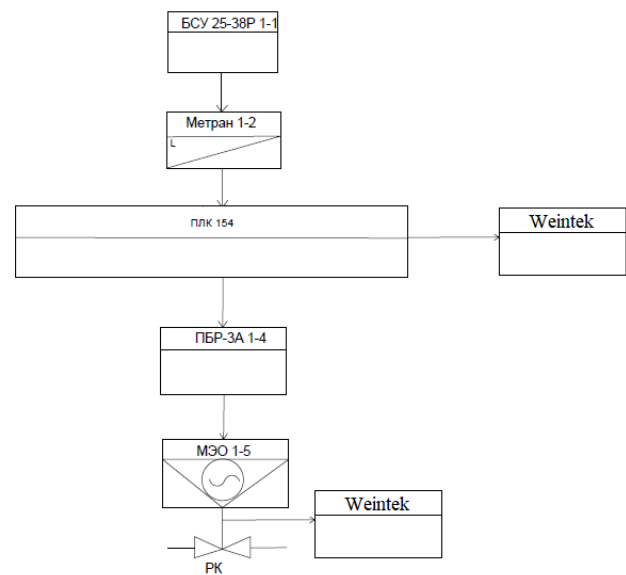


Рис. 2. Схема комплексу технічних засобів автоматизації

**Розробка математичної моделі.** Технологічна схема установки зображена на рисунку 3. Розрахована математична модель та отримані передатні функції зображено в таблиці 1.

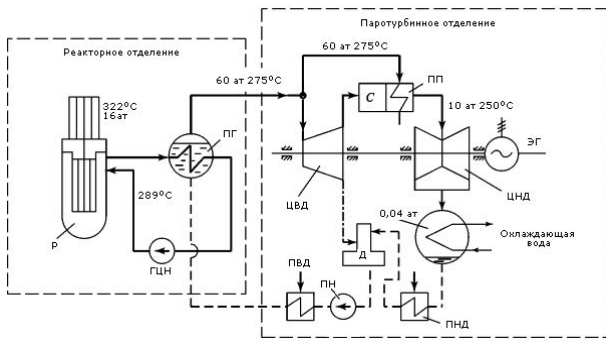


Рис. 3. Технологічна схема установки

Таблиця 1

Матриця передавальних функцій об'єкта управління

	МП1	Мп2	Sk1	Sk2
L1	$\frac{0,607}{3260S + 1}$		$\frac{-8833}{3260S + 1}$	
L2		$\frac{0,607}{3260S + 1}$		$\frac{-8833}{3260S + 1}$

За допомогою математичної моделі, реалізованої в середовищі Simulink, зображеної на рисунку 4, отримано криві розгону об'єкта.

**Синтез автоматичної системи регулювання.**

Структурна схема регулювання рівня конденсату в групі ПНД представлена на рисунку 13.

Для розрахунку параметрів, необхідно зняти значення з розгінної характеристики. Розгінна характеристика представлена на рисунку 14.

Опрацюємо графік.

$$\tau_{\text{общ}} = 3 \text{ сек};$$

$$\tau_{\text{тр}} = 2 \text{ сек};$$

$$\tau_e = \tau_{\text{общ}} - \tau_{\text{тр}} = 1 \text{ сек};$$

$$K_M = \frac{\Delta I}{\Delta t \cdot \Delta h} = 0,00098 \frac{\text{МА}}{\text{с} \cdot \% \text{хода}}$$

$$\frac{\tau_e}{\tau} = 0,33.$$

Виходячи із цього співвідношення, за таблицею Кона знаходимо значення k, z:

$$k = 0,29; z = 6.7.$$

Виконуємо розрахунок параметрів регулювання регулятора:

$$k = K_M \cdot K_p \cdot \tau.$$

Звідси висловлюємо коефіцієнт перед. П-регулятора  $K_p$ :

$$K_p = \frac{k}{K_M \cdot \tau} = \frac{0,29}{0,00098 \cdot 3} = 98.$$

Постійна часу ПІ-регулятора:

$$T_u = c \cdot \tau = 3 \cdot 6.7 = 20 \text{ с}.$$

Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ при подачі збурення по каналу витрати пари представлено на рисунках 15 і 16.

Компенсація РК при подачі збурення по пару в групі ПНТ представлена на рисунку 17.

По перехідних процесах видно, що регулятор справляється зі своїм завданням і виконує регулювання рівня в ПНТ-3 і ПНТ-4. Розбіжність у першому відхиленні викликається через те, що ПНТ-4 і ПНТ-3 з'єднується трубопроводом, що

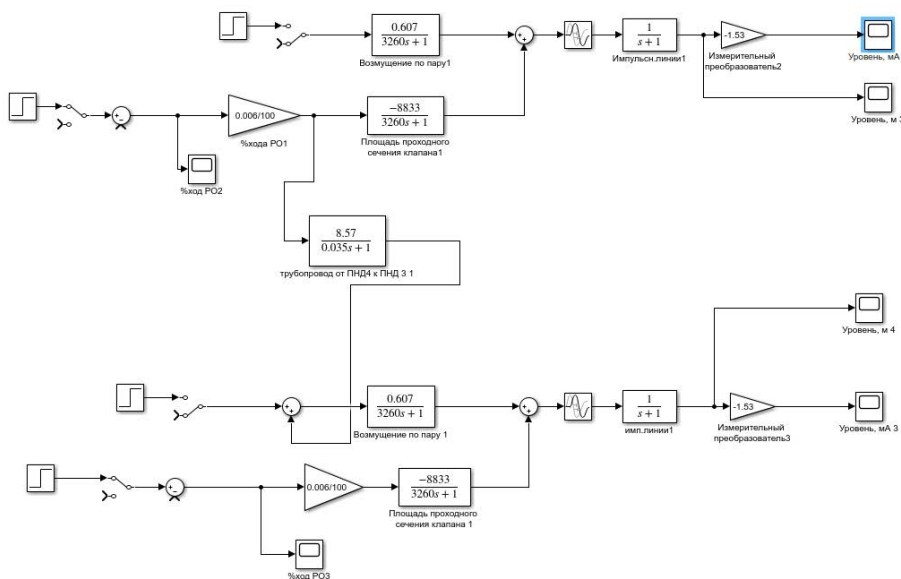


Рис. 4. Математична модель ПНД в середовищі Simulink

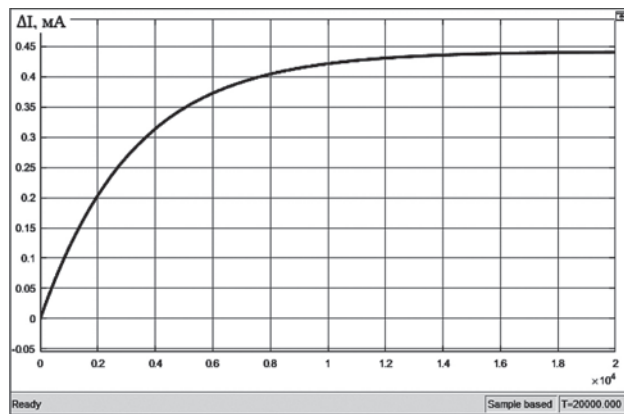


Рис. 5. Крива розгону ПНД-4 за рівнем, канал збурення – завдання

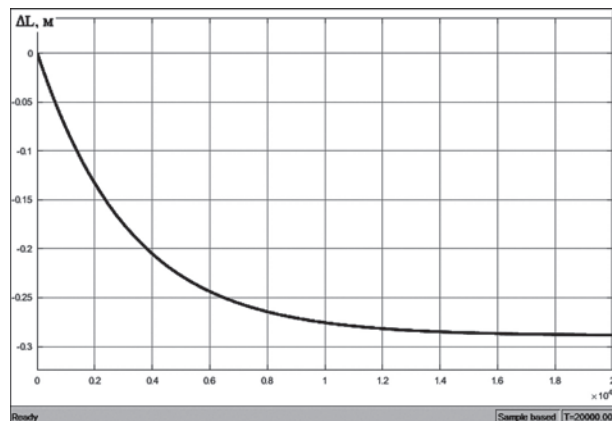


Рис. 6. Крива розгону ПНД-4 за рівнем, канал збурення – завдання

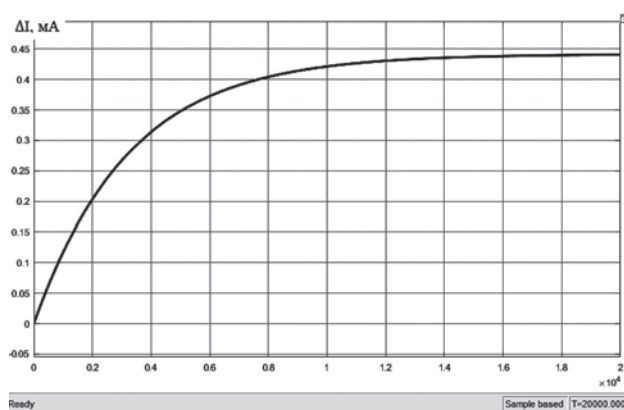


Рис. 7. Крива розгону ПНД-3 за рівнем, канал збурення – завдання

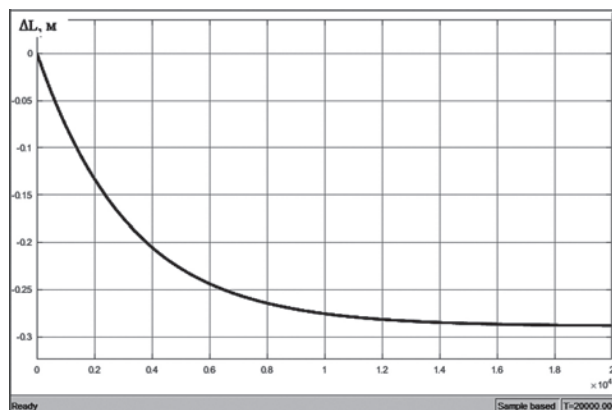


Рис. 8. Крива розгону ПНД-3 за рівнем, канал збурення – завдання

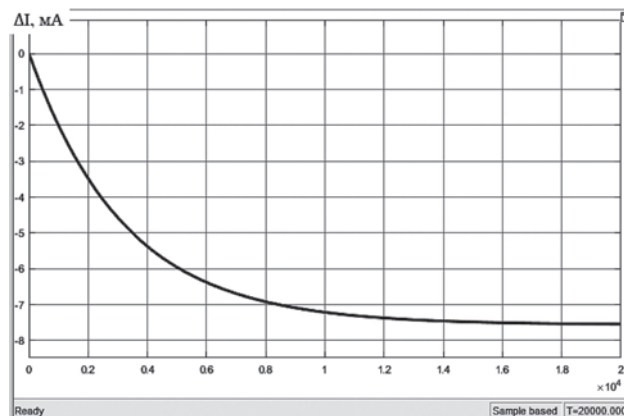


Рис. 9. Крива розгону ПНД-4 за рівнем, канал збурення – витрата пари

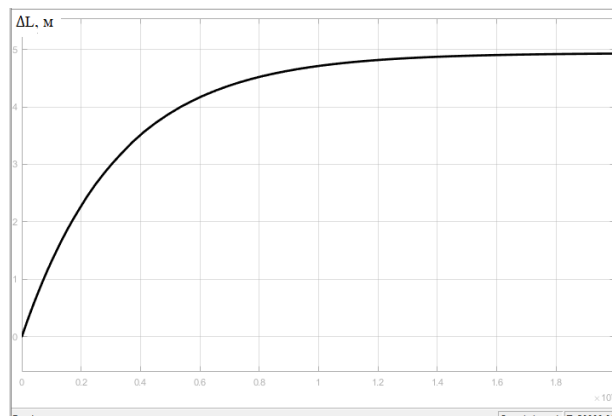


Рис. 10. Крива розгону ПНД-4 за рівнем, канал збурення – витрата пари

призводить до зливу конденсату з поточного ПНТ в попередній.

**Висновки.** У статті досліджена автоматизована система управління технологічними процесами в групі підігрівачів низького тиску. Ця ділянка – дуже важливий складник у процесі роботи атом-

ної станції. Нова система забезпечує покращення умов праці робочого персоналу, збільшення безпеки виробництва, підвищення якості вихідного продукту завдяки високій точності вимірювання і швидкості порівняння й обробки технологічної інформації.

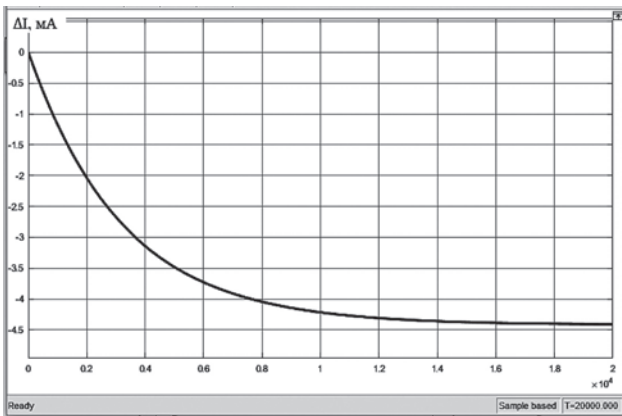


Рис. 11. Крива розгону ПНД-3 за рівнем, канал збурення – витрата пари

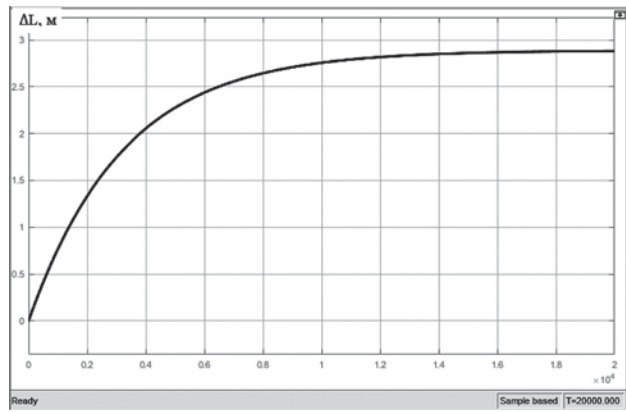


Рис. 12. Крива розгону ПНД-3 за рівнем, канал збурення – витрата пари

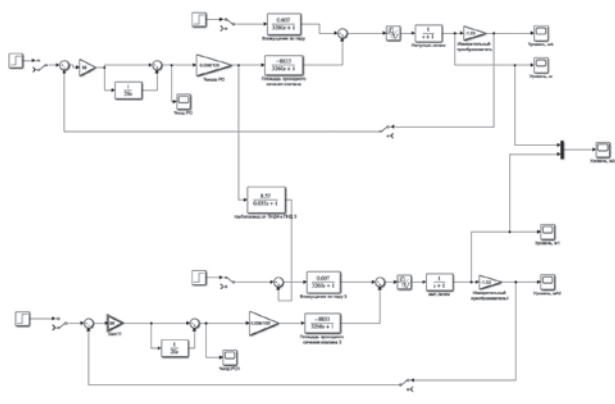


Рис. 13. Структурна схема АСР рівня в групі ПНД в середовищі Simulink

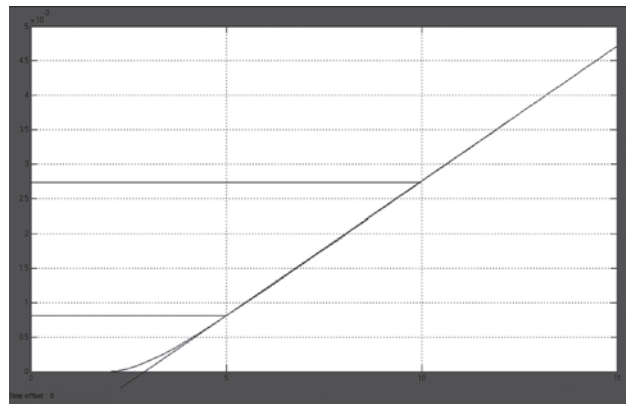


Рис. 14. Розгінна характеристика

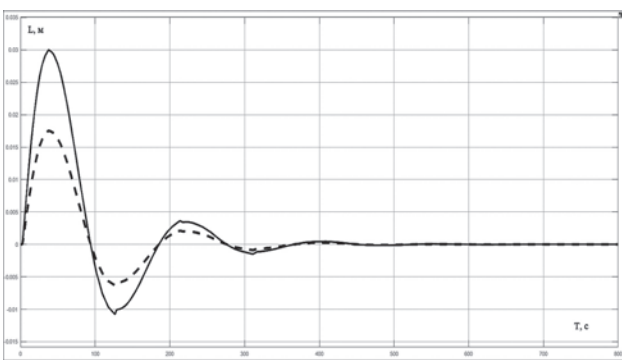


Рис. 15. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНД (- ПНД-4; - - ПНД-3)

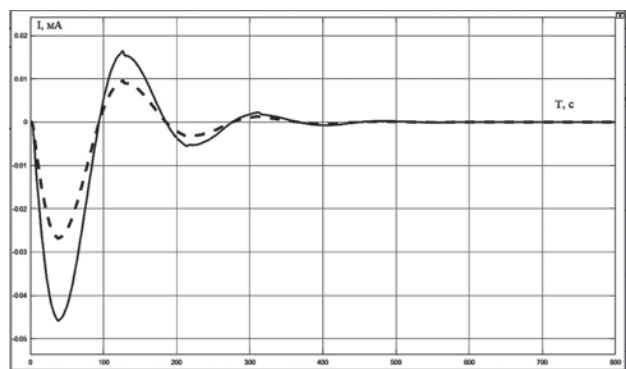


Рис. 16. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНД (- ПНД-4; - - ПНД-3)

Розроблена математична модель регенерації низького тиску, пораховані відповідні коефіцієнти. У програмному пакеті Simulink побудована структурна схема АСР рівня води в групі ПНД. Отримані перехідні процеси регулювання рівня залежно від зміни витрати пари в допустимих межах.

Згідно з поставленою темою та метою, визначені параметри контролю, сигналізації, блоку-

вання, автоматичного регулювання й розроблена функціональна схема автоматизації технологічного процесу.

Таким чином, як висновок необхідно відзначити, що автоматизація управління спричиняє відтворення системного підходу, оскільки вона окреслює наявність саморегульованої системи, що має вхід, вихід і механізм управління. Сис-

темний підхід допускає розглядати аналіз і синтез різних за своєю природою і складністю об'єктів з єдиної точки зору, підкреслюючи при цьому найважливіші характерні риси функціонування системи й уважаючи найбільш істотні для всієї системи фактори. Вагомість системного підходу особливо велика при проектуванні й експлуатації таких систем, як комп'ютерно-інтегровані системи управління, які, по суті, є людино-машинними системами, де людина виконує роль суб'єкта управління [1].

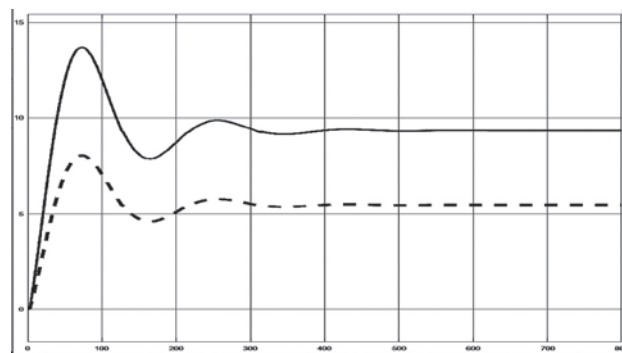


Рис. 17. Компенсація РК при подачі збурення по пару (- ПНТ-4; - - ПНТ-3)

#### Список літератури:

1. Студопедія. URL: [https://studopedia.com.ua/1\\_220972\\_sistemniy-pidhid-pri-proektuvanni.html](https://studopedia.com.ua/1_220972_sistemniy-pidhid-pri-proektuvanni.html).
2. Системи турбінного відділення: служба підготовки персоналу / БалАЕС. 2010. 382 с.
3. Преображенський В.П. Теплотехнічні виміри і прилади : підручник для ВНЗ за фахом «Автоматизація теплоенергетичних процесів». 3-є видання, перероб. Москва : Енергія, 1978. 704 с.
4. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЭС. Одеса : Асторпринт, 2001. 305 с.
5. Теплотехнічні виміри: навчань.-метод. комплекс / уклад. Н.Н. Панферов. Санкт-Петербург : Вид-во СЗТУ, 2011. 171 с.
6. Ключев А.С., Глазов Б.В., Дубровський А.Х. Проектування систем автоматизації технологічних процесів. Москва : Энергоатомиздат, 1990. 464 с.
7. ГОСТ 21.404-85. Автоматизація технологічних процесів. Умовні позначення приладів і засобів автоматизації в схемах. Москва : Вид-во стандартів, 1985. 16 с.
8. ГОСТ 2.106-74 ЕСКД. Загальні вимоги до текстових документів. Москва, 1974.
9. ГОСТ 2.109-73 ЕСКД. Основні вимоги до креслення.
10. НПАОП 0.00-4.35-04 «Типове положення про службу охорони роботи».
11. ДСН 3.3.6-042-99 «Державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень».
12. ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».
13. СН 2152-80 «Санітарно-гігієнічних норм допустимих рівнів іонізації повітря виробничих і громадських приміщень».
14. ГОСТ 12.1.030-81 «ССБП. Електробезпека. Захисне заземлення, занулення». Зміни 1987.

#### Tarasov D.O. STUDY OF THE SYNTHESIS OF THE AUTOMATIC LEVEL REGULATION SYSTEM IN THE GROUP OF LOW-PRESSURE HEATERS

*At nuclear power plants much attention is paid to safety, reliability, quality of operation of basic equipment. One of the ways to improve the quality of these issues is to automate process technology. The turbine regeneration mechanism is designed to increase the thermodynamic efficiency of its cycle by heating the main condensate and feed water by steam of unregulated turbine selections. It should also be borne in mind that after the man-made accident at the Chernobyl nuclear power plant, attention is paid much more closely and the requirements for the reliability of control, management and protection systems are becoming stricter – both by state supervisory authorities and the world community. The introduction of automated condensate level control systems in low-pressure heaters based on programmable controllers helps to automate the process of condensate level control in low-pressure heaters. The use of such systems makes it possible to increase the efficiency of a nuclear power plant. Maintaining a given level of condensate in low pressure heaters is an integral part of the automated operation of a nuclear power plant. The aim of the study is to determine the feasibility of using a system of control and regulation of water levels in the group of low-pressure heaters. The relevance is that increasing the level of condensate from normal leads to flooding of the heat transfer surfaces, and sometimes leads to the leakage of water droplets into the turbine; lowering the level leads to leakage of condensate to the condensing pumps, which leads to cavitation. Therefore, there is a need for the synthesis and analysis of an automated condensate level control system in the group of low-pressure heaters, which allows to maintain the characteristic technological parameter. As a result of the study of the automated control system it was found that the new system improves working conditions, improves production safety, improves the quality of the original product due to high measurement accuracy and speed of comparison and processing of technological information.*

**Key words:** low pressure heater, automation, regulator, nuclear power plant.

# РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.235.5: 622.271

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/35>**Коновал В.М.**

Черкаський держаний технологічний університет

**Ищенко К.С.**

Інститут геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України

## ТЕОРЕТИЧНІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІЗНОГРАДІЄНТНОГО ВИБУХОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТВЕРДОГО СЕРЕДОВИЩА ПО ДОВЖИНІ ЗАРЯДУ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ

У дослідженні теоретично розкрито механізм дії подовженого заряду ВР змінного перерізу. Проведені розрахунки показали, що зменшення виділеної під час вибуху енергії відбувається за рахунок не тільки зменшення маси ВР, а й зміни показників теплоти вибуху, причому використання сферичних вставок (куль) усередині ВР призводить до посилення дії ударної хвилі та створення різноградієнтного навантаження, що збільшує показники напружень розтягання на середовище, що руйнується. З метою обґрунтування нової конструкції заряду змінного перерізу проведено експериментальні дослідження на структурно-однорідних піщано-цементних моделях шляхом порівняння ре-зультатів їх руйнівної дії із зарядами інших конструкцій, а також чисельних показників амплітуди напружень у хвилі стискання під час вибуху однакових по масі зарядів ВР. Для цього в лабораторних умовах були виготовлені моделі кубічної форми з ребром 150 мм із піщано-цементного тіста в пропорції 1:1 із додаванням 0,5% води. Для затворення суміші використовували цемент марки М 500. Під час виготовлення моделей у металевій формі за допомогою вставок по її осі на глибину 85 мм формували циліндричні порожнини діаметром 10 мм для розміщення в них зарядів ВР, також установлювали п'єзоелектричні датчики на глибину 75 мм від верхньої межі моделі й на відстані від осі заряду 45 мм, а в торці – на відстані 20 мм уздовж її осі. Їх розміщали в моделі так, щоб площина поверхні датчиків були перпендикулярні напрямку хвилі стискання від вибуху зарядів ВР. Оцінку фізико-механічних властивостей руйнівного середовища по визначенню щільності  $\rho$ , швидкості поздовжніх хвиль  $C_p$  і міцності на однісіне стискання матеріалу моделей проводили на моделях кубічної форми з розміром ребра  $40 \pm 2$  мм відповідно до чинних Держстандартів. Їх виготовляли одночасно з виготовленням осно-вних моделей. Заряди ВР різних конструкцій формувалися в підготовлених паперових патронах, зовнішній діаметр яких становив 0,95 діаметра зарядної порожнини. Як ВР при руйнуванні моделей використовували промислове ВР Комполайн масою 3,5 г або відрізки детонуючого шнура (ДШ) для всіх серій експериментів. Підриг зарядів здійснювали відрізками ДШ довжиною 0,8 м, з'єднані в ланцюг із капсулем-детонатором або хвилеводом неелектричної системи ініціювання – НСІ типу NONEL і вибуховим пристроєм конденсаторним ППВ100. Експерименти проводилися в полігонних умовах кар'єру «Сі-вач» Корсунь-Шевченківського РУ. Продукти руйнування розділяли на фракції методом ситового аналізу, за даними яких будували залежності розподілу гранулометричного складу. Результати експериментів показали, що зниження пікового тиску продуктів детонації (ПД) на масив досягається за рахунок виходу високотемпературного газового потоку на контакт із проміжним середовищем – сферичною вставкою, яка заповнена повітрям.

**Ключові слова:** модель, заряд вибухової речовини, вибух, амплітуда на-пружень, різноградієнтне навантаження.

**Постановка проблеми.** Україна має значні поклади рудних і нерудних корисних копалин, які сконцентровані в масиві міцних гірських порід метасоматичного й метаморфічного походження Українського щиту (далі – УЩ). Ці породи являють

собою складну будову, їх відбійка потребує додаткових заходів щодо ефективного їх руйнування, які пов'язані з удосконаленням наявних і розробкою нових ефективних ресурсозберігаючих методів руйнування й переробки корисних копалин, механізації

виробничих процесів з використанням високотехнологічного обладнання, сучасних вибухових матеріалів (далі – ВМ), якісного планування й організації робіт на кар'єрах. При цьому ефективність дії вибуху зарядів вибухових речовин (далі – ВР) у гірських породах визначається їх здатністю виконувати корисну роботу з дроблення й переміщення гірничої маси. З наведеного вище випливає, що ефективність управління процесом вибуху залежить від правильного вибору конструкції заряду ВР. Під конструкцією заряду розуміють сукупність таких геометричних і технологічних параметрів, як форма заряду та зарядної камери, місце розташування точки ініціювання, комбінації застосовуваних ВР, довжина заряду, співвідношення частин заряду, заповнених ВР і набивкою. За геометричним принципом подовжені заряди розділяються на дві основні групи: заряди з постійним і змінним перерізом по їх висоті [1–4]. Заряди змінного перерізу мають явно виражені максимуми й мінімуми енергетичного потенціалу за їх висотою. Під час вибуху таких зарядів зростає роль розтягуючих напружень під час руйнування гірських порід, енергоємність руйнування якими на порядок нижче, ніж стискаючих. Удосконалення конструкції свердловинного заряду є одним із основних способів підвищення коефіцієнта використання енергії вибуху та зниження собівартості вибухового руйнування гірських порід складної будови на кар'єрах рудних і нерудних корисних копалин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вибір раціональної конструкції свердловинного заряду з метою підвищення ефективності вибухового руйнування міцних гірських порід складної будови став підставою для розробки та промислового освоєння відомого способу руйнування порід свердловинними зарядами змінного діаметру по висоті уступу з урахуванням енергетичного підходу до розрахунку параметрів заряду [5]. Показано [6], що заміна суцільного свердловинного заряду постійного поперечного перерізу системою зосереджених зарядів, що розташовуються в котлових розширеннях уздовж осі свердловини, дає змогу:

- при постійній питомій витраті ВР за рахунок збільшення діаметра котлових розширень до 0,36–0,45 м сприяти зміні параметрів сітки розташування свердловин на уступі, як наслідок, підвищити вихід гірничої маси з 1 м свердловини на 15–25% без погіршення якості дроблення;
- на 10–15% знизити питомі витрати ВР при прогнозованому виходу відбитої гірничої маси з 1 м свердловини;
- на 30–35% зменшити обсяг буріння порівняно із суцільним діаметром свердловини.

Аналіз досліджень підтвердив, що використання зарядів ВР змінного перерізу сприяє підвищенню коефіцієнта корисної дії (далі – ККД) вибуху, поліпшенню ефективності та якості дроблення масиву гірських порід, забезпеченню економії ВР [7–8]. При цьому відзначено збільшення виходу фракцій менше 400 мм (до 85–90%) [9].

Однак у силу того, що формування порожнин у свердловині термічними методами є виборчим щодо типу порід (виключно присутність в породі кварцу), запропонований новий спосіб формування свердловинного заряду в поліетиленовій рукаві змінного діаметра [10], ефективність якого вперше перевірена в умовах Полтавського ГЗК.

Промислові вибухи щодо оцінки ефективності нової конструкції свердловинного заряду з використанням поліетиленового рукава змінного діаметру здійснені при відбійці необводнених гірських порід в умовах кар'єрів Докучаєвського флюсодоломітного комбінату [11–12]. Як ВР використовували водонестійке простого складу ВР, типу ПВС1У. Промислові випробування показали, що використання зарядів зміненого діаметру по висоті уступу дає змогу забезпечити:

- зменшення витрат ВР до 15% і, відповідно, скорочення пилогазових викидів в атмосферу кар'єрів;
- скорочення втрат корисних копалин завдяки зменшенню обсягу передрібною гірничої маси;
- зниження собівартості вибухових робіт через зменшення обсягів використання ВМ.

Управляти дробленням тріщинуватих і шаруватих гірських порід дає змогу також використання зарядів, які вздовж вісі свердловини мають звужені секції, розташовані на відстані один від одного, що дорівнює 4–6 діаметрам свердловини. У місці звужених секцій, між зарядом і стінкою свердловини, залишаються повітряні порожнини [13]. Аналогічні результати отримані при використанні зарядів змінного діаметра [4]. Вони дають можливість регулювати концентрацію енергії ВР по його довжині за рахунок формування в заряді осової порожнини змінного перерізу, яка збільшується до гирла свердловини.

Зміна діаметра заряду ВР можлива також при розміщенні всередині зарядної порожнини порожнистих вставок різної форми [14–16]. Об'ємні порожнисті фігури, запропоновані авторами [14], складаються з концентратора й розподільника. Для підвищення ефективності вибуху завдяки концентрації енергії в заряді та її перерозподілу стінки бічної поверхні хвостової частини об'ємних порожнистих фігур виконані увігнутими всередину й мають змінний радіус цієї поверхні.



Перерозподіл енергії ВР по колонці свердловинного заряду з посиленням його дії в перебури реалізується застосуванням технології турбодривання свердловинних зарядів із розміщенням по вісі заряду в центральній його частині турболізатора гвинтоподібної форми [17]. Функція його полягає в тому, щоб проходження по колонці заряду детонаційної хвилі (далі – ДХ), що впливає на нього своєю головною частиною і продуктами детонації (далі – ПД) протягом часу  $\Delta t$  і силою  $F(t)$ , спрямованої по вісі свердловини, дає змогу створювати кручений момент. Унаслідок цього при проходженні ДХ під впливом газоподібних ПД турболізатор надається імпульс обертально-поступального руху, він спрямовується слідом за ДХ. Обертання турболізатора призводить до утворення «вихорів», які забезпечують вимушену конвекцію ПД і тим самим сприяють більш повному їх згорянню у свердловині [18].

Для якісного опрацювання підшови уступу та зниження ймовірності її завищення варто застосовувати посилений заряд ВР у нижній частині свердловини за рахунок розміщення тут більш потужного ВР або розширення нижньої частини свердловини до створення котла діаметром 400 мм або іншими способами. Один зі способів відмови від перебури можливий лише в тому випадку, якщо для відбійки гірських порід використовувати конструкції зарядів ВВ з повітряною подушкою в донній частині свердловини, повітряних порожнин і проміжків [19]. Проведеними випробуваннями встановлено, що ударна хвиля (далі – УХ), досягнувши торця свердловини, відбивається, на її фронті різко зростає тиск. Він чинить додатковий вплив на нижню частину свердловини, що сприяє поліпшенню опрацювання підшови уступу та зменшенню до 50% довжини перебури.

Характер руйнування гірських порід складної будови залежить як від мікроструктури (орієнтування мікротріщин і фізико-механічних властивостей породоутворюючих мінералів), так і від макроструктури (просторового положення й морфології тріщин, які перетинають гірський масив). Тому досягнення високої якості вибухової підготовки гірничої маси, скорочення втрат корисних копалин і підвищення ефективності дії вибуху можливе за рахунок вибору й обґрунтування раціональних параметрів буропідричних робіт для цих умов [20] та умов передачі енергії вибухової речовини масиву гірських порід, що руйнується [21–22].

Так, встановлено, що застосування технології відбивання гірських порід блокової структури з

використанням вибухових свердловин діаметром 250 мм і розміщенням основної колонки заряду в анізотропному гірському масиві призводить до відділення блоків з розмірами, близькими до максимально допустимих для приймального бункера дробарки (1,2–1,3 м) [23–24]. Вирішення цієї проблеми досягається формуванням різноградієнтного навантаження масиву від вибуху зарядів у додатковій укороченій проміжній свердловині, що зменшує кількість негабаритних блоків [25].

Для регулювання якістю дроблення з отриманням прогнозованого гранулометричного складу підірваної гірничої маси та зниження витрат на дроблення необхідно провести коригування сітки розташування свердловин на уступі, зменшити діаметр свердловин з досить високою продуктивністю вибухової відбійки гірничої маси та її екскавації. Наприклад, в умовах родовища міді в кар'єрі Roşia Poieni (Romania) запропоновано використовувати діаметр свердловин від 200 до 150 мм. Буріння їх здійснювалося буровим обладнанням фірми Atlas Copco з мінімальними витратами на придбання бурового ставу та відповідного діаметра бурових коронок [26].

Результати промислових випробувань показали переваги використання свердловин діаметром 200 мм. Вихід негабариту не перевищив розміри більше 1000 мм, що призвело до зменшення часу на розподіл (дроблення) негабаритних блоків, зниження споживання електроенергії, підвищення ефективності роботи автосамоскидів при навантаженні й розвантаженні гірничої маси та збільшення погодинної продуктивності дробарки, типу ККД. Ефективне використання вибухової речовини у свердловині забезпечується за рахунок збільшення довжини колонки ВР і зменшення маси його в кожній свердловині приблизно до 100 кг, що дало змогу знизити вплив сейсмічної хвилі на масив, що руйнується при детонації ВР, зменшити площу розвалу гірничої маси, ступінь розтріскування масиву після вибухових робіт, що забезпечує стійкість уступів (берма, кут укосу уступу) та безпеку при транспортуванні рудної маси.

Рішення сформульованих вище проблем потребує впровадження невідкладних заходів щодо вдосконалення наявних і розробки нових технічних рішень стосовно ефективності відбійки міцних гірських порід складної будови з урахуванням гірничотехнічних і гідрогеологічних умов розробки корисних копалин.

У зв'язку з цим дослідження, пов'язані з вибором та обґрунтуванням нової конструкції свердловинного заряду, наприклад, змінного перерізу кумулятивної дії, який є основою раціональних

технологічних параметрів нових ресурсозберігаючих способів відбійки гірських порід, що базуються на врахуванні тріщинотектонічної будови масиву й анізотропії їх фізико-механічних властивостей, залишаються актуальними й сьогодні.

Робота виконується відповідно до комплексної програми Національної академії наук України з розробки безвідходних технологій видобування корисних копалин відкритим способом, а саме «Наукове обґрунтування та розвиток безвідходних технологій видобування корисних копалин відкритим способом зі зменшенням їх шкідливого впливу на навколишнє середовище» (№ ДР 0120U101113).

**Постановка завдання.** Метою роботи є проведення теоретичних та експериментальних досліджень щодо обґрунтування механізму дії заряду ВР з інертними вставками по його довжині.

Для досягнення мети проведено комплексні дослідження на підготовлених структурно-однорідних піщаноцементних моделях кубічної форми з оцінки характеру руйнування твердого середовища та хвильової дії вибуху зарядів ВР різних конструкцій. За отриманими результатами дроблення моделей побудовані кумулятивні криві розподілу гранулометричного складу й виконано аналіз цих результатів.

**Виклад основного матеріалу дослідження. 1.** Теоретичне обґрунтування механізму дії заряду ВР з інертними вставками по його довжині.

Регулювання розподілу енергії вибухової речовини по висоті заряду реалізується шляхом формування в зарядній порожнині вставок різного профілю: повітряних проміжків, порожнистих фігур з інертних або горючих матеріалів [3; 11; 14–17; 19–22; 27–30]. Експериментальні дослідження й досвід застосування конструкцій зарядів з інертними вставками різної форми свідчать про їх ефективність, що сприяє підвищенню коефіцієнта корисної дії енергії вибуху та його руйнівної дії за рахунок зміни механізму навантаження твердого середовища. Зокрема, це підтверджено під час вибуху зарядів ВР змінного перерізу з розміщеними по осі заряду сферичних вставок (куль) діаметром, який дорівнює половині діаметра свердловини, конструкцію якого розроблено в ІГТМ НАН України разом із Черкаським технологічним університетом МОН України [31].

У зв'язку з цим доцільно розглянути процеси, що протікають у зарядній порожнині при детонації ВР у таких зарядах. Для цього виділимо ділянку заряду, висота якого дорівнює діаметру циліндричної зарядної порожнини «d». У центрі цієї ділянки розташовується порожниста куля

з інертного матеріалу (полістиролу), діаметром  $d_{кул}$ , заповнена повітрям. За наявності порожнистої кулі всередині ВР зменшується маса ВР ( $m'_{вр}$ ) у зарядній порожнині (при  $m_{вр} = \rho_{вр} \frac{\pi d^3}{4}$ ):

$$m'_{вр} = \rho_{вр} \left( \frac{\pi d^3}{4} - \frac{\pi d_{кул}^3}{6} \right), \quad (1)$$

де  $\rho_{вр}$  щільність ВР.

Зміна маси ВР у зарядній порожнині залежно від діаметра кулі може бути представлено залежністю:

$$\eta = \rho_{вр} \left( 1 - \frac{2}{3} \frac{d_{кул}^3}{d^3} \right). \quad (2)$$

При  $d_{кул} = d/2$   $m'_{вр} = \frac{11}{48} \rho_{вр} \pi d^3$   $\eta = 11/12$ , тобто на  $\approx 8,3\%$  зменшується маса ВР у зарядній порожнині, отже, зменшується й частка енергії під час вибуху, яка трансформується в навколишнє середовище.

Варто зазначити, що наявність у вибуховій речовині малоактивних інертних матеріалів знижує теплоту вибуху ВР, оскільки частина енергії ВР витрачається на нагрів і термічний розклад цих матеріалів [32].

Оцінімо теплоту вибуху  $Q'$  вибухової речовини з розміщеною всередині неї порожнистою кулею масою  $M$ .

Масова частка матеріалу кулі в заряді:

$$\beta = \frac{M}{m'_{вр} + M}. \quad (3)$$

Величина  $Q'$  може бути визначена з рівняння:

$$m'_{вр} Q - M [C(T - T_o) + q_{тр} + q_{пов}] = (M + m'_{вр}) Q', \quad (4)$$

де  $C$  – теплоємність полістиролу, з якого виготовлено кулі;  $T$ ,  $T_o$  – початкові температури, відповідно, продуктів вибуху й матеріалу кулі;  $q_{тр}$  – теплота термічного розкладання полістиролу;  $q_{пов}$  – теплота нагрівання об'єму повітря, яке знаходиться в кулі.

З урахуванням того, що  $1 - \beta = \frac{m'_{вр}}{M + m'_{вр}}$  – це частка ВР у заряді,

$$Q' = Q(1 - \beta) - \beta [C(T - T_o) + q_{тр} + q_{пов}] \quad (5)$$

Таким чином, зменшення виділеної під час вибуху енергії відбувається не тільки за рахунок зменшення маси ВР, а й за рахунок зміни результуючої теплоти вибуху.

Для пояснення цього твердження розглянемо процеси, що протікають у зарядній камері з інертною сферичною вставкою (куля) при детонації в ній ВР. Спочатку на оболонку вставки діє УХ, яка є складником детонаційної хвилі, а потім розширюючи ПД. Наявність жорсткої оболонки на шляху поширення ударної хвилі по осі заряду призводить до того, що частина енергії УХ відбивається й направляється в бік стінок зарядної

порожнини. Коли зарядна порожнина розташована в твердому середовищі, при її руйнуванні наявність сферичних вставок усередині ВР призводить до посилення дії УХ на середовище, що руйнується. Ударна хвиля сприяє деформуванню та руйнуванню оболонки сферичної вставки. Далі на сферичну вставку впливають продукти детонації високої температури й тиску. Дуже високий тиск за фронтом ХД призводить до того, що вибухові гази спрямовуються зі швидкістю  $u$  в той бік, куди поширюється ХД. Згідно з оціночними розрахунками,  $u = D/4$ , де  $D$  – швидкість детонації [33].

Наявність у заряді порожнистої сферичної вставки, заповненої повітрям, формує повітряний проміжок. Коли під час детонації ділянки заряду довжиною, рівній його діаметру,  $t_1 = d/D$ , то за наявності всередині ВР порожнистої кулі:

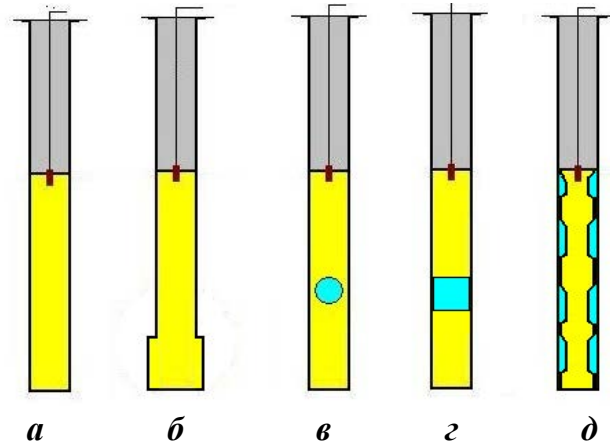
$$t_2 = \frac{d - d_{кул}}{D} + \frac{4d_{кул}}{D} = \frac{d + 3d_{кул}}{D}. \quad (6)$$

Порівнюючи  $t_1$  і  $t_2$ , зазначимо, що за наявності в ВР порожнистої кулі час дії вибуху на навколишнє середовище зростає зі збільшенням діаметра кулі незалежно від напрямку ініціювання цього заряду. При його ініціюванні з будь-якого з кінців на шляху детонації розташовується сферична вставка (куля), яка формує всередині ВР кумулятивні виїмки. При детонації по колонці такого заряду на внутрішній поверхні сферичної вставки по його осі фокусується газовий потік кумулятивного дії. Усередині сферичної порожнини має місце суттєве ущільнення продуктів детонації, зростання тиску в них, а також значне збільшення щільності енергії як у ПД, так і в УХ, що виникають під час вибуху, які сприяють підвищенню стійкості детонації по осі заряду.

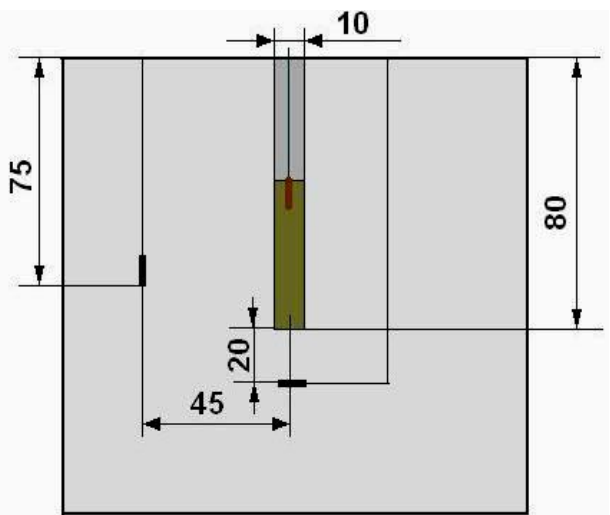
**2. Експериментальні дослідження руйнування твердого середовища зарядами ВР різних конструкцій.** Для вивчення й оцінки хвильової дії вибуху зарядів різних конструкцій у твердому середовищі в ІГТМ НАН України разом із Черкаським технологічним університетом МОН України розроблено спосіб моделювання вибухового руйнування гірських порід [34], згідно з основними положеннями якого підготовлена методика експериментальних досліджень.

Метою експериментальних досліджень було обґрунтування нової конструкції заряду змінного перерізу шляхом порівняння результатів їх руйнівної дії з зарядами інших конструкцій (рис. 1), а також чисельних показників амплітуди напружень у хвилі стискання під час вибуху однакових по масі зарядів ВР різних конструкцій.

Для проведення експериментальних досліджень виготовлені моделі кубічної форми з ребром 150 мм з піщаноцементної суміші, у яких при виготовленні за допомогою вставок по її осі на глибину 85 мм формувалися циліндричні порожнини діаметром 10 мм для розміщення в них зарядів ВР і встановлювалися п'єзоелектричні датчики на глибину 75 мм від верхньої межі моделі й на відстані від осі заряду 45 мм так, щоб площа поверхні датчиків була перпендикулярна напрямку хвилі стискання від вибуху зарядів ВР (рис. 2), а також у торці вибухової порожнини на відстані 20 мм уздовж її осі.



**Рис. 1. Конструкції зарядів ВР**  
 а – заряд постійного перерізу; б – заряд із котловим розширенням у торці свердловини; в – заряд зі сферичною вставкою; г – заряд із повітряним проміжком; д – заряд змінного діаметра



**Рис. 2. Схема розташування в моделі п'єзодатчиків відносно заряду ВР**

Перед установкою в моделі п'єзодатчиків були заміряні електричні ємності круглих дисків, а потім з урахуванням того, що електрична ємність

пропорційна площі плоского конденсатора, розраховувалися електричні ємності п'єзодатчиків, установлених у моделях.

П'єзодатчики з кераміки ЦТС19, що встановлюються в моделях, являли собою квадранти дисків діаметром  $d = 14,8$  мм і товщиною  $h = 0,65$  мм. Площа кожного датчика ( $S_0$ ) дорівнює 1/4 площі диска і становила  $4,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ . Калібрування п'єзоелектричних датчиків здійснювалася методом резонансуантирезонансу, а потім розрахунковим шляхом визначався п'єзомодуль  $d_{33}$  кожного датчика [35].

Для оцінки фізикомеханічних властивостей руйнівного середовища одночасно з виготовленням основних моделей виготовлялися зразки для визначення щільності  $\rho$ , швидкості поздовжніх хвиль  $C_p$  і міцності на одновісне стискання матеріалу моделей відповідно до чинних Держстандартів [36–40].

Заряди ВР різних конструкцій (рис. 1) формувалися в підготовлених паперових патронах, внутрішній діаметр яких становив 0,95 діаметра зарядної порожнини. Заряди постійного перерізу формувалися в патронах циліндричної форми, а змінного діаметра з розширенням у торці – виго-

товлялися шляхом з'єднання однієї секції подовженого циліндричного патрона діаметром  $0,5d_{\text{свр}}$  із секцією патрона діаметром рівному  $0,95d_{\text{свр}}$  у його торці; розміщенням повітряного проміжку і сферичної вставки – кулі всередині заряду, а також формування колонки заряду змінного діаметра, що чергуються зі звуженими й розширеними ділянками.

Для формування по колонці заряду профілю змінного перерізу в нього рівномірно розміщували сферичні вставки – кулі. Сферичні вставки виготовляли з використанням спеціального пристрою, розробленого в ІГТМ НАН України [41].

Конструктивна особливість запропонованого пристрою для формування порожнин в термопластичних матеріалах, на відміну від відомих аналогів, полягає в тому, що ефективність і технічний результат досягаються за рахунок розміщення у вузлі формування порожнин – матриці, що складається з верхньої напівформи з нагрівальним елементом нового притискного модуля та його фіксованим положенням між листом із термопластичного матеріалу й нижньої нерухомої напівформи.

У підготовлених циліндричних зарядних порожнинах під час формування колонки подовжених зарядів використовували промислове ВР Комполайн масою 3,5 г або відрізки детонуючого шнура (далі – ДШ) для всіх серій експериментів. При цьому питома витрата ВР становила  $0,3 \text{ кг/м}^3$ . В якості набивки використовувався кварцовий річковий пісок фракції 0,25 мм. Підрив зарядів здійснювали відрізками ДШ довжиною 0,8 м, з'єднані в ланцюг із капсулемдетонатором або хвилеводом неелектричної системи ініціювання (далі – НСИ) типу NONEL, ПРИМА ЕРА або Імпульс і вибуховим пристроєм конденсаторним ПІВ100.

Руйнування моделей проводили в товстостінній металевій вибуховій камері, внутрішня поверхня якої футерована гумою. Зовнішній вигляд вибухової камери з розміщеною в ній моделлю до й після вибуху представлено на рис. 3. Під час вибуху зарядів ВР у моделях максимальні механічні напруження у хвилі стискання фіксуються, а далі перетворюються в електричні сигнали п'єзоелектричними датчиками, які у вигляді коду подають на цифровий осцилограф типу OWON серії POS 58225 (рис. 4), який має модуль пам'яті.

Перед вимірами проводять калібрування осцилографу й установлюють необхідну для цього експерименту його чутливість по амплітуді і три-

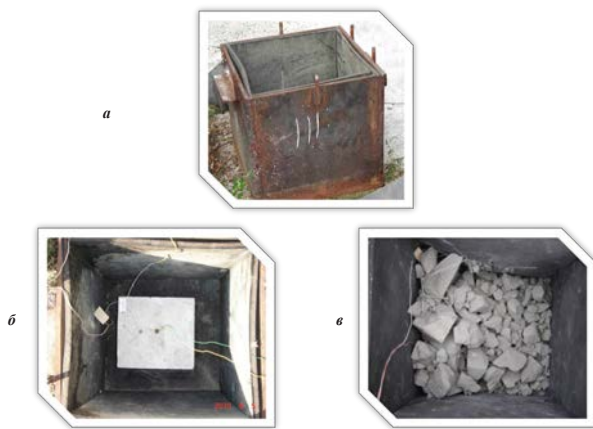


Рис. 3. Зовнішній вигляд вибухової камери (а) з моделлю (б) до вибуху і після вибуху (в)

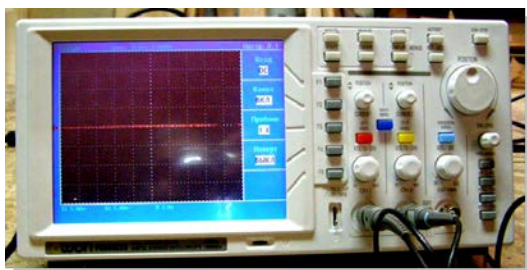


Рис. 4. Загальний вид вимірювального комплексу – цифровий осцилограф типу OWON, серія POS 58225

валості сигналу з урахуванням величини напружень, отриманих при пробних експериментальних вибухах. Амплітудне значення сигналу на осцилографі відповідає максимальному механічному напруженню у хвилі стискання. Отримана інформація кодується й передається на обчислювальний комплекс – NOTEBOOK (рис. 5), де з використанням програмного забезпечення (далі – ПЗ) обробляється й видається на монітор у діалоговому вікні у вигляді осцилограми з числовими даними по всьому діапазону вимірювань (рис. 6). За осцилограмами визначають максимальні величини електричних сигналів і тривалість імпульсу.

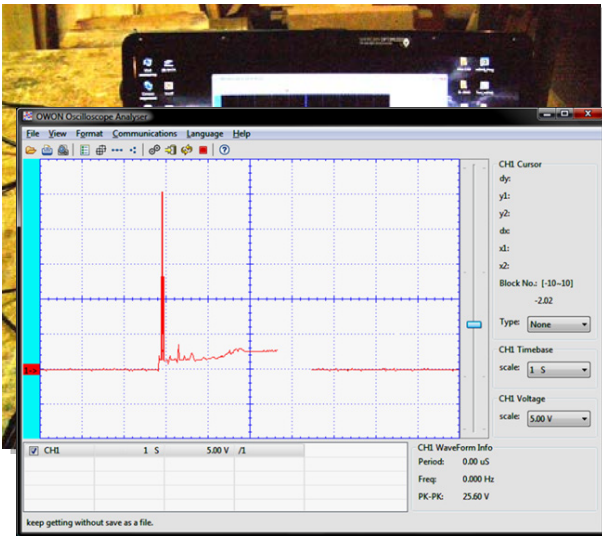


Рис. 6. Типові осцилограми амплітуди сигналів, записані за допомогою п'єзоелектричних перетворювачів

Експериментальні дослідження хвильової й руйнівної дії вибуху зарядів різних конструкцій на підготовлених піщаноцементних моделях, у яких

установлені п'єзоелектричні датчики, проводилися в полігонних умовах кар'єру «Сівач» КорсуньШевченківського РУ згідно з розробленою методикою.

Механічні напруження  $\sigma$  (Па) у моделях під час вибуху подовжених зарядів ВР, знятих із п'єзодатчиків показників електричної амплітуди сигналів  $U$  (В) з фіксуванням їх осцилографом, розраховувалися за формулою:

$$\sigma = \frac{CU}{d_{33}S_d}, \quad (7)$$

де  $C$  – електрична ємність п'єзодатчика (Ф),  $d_{33}$  – його п'єзомодуль (Кл/Н),  $S_d$  – площа поверхні датчика, (м<sup>2</sup>), нормально розміщеного в напрямку хвилі напружень під час вибуху заряду ВР,  $U$  – електрична амплітуда сигналів, В.

Параметри п'єзоелектричних датчиків та електричні амплітуди сигналів, які реєструються ними, наведено в таблиці 1.

У ході обробки результатів експериментів розраховувалися напруження у хвилі стискання на однаковій відстані від осі заряду, що дорівнює 9-ти радіусам  $r_0$  і в торці заряду рівному 4-йому радіусам  $r_0$  зарядної порожнини для різних конструкцій зарядів.

Результати випробувань щодо визначення фізикомеханічних властивостей матеріалу моделей наведено в таблиці 2.

Дослідження гранулометричного складу зруйнованих вибухом моделей проводили методом ситового аналізу за допомогою лабораторних сит типу СЛ200 № 58 та аналізатора ситового А30 за відомими методиками [42].

При обробці гранулометричного складу визначалася загальна маса зруйнованої вибухом частини

Таблиця 1

Параметри п'єзоелектричних датчиків

№ датчика в таблиці	Електрична ємність, $C \cdot 10^{-10}$ , пФ	Площа датчика, $S_d \cdot 10^{-5}$ , м <sup>2</sup>	П'єзомодуль $d_{33} \cdot 10^{-10}$ , Кл/Н	Електрична амплітуда сигналів $U$ , В	Чутливість осцилографа	
					за амплітудою, В/дел	за тривалістю, $\tau$ мкс/дел
7	7,82	4,3	3,04	182,5	20	50
9	7,65	4,3	2,77	153,0	20	50
11	7,65	4,3	2,77	78,6	20	50
15	8,12	4,3	3,01	89,1	20	50
18	7,87	4,3	3,01	101,8	10	50
21	7,85	4,3	2,87	164,7	20	50
28	7,85	4,3	2,9	460,0	20	50
41	0,164	8,6	3,13	460,0	20	50
41	0,164	8,6	3,13	400,0	20	50
42	0,164	8,6	3,03	400,0	20	50
42	8,22	4,3	3,03	420,0	20	50
42	8,22	4,3	3,03	340,0	20	50
43	0,152	8,6	2,93	245,0	20	50
43	0,152	8,6	2,93	560,0	20	50

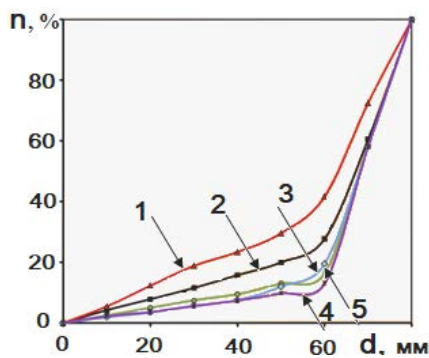
**Фізикомеханічні властивості матеріалу моделей**

Показники	Досліджувані параметри		
	щільність, кг/м <sup>3</sup>	швидкість подовжених хвиль, м/с	міцність на одновісне стискання, МПа
Середні значення	1840,0	2300,0	13,0
Середньоквадратичне відхилення $\Delta$ , кг/м <sup>3</sup>	44,0	49,0	0,006
Коефіцієнт варіації $V_{\text{вар}}$ , %	2,4	2,13	0,16

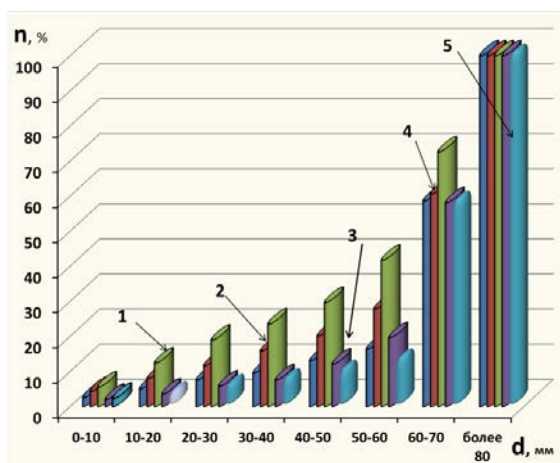
моделі, уміст дрібних фракцій, уміст великих фракцій і діаметр середнього куска. Результати обробки експериментальних даних наведено в таблиці 3.

За результатами ситового аналізу й обробки даних гранулометричного складу побудовано кумулятивні криві та гістограми, які наведено на рис. 7 і рис. 8.

Аналіз результатів експериментів показав, що під час вибуху зарядів змінного по висоті перерізу напруження у хвилі стискання вище, а загальна маса відбитих вибухом частини моделей більша, ніж при вибуху зарядів інших конструкцій: постійного перерізу, змінного діаметра по всій колонці заряду, з розширенням у торці й повітряним проміжком. Крім того, збільшується вихід як великих фракцій  $d > 50$  мм, так і діаметр середнього куска.



**Рис. 7.** Кумулятивні криві розподілу гранулометричного складу зруйнованих моделей зарядами ВР різних конструкцій: 1 – заряд ВР зі сферичною вставкою; 2 – заряд ВР із повітряним проміжком; 3 – заряд ВР із розширенням у торці шпура; 4 – заряд ВР суцільної конструкції; 5 – заряд ВР змінного діаметра по висоті колонки



**Рис. 8.** Гістограми розподілу гранулометричного складу зруйнованих моделей зарядами ВР різних конструкцій: 1 – заряд ВР зі сферичною вставкою; 2 – заряд ВР із повітряним проміжком; 3 – заряд ВР із розширенням у торці шпура; 4 – заряд ВР суцільної конструкції; 5 – заряд ВР змінного діаметра по висоті колонки

**Висновки.** У результаті дослідження отримано такі результати:

- теоретично досліджено механізм дії подовженого заряду ВР змінного перерізу. Аналіз розрахунків показав, що зменшення виділеної під час вибуху енергії відбувається за рахунок не тільки зменшення маси ВР, а й за рахунок зміни показників теплоти вибуху, причому використання сферичних вставок (куль) усередині ВР призводить до посилення дії ударної хвилі на середовище, що руйнується;

- встановлено, що в зарядах ВР змінного перерізу, у яких по його колонці рівномірно розміщені сферичні вставки діаметром рівним  $(0,50,8) d_{\text{зар}}$ , забезпечується стійкість детонації та змінюється механізм вибухового навантаження на середовище, що руйнується, за рахунок фокусування в центрі вставки потужного високотемпературного газового потоку кумулятивної дії;

- експериментально доведено, що зниження пікового тиску ПД на масив досягається за рахунок виходу високотемпературного газового потоку на контакт з проміжним середовищем – сферичною вставкою, яка заповнена повітрям. Наявність у порожнині повітря при високій температурі й тиску сприяє перетворенню форми вибухового імпульсу, зниженню їх пікових показників і збільшенню ефективності його впливу на масив гірських порід, що руйнується;

- експериментально встановлено, що під час вибуху зарядів змінного перерізу напруження у хвилі стискання вище, ніж напруження на тій же відстані для зарядів постійного перерізу. Доведено, що загальна маса відбитої частини моделі зарядами змінного перерізу більша, ніж під час вибуху зарядів інших конструкцій: постійного перерізу, змінного діаметра по всій колонці заряду, з розширенням в торці, з повітряним проміжком.

**Розрахункові й експериментальні результати вибухів зарядів ВР  
різних конструкцій у піщаноцементних моделях**

Конструкції зарядів	Напруження в хвилі стискання, $\sigma$ , ГПа		Маса відбитої вибухом моделі, г	Склад великих фракцій $d_i > 50$ мм	Діаметр середнього куску $d_{\text{ср}}$
	перпендикулярно напрямку хвилі стискання	у торці в напрямку осі заряду			
Заряд постійного перерізу	0,010	0,025	2470,0	1020,0	30,7
Заряд із повітряним проміжком	0,0098	0,025	3760,0	1330,0	33,0
Заряд зі сферичною вставкою	0,012	0,033	3480,0	1630,0	35,0
Заряд із розширенням в торці	0,0095	0,028	2600,0	1340,0	35,8
Заряд змінного діаметра	0,008	0,000148	1980,0	850,0	32,5

Установлено збільшення виходу великих фракцій  $d_i > 50$  мм і діаметра середнього шматка;

– отримані результати досліджень сприятимуть пошуку та розробці нових технічних

рішень щодо підвищення ефективності руйнування міцних гірських складної будови енергією вибуху на кар'єрах нерудних корисних копалин.

**Список літератури:**

1. Ефремов Э.И. Подготовка горной массы на карьерах. Москва : Недра, 1980. 272 с.
2. Опытнотпромышленные испытания технологии заряжания и эффективности взрывания необходимых горных пород зарядами переменного диаметра / Э.И. Ефремов, М.П. Белоконь, Е.В. Николенко и др. *Геотехническая механика* : межвед. сборник научн. тр. ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2005. № 58. С. 13–18.
3. Спосіб формування свердловинного заряду вибуховими речовинами руйнування тріщинуватих гірських порід: пат. на кор. модель 6518 Україна / Е.І. Єфремов, А.В. Пономарьов, В.В. Баранник, В.Г. Ковалевич, В.П. Мартиненко. № у 20040907557; заявлено 16.09. 2004; опубл. 16.05.2005. Бюл. № 5.
4. Сквaziнний заряд для уступной отбойки горных пород: АС на изобретение 112 6058 СССР / С.С. Яценко, Э.И. Ефремов, Б.Н. Кутузов, С.В. Олейник, В.В. Галкин, Ю.С. Яценко, И.Н. Усик. № 3554886/40 заявлено 21.02.1983. ДСП.
5. Демидюк Г.П. Применение энергетического принципа к расчету сквaziнных зарядов на карьерах. *Взрывное дело*. 1967. № 62/19. С. 36–51.
6. Ляшенко В.И., Андреев Б.Н., Куча П.М. Инновационные технологии подземной разработки сложноструктурных месторождений. *Горный журнал*. 2015. № 7. С. 9–18.
7. Гончаров С.А. Разрушение горных пород, пути повышения его эффективности. *Горный журнал*. 1996. № 5. С. 9–12.
8. Способ повышения коэффициента полезного действия сквaziнных зарядов при производстве взрывов на карьерах / С.А. Гончаров, Г.Г. Каркашадзе, В.И. Мочалов, А.И. Дремин и др. *Горный журнал*. 1994. № 3 С. 32–33.
9. Ефремов Э.И., Мартыненко В.П., Бережецкий А.Я. Выбор средств и методов повышения эффективности взрывных работ на карьерах. *Развитие методов добычи руд черных металлов и пути их дальнейшего совершенствования* : материалы Междунар. научнотехн. конф. (Кривой Рог, 22–23 мая 2003 г.) / Мво промышленной политики Украины, ГНИГРИ. Кривой Рог : ГНИГРИ, 2003. С. 148–154.
10. Спосіб руйнування тріщинуватих гірських порід вибуховими речовинами: пат. на кор. модель 37722 А Україна / Е.І. Єфремов, В.Д. Петренко, М.П. Білоконь, І.Л. Коваленко, В.П. Мартиненко, К.В. Лотоус, А.С. Сторчак, Г.К. Биков, М.Ф. Кучма. № у 20001990; заявлено 07.04. 2000; опубл. 15.05.2001. Бюл. № 10.
11. Опыт взрывания сквaziнных зарядов переменного диаметра по высоте уступа / М.П. Белоконь, Е.В. Николенко, К.В. Яицков и др. *Вісник Кременчуцького держ. політехн. унту*. Кременчук, 2006. Вип. 6 (41). Част. 1. С. 56–60.

12. Комир В.М., Сокурено В.А., Ромашко А.М. Эффективность различных конструкций зарядов при взрывной отбойке известняков на карьерах. *Науковий вісник НГУ. Дніпропетровськ*, 2005. № 10. С. 7–10.
13. Друкований М.Ф., Ефремов Э.И., Ильин В.И. Буровзрывные работы на карьерах. Москва : Недра, 1978. 390 с.
14. Способ дробления трещиноватых и слоистых горных пород скважинными зарядами и устройство для его осуществления: АС на изобретение 786423 СССР / Э.И. Ефремов, В.Д. Петренко, И.Л. Кратковской, Н.П. Рева, И.Ф. Гончар, В.М. Кузнецов, А.В. Шацкевич. № 2789613/2203. заявлено 03.07.1979. ДСП.
15. Ефремов Э.И., Никифорова В.А., Ищенко К.С. Способы отбойки горных пород удлиненными зарядами переменного сечения. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва* : науково-виробничий збірник. Кременчук, 2008. Вип. 1. № 1. С. 7–11.
16. Шкуматов А.Н., Калякин С.А. Перераспределение импульса взрыва при помощи рефракторов. *Взрывное дело*. 2007. № 98/55. С. 120–128.
17. Мучник С.В. Применение элементов линейного инициирования при турбовзрывании для вывода подошвы уступа на проектную отметку. *ФТПРПИ*. 2012. № 1. С. 68–75.
18. Денисов Ю.Н. Газодинамика детонационных структур. Москва : Машиностроение, 1989. 561 с.
19. Обоснование параметров скважинного заряда взрывчатого вещества с воздушным промежутком и отражателем из сыпучих материалов / С.В. Тищенко, П.И. Федоренко, Г.И. Еременко и др. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. Днепропетровск, 2015. № 2. С. 90–93.
20. Рахманов Р.А. Обоснование параметров комбинированной конструкции скважинного заряда для разнопрочного горного мас сива. *Горный информационноаналитический бюллетень*. Москва : Издво Горная книга, 2013. № 8. С. 207–209.
21. Ефремов Э.И., Никифорова В.А., Ромашко А.М. Влияние конструкции скважинного заряда ВВ на изменение условий передачи энергии взрыва разрушаемой породе. *Взрывное дело*. 2012. № 10865. С. 157–173.
22. Ефремов Э.И., Никифорова В.А., Ромашко А.М. О механизме разрушения горных пород цилиндрическими зарядами с кольцевыми инертными зазорами. *Вісник Кременчуцького національного університету*. Кременчук : КрНУ, 2012. Вип. 1 (72). С. 127–130.
23. Zare S., Bruland A. Progress of drill and blast tunnelling efficiency with relation to excavation time and costs. *Underground Space – the 4th Dimension of Metropolises*. London ; United Kingdom : Taylor & Francis Group, 2007.
24. Andrievsky A.P., Akhpashev B.A. Improvement of rock fragmentation by distributed charge blasting. *Journal of Mining Science*. 2017. № 53. P. 253–258. URL: <https://doi.org/10.1134/S1062739117022080>.
25. Mertuszka P., Szumny M., Fulawka K., Nikolov S. Field evaluation of mine blasting efficiency. *SWS Journal of Earth and Planetary Sciences*. 2020. № 2. P. 1–16. URL: <https://doi.org/10.35603/eps2020/issue2.01>.
26. Mihaela Todaras. Optimization study of blasting operations in Roşia Poieni open pit mine, Romania. *Mining of Mineral Deposits*. 2021. Volume 15. Issue 4. P. 43–55. URL: <https://doi.org/10.33271/mining15.04.043>.
27. Опытнотомышленные испытания технологии заряжания и эффективности взрывания необводненных горных пород зарядами переменного диаметра / Э.И. Ефремов, М.П. Белоконь, Е.В. Николенко и др. *Геотехническая механика* : межвед. сборник научн. трудов / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, 2005. № 58. С. 13–18.
28. Шевкун Е.Б., Лещинский А.В., Галимьянов А.А. Управление буровзрывным дроблением скальных пород зарядами с воздушными полостями. *Горный журнал*. 2016. № 2. С. 39–42.
29. Требования к выбору параметров БВР для дробления сложноструктурных массивов горных пород комбинированными и дополнительными зарядами / А.В. Дугарцыренов, С.И. Ким, Е.Л. Бельченко и др. *Взрывное дело*. 2015. № 113/70. С. 142–148.
30. Интенсификация разрушения массива разнопрочных горных пород зарядами ВВ с кумулятивным эффектом / Ю.Д. Норов, Ж.В. Бунин, Г.С. Нуфтуллаев и др. *Горный журнал*. 2016. № 2. С. 32–34.
31. Спосіб формування свердловинного заряду кумулятивної дії для вибухового руйнування гірських порід: пат. на винахід 86138 Україна / А.Ф. Булат, К.С. Іщенко, В.П. Джос, В.Я. Осінній, Н.І. Лисиця, О.К. Іщенко, В.М. Коновал. № а 200708501; заявлено 24.07.2007; опубл. 25.03.2009. Бюл. № 6.
32. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. Москва : Недра, 1988. 360 с.
33. Покровский Г.И. Взрыв. Москва : Недра, 1980. 190 с.
34. Спосіб моделювання вибухового руйнування гірських порід: пат. на винахід 110745 Україна / К.С. Іщенко, С.В. Коновал, І.Л. Кратковський, В.В. Круковська, В.М. Коновал. № а 201408761; заявлено 04.08.2014; опубл. 10.02.2016. Бюл. № 3.
35. Глозман И.А. Пьезоэлектрические материалы в электронной технике. МоскваЛенинград : Энергия, 1965. 192с.



36. ГОСТ 21153.0–75. Породы горные. Отбор проб и общие методы физических испытаний. Введен с 01.07.1975. Москва : Издво стандартов, 1976. 20 с.
37. ГОСТ 10181.2–81. Смеси бетонные. Методы определения плотности. Введен с 01.01.1981. Москва : Издво стандартов, 1981. 25 с.
38. ГОСТ 21153.2–84. Породы горные. Метод определения предела прочности при одноосном сжатии. Введен с 01.07.1986. Москва : Издво стандартов, 1986. 10 с.
39. Временные методические указания по экспрессопределению упругих свойств горных пород ультразвуковым методом на необработанных образцах керна геологоразведочных скважин РД / А.А. Яланский, Т.А. Паламарчук, С.И. Скипочка и др. Ленинград : ВНИМИ, 1987. 41 с.
40. ГОСТ 21153.7–75. Породы горные. Метод определения скоростей распространения упругих продольных и поперечных волн. Введен с 01.01.1975. Москва : Издво стандартов, 1976. 35 с.
41. Пристрій для формування порожнин в термопластичних матеріалах: пат. на кор. модель 109447 Україна / К.С. Іщенко. № u 201601846; заявлено 26.02.2016; опубл. 25.08.2016. Бюл. № 16.
42. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. Москва : Издво АН СССР, 1960. 124 с.

### **Konoval V.M., Ishchenko K.S. THEORETICAL AND EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DIFFERENT-GRADE EXPLOSIVE LOAD OF SOLID ENVIRONMENT ON CHARGE LENGTH OF VARIABLE CHARGE CROSS SECTION**

*The mechanism of action of the extended charge of explosives of variable section is theoretically revealed in research. The calculations showed that the reduction of energy released during the explosion is not only due to the reduction of the mass of explosives, but also due to changes in the heat of the explosion. Moreover, the use of spherical inserts (balls) inside the explosive leads to increased impact of the shock wave and the creation of a gradient load, which increases the tensile stresses on the collapsing medium. In order to substantiate the new design of charge of variable cross section, experimental studies were conducted on structurally homogeneous sand-cement models by comparing the results of their destructive action with charges of other structures, as well as numerical indicators of stress amplitude in compression waves during explosion. To do this, in the laboratory were made models of cubic shape with an edge of 150 mm of sand-cement dough in a ratio of 1: 1 with the addition of 0.5% water. To close the mixture used cement grade M 500. During the manufacture of models in metal form with inserts along its axis to a depth of 85 mm formed cylindrical cavities with a diameter of 10 mm to accommodate explosive charges, also installed piezoelectric sensors to a depth of 75 mm the upper limit of the model and at a distance from the axis of the charge of 45 mm, and at the end - at a distance of 20 mm along its axis. They were placed in the model so that the surface plane of the sensors were perpendicular to the direction of the compression wave from the explosion of explosive charges. Evaluation of physical and mechanical properties of the destructive medium to determine the density  $\rho$ , velocity of longitudinal waves  $W_{ed}$  and the strength of uniaxial compression of the model material was performed on cubic models with a rib size of  $40 \pm 2$  mm in accordance with current State Standards. They were made simultaneously with the manufacture of basic models. Explosive charges of various designs were formed in prepared paper cartridges, the outer diameter of which was 0.95 diameter of the charging cavity. As explosive in the destruction of models used industrial explosive Compoline weighing 3.5 g or pieces of detonating cord (DC) for all series of experiments. The charges were detonated by DC segments 0.8 m long, connected in a chain with a detonator capsule or a waveguide of a non-electric initiation system – NSI type NONEL and an explosive device capacitor PIV100. The experiments were conducted in the field conditions of the Sivach quarry of the Mine Management Korsun-Shevchenkivsky region. The destruction products were separated into fractions by sieve analysis, according to which the dependences of the particle size distribution were constructed. The results of experiments showed that the reduction of the peak pressure of detonation products (DP) on the array is achieved due to the output of high-temperature gas flow in contact with the intermediate medium – a spherical insert, which is filled with air.*

**Key words:** model, explosive charge, explosion, voltage amplitude, multi-gradient load.

## ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 544.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/36>

**Бакалінська О.М.**

Інститут хімії поверхні Національної академії наук України імені О.О. Чуйка

**Гринько А.М.**

Інститут хімії поверхні Національної академії наук України імені О.О. Чуйка

**Петренко Т.В.**

Національний університет харчових технологій

**Перепелиця О.П.**

Національний університет харчових технологій

**Петровська В.В.**

Національний університет харчових технологій

### ВЗАЄМОДІЯ ПОДВІЙНИХ МОЛІБДАТІВ РЗЕ Й КУПРУМУ(I) ІЗ ГІДРОГЕН ПЕРОКСИДОМ

Оскільки сполуки  $CuR(MoO_4)_2$ , R – рзе, мають у складі як d-елементи ( $Cu^+$  і  $Mo^{6+}$ ), так і f-елементи ( $R^{3+}$ ), це спричиняє міграції електронів з одних незаповнених енергетичних рівнів на інші. Така природа атомів перехідних металів викликає їх активність у різних окисно-відновних і каталітичних процесах. Дані про такі властивості сполук  $CuR(MoO_4)_2$  не виявлені, тому метою статті є кількісне дослідження реакційних властивостей деяких представників сполук  $CuR(MoO_4)_2$  при R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb з модельною речовиною – гідроген пероксидом у водному розчині. Гідроген пероксид реагує з багатьма речовинами, проявляє окисно-відновні властивості й зазнає каталітичного впливу різноманітних речовин. При його розкладанні одночасно утворюється дві біологічно незамінні речовини – вода й кисень. Тому дослідження  $CuR(MoO_4)_2$  для розкладання гідроген пероксиду має наукове значення.

Спіканням стехіометричних сумішей оксидів купруму(I), рзе та молібдену при 470–490°C в атмосфері гелію одержані відомі сполуки  $CuR(MoO_4)_2$ , R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb (I). (I) ідентифіковані методами РФА, дериватографії та ІЧ-спектроскопії. Порівнянням даних РФА, дериватографії та ІЧ-спектроскопії одержаних сполук  $CuR(MoO_4)_2$  з відповідними відомими характеристиками доведена їх хімічна індивідуальність.

Волюмометричним методом досліджена взаємодія (I) з гідроген пероксидом, що супроводжується утворенням кисню й води. Визначені значення констант швидкості такої взаємодії. Запропонована схема розкладання гідроген пероксиду під впливом (I), згідно з якою розкладання гідроген пероксиду подвійними молібдатами рзе та купруму(I) відбувається щонайменше за рахунок двох процесів: перший – це пряма реакція  $Cu^{I+}$  сполук  $CuR(MoO_4)_2$ , R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb з гідроген пероксидом. Унаслідок цього утворюється  $Cu^{2+}MoO_4$ ; другий – каталітична дія  $Cu^{2+}MoO_4$  на гідроген пероксид, що призводить до його розкладання. Отже, розкладання гідроген пероксиду під впливом  $CuR(MoO_4)_2$  спричинене як реакційним, так і каталітичним процесами.

Доведена активність подвійних молібдатів РЗЕ та купруму(I) як каталізаторів у реакції розкладання гідроген пероксиду.

Одержані результати можуть знайти застосування в промислових і біологічних процесах.

**Ключові слова:** каталітичні процеси, подвійні молібдати рзе та купруму(I), гідроген пероксид, рентгенофазовий аналіз, дериватографія, ІЧ-спектроскопія, волюмометричний метод.

**Постановка проблеми.** Серед оксидних сполук досить поширені подвійні солі типу  $MR(EO_4)_2$ ,  $M^+$  –  $NH_4$ , Li, Na, K, Rb, Cs, Cu, Ag, Tl,  $R^{3+}$  – трива-

лентний p-, d- або f-метал,  $E^{6+}$  – S, Se, Cr, Mo, W. На їх основі одержані окремі функціональні матеріали, наприклад, лазерні кристали, люмінофори та

сегнетоелектрики [1]. У порівнянні із загальною кількістю всіх сполук цього типу на практиці використовуються лише деякі. Причиною цього є вузьке коло вивчених властивостей названих сполук. Це стосується також й окремо взятих подвійних молібдатів рзе та купруму(І) складу  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ . Під час їх синтезу необхідно дотримуватися температур до  $500^\circ\text{C}$  і використовувати захисну атмосферу аргону, гелію або вакуум.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , R-рзе, одержані, вивчені методами рентгенофазового аналізу (РФА), дериватографії, ІЧ-спектроскопії [2] та ідентифіковані як індивідуальні сполуки. Досліджені також їх електрофізичні властивості [3]. Серед  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  виділено дві групи сполук – з R – La-Er, Y (діелектрики) і  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , R – Tm, Yb, Lu (напівпровідники). Перша група сполук має жовто-зелений колір із різними відтінками залежно від природи рзе, а друга – чорний. Усі сполуки термічно нестійкі та при нагріванні розкладаються у твердій фазі. При нагріванні на повітрі в них відбувається окиснення  $\text{Cu}^+$  до  $\text{Cu}^{2+}$ .

Особливість сполук у тому, що в їх складі є як d-елементи ( $\text{Cu}^+$  і  $\text{Mo}^{6+}$ ), так і f-елементи ( $\text{R}^{3+}$ ). Це спричиняє міграції електронів з одних незаповнених енергетичних рівнів на інші. Така природа атомів перехідних металів викликає їх активність у різних окисно-відновних і каталітичних процесах. Дані про такі властивості сполук  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  не виявлені.

**Постановка завдання.** У роботі поставлена мета кількісно дослідити реакційні властивості деяких представників сполук  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  при R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb з модельною речовиною – гідроген пероксидом у водному розчині. Гідроген пероксид реагує з багатьма речовинами, проявляє окисно-відновні властивості й зазнає каталітичного впливу різноманітних речовин [4]. Ступінь окиснення кисню в  $\text{H}_2\text{O}_2 - 1^-$ , тому речовина має як окисні (домінантні), так і відновні властивості. Вона використовується як дезінфікуючий засіб, у целюлозно-паперовій промисловості, промислового виробництві оксиду пропілену тощо. Гідроген пероксид має унікальні властивості в біологічних системах і навколишньому середовищі. Важливо, що при його розкладанні одночасно утворюється дві біологічно незамінні речовини – вода й кисень. Через це дослідження  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  для розкладання гідроген пероксиду має наукове значення.

**Виклад основного матеріалу.** Подвійні молібдати самарію, європію, ербію, ітербію та купруму(І) одержували за відомою методикою [2]

з відповідних оксидів, узятих у мольному співвідношенні  $[\text{Cu}_2\text{O}]:[\text{R}_2\text{O}_3]:[\text{MoO}_3] = 1:1:4$ . Сполуку із церієм синтезували з  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\text{Ce}_2(\text{MoO}_4)_3$  і  $\text{MoO}_3$  у кількостях відповідно до формули  $\text{CuCe}(\text{MoO}_4)_2$ . Вихідні речовини мали кваліфікацію «хч» і «чда», молібденову кислоту одержували в лабораторних умовах із реактивів марки «чда». Суміші оксидів розтирали у фарфоровій ступці, переносили їх у фарфорові тиглі, де запресовували. Як захисну атмосферу використовували потік гелію, який мав марку А по ТУ 51-940-80. Спікання проводили в трубчатій печі, куди поміщали кварцову трубу. У неї вкладали нікелевий піддон із фарфоровими тиглями, наповненими реакційними сумішами. Вхід і вихід кварцової труби закривали корками з тонкими скляними трубками для забезпечення потоку гелію. Вихідна трубка герметизувалася водним затвором. Процес спікання проводили протягом 32 годин при температурах  $470\text{--}490^\circ\text{C}$  з триразовою проміжною гомогенізацією. Кожного разу перед нагріванням печі кварцову трубу з реакційними сумішами промивали гелієм протягом двох годин. Після виключення печі гелій пропускали до її охолодження до  $150^\circ\text{C}$ . Це запобігало окисненню кінцевих речовин.

Для ідентифікації одержаних  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb використовували метод РФА (установка ДРОН УМ-1,  $\text{Cu}_{\text{Ka}}$  – випромінювання, комп'ютерна реєстрація кутів відбиття з точністю  $2\theta \pm 0,04$  град). Дериватограми знімали на дериватографі Л. Паулік, П. Паулік та Л. Ердей зі швидкістю нагрівання  $0,167$  град/с з навантаженнями  $0,50\text{--}0,80$  г в корундових тиглях, ДТА –  $1/10$ , ДТГ –  $1/10$ , точність вимірювання температури –  $\pm 10^\circ\text{C}$ . ІЧ-спектри знімали на спектрографі UR-20 (готували пігулки в KBr).

РФА одержаних у роботі  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  показав відсутність у їх складі вихідних речовин і підтвердив їх належність до двох описаних типів кристалічних модифікацій [1; 2].

На рис. 1 показана дериватограма  $\text{CuSm}(\text{MoO}_4)_2$  (для решти сполук виявлений такий же тип дериватограм). На кривій ДТА при  $550^\circ\text{C}$  помітний чіткий екзоефект, який викликаний розкладанням сполуки у твердій фазі. При цій же температурі на кривій ТГ реєструється різке збільшення маси за рахунок окиснення  $\text{Cu}^+$  до  $\text{Cu}^{2+}$ . Після  $600^\circ\text{C}$  нагрітий продукт є сумішшю, яка плавиться при  $800^\circ\text{C}$ . Приріст маси всіх  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , нагрітих до  $600^\circ\text{C}$ , відповідає формульному вмісту купруму(І). Одержані за цим методом чисельні характеристики синтезованих сполук також відповідають відомим [2].

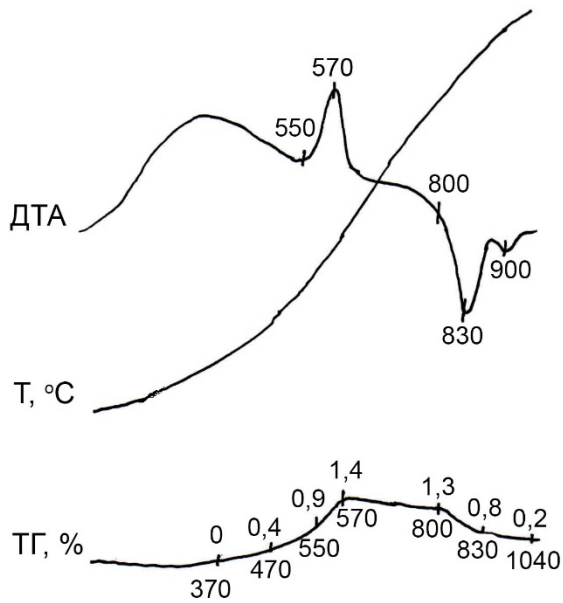


Рис. 1. Дериватограма  $\text{CuSm}(\text{MoO}_4)_2$

ІЧ-спектроскопія зразків  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb підтвердила дані РФА про існування для них двох типів кристалічних структур (рис. 2). Наприклад, для  $\text{CuEr}(\text{MoO}_4)_2$  реєструються такі частоти валентних коливань тетраедричних йонів  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{cm}^{-1}$ :  $\gamma_1$  – 930 с., 910 с., 900 с.;  $\gamma_3$  – 835 с.ш., 820 пл., 760 с., 730 с.,  $\gamma_{\text{ас}}$  (Mo-O-Mo) – 608 пл.,  $\gamma_4$  – 500 ср. В ІЧ-спектрі  $\text{CuYb}(\text{MoO}_4)_2$  спостерігаються смуги валентних коливань октаедра  $\text{MoO}_6^{6-}$ ,  $\text{cm}^{-1}$ : 850 ср., 830 ср., 810 с., 740 пл., 660 с.ш. і 590 с.ш. Коливання в ділянці 470–400  $\text{cm}^{-1}$  належать до симетричних коливань Mo-O-Mo. Скорочення: с. – сильна, с.ш. – сильна широка, ср. – середня, пл. – плече.

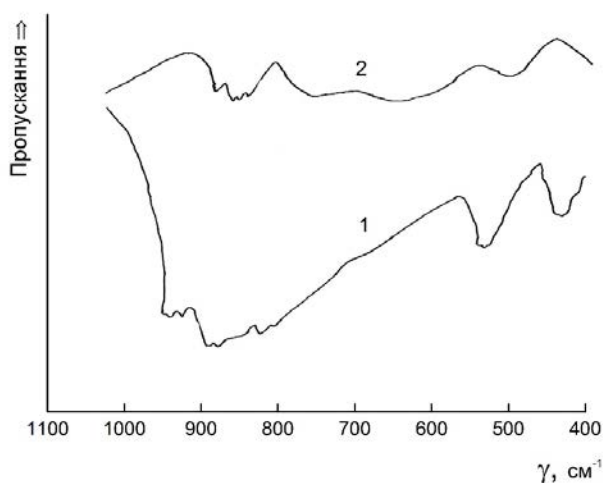


Рис. 2. ІЧ-спектри  $\text{CuSm}(\text{MoO}_4)_2$  (1) і  $\text{CuYb}(\text{MoO}_4)_2$  (2)

На підставі порівняння даних РФА, дериватографії та ІЧ-спектроскопії одержаних сполук

$\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  з відповідними відомими характеристиками [1; 2] впливає доказ їх хімічної індивідуальності.

Саме взаємодію цих сполук досліджено в модельній реакції розкладання гідроген пероксиду. Молібденову кислоту використано для порівняння. Попередні якісні проби на взаємодію гідроген пероксиду з  $\text{MR}(\text{MoO}_4)_2$ ,  $\text{M}^+ - \text{NH}_4, \text{K}, \text{Ag}$ ; R – La, Sm були негативні, тільки  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  проявляли активність. Для визначення кінетики розкладання гідроген пероксиду використовували волюмометричний метод [5]. Вихідну концентрацію гідроген пероксиду в розчині визначали методом перманганатометричного титрування [6]. Експеримент проводили протягом 30 хв. при постійному перемішуванні реакційної суміші загальним об'ємом 25 мл. Виділений об'єм кисню фіксували з точністю  $\pm 0,01$  мл. Кількісне визначення реакційної активності дослідних об'єктів зроблено шляхом розрахунку константи швидкості реакції з точністю  $\pm 5\%$ . Максимальну швидкість реакції визначали з кінетичних даних розкладання гідроген пероксиду в розчині при концентраціях 1,0–10,0% у діапазоні рН 8,5–10,5 (фосфатний буфер) аналітичною наважкою досліджуваної сполуки. На рис. 3 наведені кінетичні дані виділення кисню при розкладанні 8,93% розчину гідроген пероксиду при рН = 7 (точність вимірювання рН =  $\pm 0,1$ ) наважкою  $\text{CuEu}(\text{MoO}_4)_2$  0,0015 г.

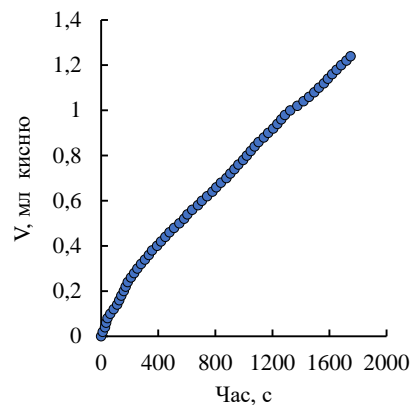


Рис. 3. Кінетичне виділення кисню при розкладанні 8,93-процентного розчину гідроген пероксиду при рН = 7 наважкою  $\text{CuEu}(\text{MoO}_4)_2$  0,0015 г

Початкову максимальну швидкість реакції виділення кисню при розкладанні 8,93-процентного розчину гідроген пероксиду для цієї речовини в тих же умовах визначали графічно із залежності швидкості виділення кисню (мл/с.г) від часу (с). Потім із залежності логарифму початкової (максимальної) швидкості реакції від логарифму концентрації гідроген пероксиду визначено

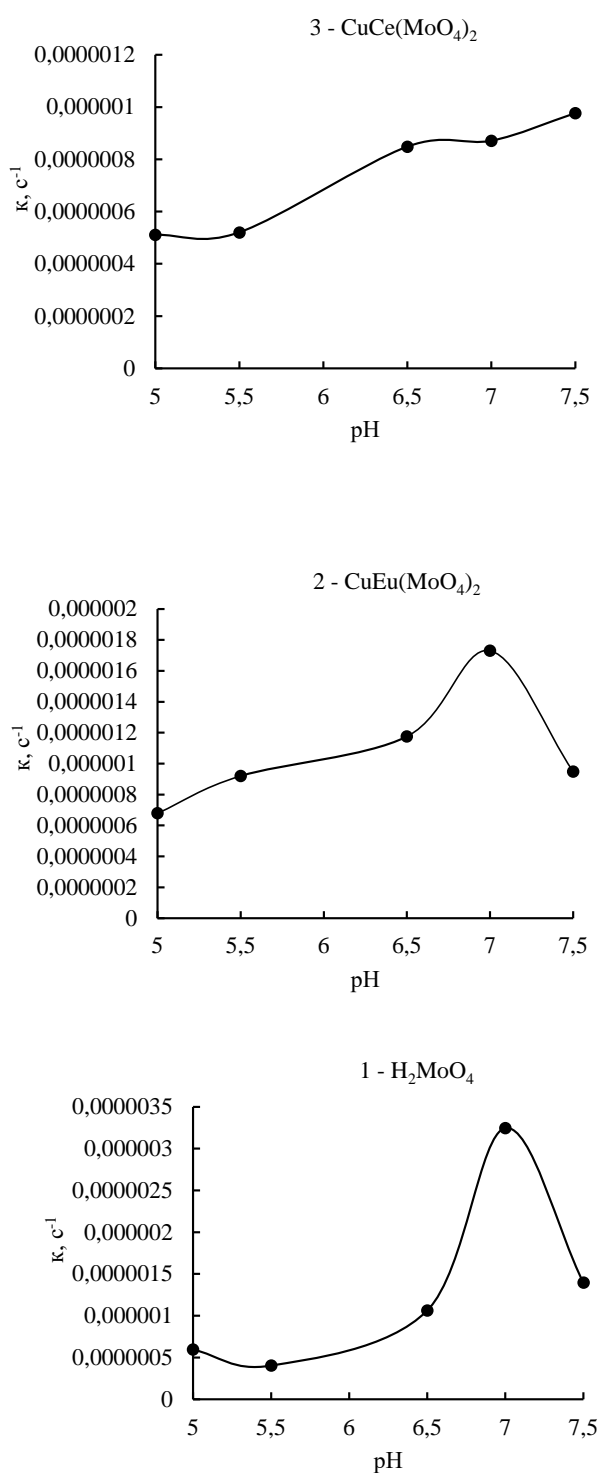


Рис. 4. Залежність константи швидкості розкладання гідроген пероксиду різними речовинами від рН розчину (1 – H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, 2 – CuEu(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> і 3 – CuCe(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>)

константу швидкості реакції. Вона визначається з лінійної залежності  $\log(V_{\max}) = ax \log([C_{H_2O_2}])^+$  і позначається як  $k, c^{-1} = 10^B$ . Для розкладання гідроген пероксиду при рН = 7 сполукою CuEu(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>  $k = 10^{-5,762} = 1,73 \cdot 10^{-6}(c^{-1})$ .

Досліджено залежність константи швидкості реакції розкладу гідроген пероксиду від рН реакційного розчину для H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> і CuR(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb (рис. 4). Одержано три типи графічних залежностей – для H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>, CuCe(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> і CuR(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, R – Sm, Eu, Er, Yb. Для CuCe(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> графік має згладжений характер, а для H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> – максимум на графіку чітко виражений. Для всіх шести досліджених речовин найбільше значення константа швидкості реакції має при рН = 7.

У таблиці наведені визначені значення константи швидкості ( $k(c^{-1})$ ) розкладання гідроген пероксиду в розчині різними дослідженими в роботі речовинами при рН = 7. Це значення є оптимальним для розкладу гідроген пероксиду, бо надміри як гідроксонієвих, так і гідроксильних йонів можуть блокувати активні центри досліджуваних речовин як каталізаторів.

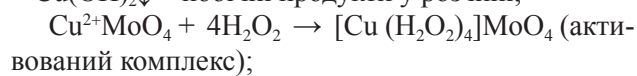
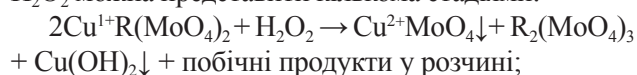
Таблиця  
Значення констант швидкості ( $k, c^{-1}$ ) розкладу гідроген пероксиду дослідженими речовинами при рН = 7

Формула речовин	k, c <sup>-1</sup>
H <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	3,25·10 <sup>-6</sup>
CuCe(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0,85·10 <sup>-6</sup>
CuSm(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,63·10 <sup>-6</sup>
CuEu(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,73·10 <sup>-6</sup>
CuEr(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,17·10 <sup>-6</sup>
CuYb(MoO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1,50·10 <sup>-6</sup>

Помітно, що найефективніше впливає на розкладання гідроген пероксиду молібденова кислота ( $k = 3,25 \cdot 10^{-6}, c^{-1}$ ), найменше – CuCe(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> ( $k = 0,85 \cdot 10^{-6}, c^{-1}$ ). Для решти речовин така константа має значення в межах від  $1,17 \cdot 10^{-6}$  до  $1,73 \cdot 10^{-6}, c^{-1}$ . Із таблиці помітно, що вплив досліджених CuR(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> на розклад гідроген пероксиду досить помірний і менший такого для H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>. Але, оскільки взаємодія CuR(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> описана вперше, цей факт може мати практичне значення, тому що залежно від потреб у певних умовах гідроген пероксид потрібно розкласти з різною швидкістю – більшою або меншою.

Якщо розглядати ряд однотипних сполук MR(MoO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, M<sup>+</sup> – NH<sub>4</sub>, K, Ag, Cu; R<sup>3+</sup> – La, Sm, то лише сполуки з Cu (I) викликають розкладання гідроген пероксиду. Звідси очевидна провідна роль Cu (I) у такому процесі. Про вплив різних йонів купруму на H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> є дані, що суперечать одні іншим. У роботі [7] описаний процес каталітичного розкладання гідроген пероксиду молібдатами купруму (II), наведена схема, за якою із H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> утворюється радикал H<sub>2</sub>O<sup>•</sup>, що відновлює Cu<sup>2+</sup> до Cu<sup>1+</sup>, останній

відновлює  $\text{Mo}^{6+}$  до  $\text{Mo}^{5+}$ . Але окисні властивості  $\text{H}_2\text{O}_2$  переважають його відновні властивості, тому запропонований механізм мало ймовірний. У низці інших робіт [8; 9] указується на окиснення  $\text{Cu}^{1+}$  гідроген пероксидом до  $\text{Cu}^{2+}$  з утворенням радикала  $\text{H}_2\text{O}^{\bullet}$ , а вже він викликає розкладання  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Спостереження за змінами кольорів  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  і розчину  $\text{H}_2\text{O}_2$  над ними вказують на більшу ймовірність переходу  $\text{Cu}^{1+}$  до  $\text{Cu}^{2+}$ , що узгоджується з працями [8; 9]. Осади проб  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  після обробки  $\text{H}_2\text{O}_2$  стають блакитними, а розчин над ними має зелено-блакитний колір. Спрощену схему взаємодії  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  з  $\text{H}_2\text{O}_2$  можна представити кількома стадіями:



Шиєлітоподібний  $\text{Sm}_2(\text{MoO}_4)_3$  у твердій фазі ідентифіковано методом РФА. Це спрощена схема, а реальний процес складніший і може супроводжуватися утворенням розчинних сполук (пероксомолібдатів, гетерополімолібдатів тощо) і радикала  $\text{H}_2\text{O}^{\bullet}$ . Такий радикал може ініціювати нерозгалужену ланцюгову реакцію розкладу  $\text{H}_2\text{O}_2$  на воду та кисень.

З наведеної схеми видно, що розкладання гідроген пероксиду подвійними молібдатами рзе та

купруму(I) відбувається щонайменше за рахунок двох процесів: перший – це пряма реакція  $\text{Cu}^{1+}$  сполук  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , R – Ce, Sm, Eu, Er, Yb з гідроген пероксидом, унаслідок цього утворюється  $\text{Cu}^{2+}\text{MoO}_4$ ; другий – каталітична дія  $\text{Cu}^{2+}\text{MoO}_4$  на гідроген пероксид, що призводить до його розкладання. Отже, розкладання гідроген пероксиду під впливом  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  спричинене як реакційним, так і каталітичним процесами.

Одержані в роботі результати показують на реальну можливість використання  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  як активних матеріалів для розкладання  $\text{H}_2\text{O}_2$  з помірною швидкістю, хоч більший інтерес становить не розкладання, а прямий каталітичний синтез гідроген пероксиду з водню та кисню [10].

На закінчення зазначимо, що тільки у 2018 р. світове виробництво гідроген пероксиду становило ~1,7 млн. тонн і продовжує зростати.

**Висновки і пропозиції.** Волюмометричним методом досліджена взаємодія подвійних молібдатів РЗЕ (Ce, Sm, Eu, Er, Yb) і купруму(I) з гідроген пероксидом, що супроводжується утворенням кисню і води. Визначені значення констант швидкості такої взаємодії. Доведена активність  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  як функціональних матеріалів, що впливають на розкладання гідроген пероксиду. Одержані результати можуть мати практичне значення.

#### Список літератури:

1. Перепелиця О.П., Максін В.І. Система подвійних вольфраматів і молібдатів  $\text{MR}(\text{EO}_4)$ , M –  $\text{NH}_4$ , Ag, Cu, Tl, R – тривалентний метал, E – Mo, W. *Вісник Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. Серія «Хімія»*. 2018. № 1 (55). С. 19–24.
2. Синтез двойных молибдатов меди (I) и трехвалентных металлов  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  / П.В. Клевцов, А.П. Перепелица, А.В. Синкевич и др. *Журнал неорганической химии*. 1987. Т. 32. № 3. С. 643–646.
3. Синтез и физико-химические свойства двойных молибдатов РЗЭ и скандия с аммонием и метиламмонием / А.П. Перепелица, В.Н. Ищенко, В.В. Фоменко и др. *Украинский химический журнал*. 1995. Т. 61. № 11. С. 7–11.
4. Pedziwiatr P., Mikolajczyk F., Zawadzki D. et al. Decomposition of hydrogen peroxide – kinetics and review of chosen catalysts. *Acta Innovations. ISSN 2300-5599*. 2018. № 26. P. 45–52.
5. Ляликов Ю.С. Физико-химические методы анализа. 5-ое изд., перераб. и доп. Москва: Химия, 1973. 536 с.
6. Pataki L., Zapp E., Basic analytical chemistry: Pergamon Press, 1980. 457 p.
7. Snaheen W.M., Selim M.M. Characterization and Catalytic Properties of a Series of  $\text{CuO-MoO}_3$  Mixed Oxides. *Egypt. J. Chem.* 2017. Vol. 60. № 4. P. 627–638.
8. Sharma V.K., Millero F.J. The oxidation of Cu(I) with  $\text{H}_2\text{O}_2$  in natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989. V. 53. № 9. P. 2269–2276.
9. Guowei Xing, z3214434. Reactions of Cu(I) and Cu(II) with  $\text{H}_2\text{O}_2$  in natural waters: kinetics, mechanism and the generation of reactive oxidizing intermediates: School of Civil and Environmental Engineering. The University of New South Wales, 2012. 113 p.
10. Menegazzo F., Signoreto M., Ghedini E. et al. Looking for the «Dream Catalyst» for Hydrogen Peroxide Production from Hydrogen and Oxygen. *Catalysts*. 2019. № 9 (3). P. 251.

#### **Bakalinska O.M., Hrynko A.M., Petrenko T.V., Perepelytsia O.P., Petrovska V.V. INTERACTION OF DOUBLE MOLYBDATES OF REE AND COPPER(I) WITH HYDROGEN PEROXIDE**

Since the compounds  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ , R – ree, contain both d- elements ( $\text{Cu}^+$  and  $\text{Mo}^{6+}$ ) and f- elements ( $\text{R}^{3+}$ ), this causes the migration of electrons from some unfilled energy levels to others. This nature of the transition

metal atoms causes their activity in various oxide reduction and catalytic processes. Data on such properties of compounds  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  were not found, so the purpose of the article is to quantify the reaction properties of some representatives of compounds  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  at  $R - \text{Ce, Sm, Eu, Er, Yb}$ , with a model substance – hydrogen peroxide in aqueous solution. The hydroxide peroxide reacts with many substances, exhibits oxide-reducing properties and is catalyzed by various substances. During its decomposition two biologically indispensable substances are simultaneously formed – water and oxygen. Because of this, the study of  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  for the decomposition of peroxide hydrogen is of scientific importance.

The known compounds  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ ,  $R - \text{Ce, Sm, Eu, Er, Yb}$  (I) were obtained by sintering stoichiometric mixtures of oxides of copper(I), ree and molybdenum at 470-490°C in a helium atmosphere. (I) identified by X-ray phase analysis (RPA), derivatography and IR spectroscopy. Based on comparison of RPA data, derivatography and IR spectroscopy of the obtained compounds  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  with the corresponding known characteristics, proof of their chemical individuality follows.

The volumetric method investigated the interaction of double molybdates ree ( $\text{Ce, Sm, Eu, Er, Yb}$ ) and copper(I) with hydrogen peroxide, accompanied by the formation of oxygen and water. The values of the rate constants of such interaction are defined. The scheme of decomposition of hydrogen peroxide under the influence of (I) is offered. From the above scheme, it can be seen that the hydrogenation decomposition of peroxide with double molybdates is cut and copper (I) due to at least two processes. The first is the direct reaction of  $\text{Cu}^{1+}$  compounds  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$ ,  $R - \text{Ce, Sm, Eu, Er, Yb}$ , with hydrogen peroxide. As a result,  $\text{Cu}^{2+}\text{MoO}_4$  is formed. And the second is the catalytic effect of  $\text{Cu}^{2+}\text{MoO}_4$  on the hydroxide peroxide, which leads to its decomposition. So the hydrogen peroxide decomposition under the influence of  $\text{CuR}(\text{MoO}_4)_2$  is caused by both reaction and catalytic processes.

The activity of double molybdates of REE and copper(I) as catalysts the hydrogen peroxide decomposition has been proven.

The obtained results can be used in industrial and biological processes.

**Key words:** catalytic processes, double molybdates of ree and copper(I), hydrogen peroxide, RPA method, derivatography, volumetric method, IR spectroscopy.

**Єфімова В.Г.**

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

**Пилипенко Т.М.**

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

**Матвєєва А.В.**

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

## РОЗРОБКА СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО ПРОДУКТУ З ФІТОСТЕРОЛАМИ НА ОСНОВІ ЕМУЛЬГАТОРІВ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ

*Тренд anti-age сьогодні є глобальним явищем. За даними Euromonitor, у 2020 році споживачі витратили 7,7 мільярдів доларів США на креми для обличчя, які зменшують зморшки та прагнуть зберегти молодий зовнішній вигляд. Нові косметичні засоби стимулюють цю тенденцію.*

*У роботі представлено фітостероли гірчиці абіссінської. Відомо, що основною біологічною дією фітостеролів є їх протизапальні властивості, завдяки яким вони використовуються в продуктах проти старіння. У клінічних дослідженнях фітостероли покращували шкіру, пошкоджену сонцем. Також фітостероли сприяють збільшенню гіалуронової кислоти у фібропластах людського організму, адже саме зменшення з віком кількості колагену та гіалуронової кислоти призводить до втрати шкірою вологи, що, у свою чергу, зумовлює обвисання шкіри, сухість і зморшки. Фітостероли належать до групи стероїдних спиртів.*

*Емульсії є одним із найпоширеніших видів косметичної продукції. Вони є основою для різних кремів, косметичного молочка, деяких бальзамів, крем-фарб для волосся, вітамінних комплексів тощо. Таке різноманіття емульсійних форм зумовлено їх специфічними властивостями, такими як можливість поєднання масляної та водної фази, можливість введення різних активних компонентів, а також високими споживчими якостями.*

*Основу сучасних косметичних кремів становлять емульсійні системи типу олія – вода. Стабільність таких емульсійних систем характеризує величина поверхневого натягу на межі поділу фаз: суміш емульгаторів – фаза масла. Нині відбувається постійна розробка нових емульсійних косметичних продуктів, де особлива увага приділяється їх стійкості. Відомо, що як стабілізатори косметичних емульсій найчастіше використовуються поверхнево-активні речовини (емульгатори) та їх суміші. При цьому аналіз літературних даних свідчить, що рецептури емульсійних косметичних засобів базуються на численних експериментальних даних, що значно ускладнює і здорожує випуск косметичної продукції. Тому в роботі представлено розробку науково-обґрунтованого підходу до створення нових рецептур емульсійних косметичних засобів.*

*З використанням колоїдно-хімічних закономірностей на межі поділу двох рідких фаз ми підібрали стабілізатор емульсії, який складається із суміші емульгаторів природного походження. Нами вивчено поведінку індивідуальних емульгаторів і їх сумішей на межі поділу фаз рідина-повітря й рідина-рідина. Відпрацьована методика отримання агрегативно стійких модельних емульсій і досліджено їх основні колоїдно-хімічні характеристики, а саме встановлено взаємозв'язок між характеристиками вихідних компонентів і властивостями кінцевої продукції.*

**Ключові слова:** *фітостероли, емульсія, поверхневий натяг, емульгатор, адсорбція, поверхневі явища, гірчиця абіссінська.*

**Постановка проблеми.** Першим кроком до розробки рецептури спеціальних кремів є відновлення шкірного бар'єру. Фітостероли чи рослинні стерини, відомі як «ключ до життя», являють

собою природні активні речовини, що отримані з рослин.

Усі фітостероли мають схожі властивості в косметичі.



У косметичних засобах фітостероли мають три важливі властивості [1]:

- виражену протизапальну дію;
- сприяють загоєнню шкіри, знімають свербіж, почервоніння та роздратування;
- відновлюють порушені бар'єрні властивості шкіри;
- захищають шкіру від УФ-випромінювання, будучи натуральним сонцезахисним фільтром;
- зміцнюють шкіру, оскільки гальмують ферментативне руйнування волокон дерми.

Фітостероли є головними компонентами рослинних клітин, що містяться в коріннях, листі й насінні рослин. До рослинних фітостеролів належить кілька видів стеролів, знайдених у рослинах: кампестероли, бета-фітостероли, холестероли, брасикастероли, авенастероли. Найбільше застосування знайшли стероли сої, ріпаку та вівса.

Отже, саме з відновлення бар'єру шкіри починається спеціальний косметичний догляд активнішого напрямку – зволоження, зняття мікрозапалення та захист шкіри від агресії зовнішнього середовища. Тому розробка спеціальних емульсійних кремів, що містять у складі фітостероли й емульгатори натурального походження, є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що одним із факторів, який сприяє старінню шкіри, є руйнування й утрата колагену насамперед через незахищене перебування на сонці. Старіння організму людини призводить до зниженню вироблення колагену. Національним інститутом здоров'я Німеччини проведено клінічні дослідження впливу різних емульсійних препаратів на шкіру протягом 10 днів. Дослідження продемонстрували, що найкращі результати показали препарати, які містять фітостероли. При цьому дослідження свідчить, що фітостероли не тільки зупиняють спричинене сонцем уповільнення вироблення колагену, а й стимулюють вироблення нового колагену [2].

Авторами в роботі [3] проаналізовано вплив фітостеринів з насіння яблука в косметичному емульсійному засобі на вікові структурні та функціональні параметри за допомогою біохімічних, молекулярних, біологічних і біоінженерних методів дослідження клітини. Дослідження свідчать, що застосування фітостеролів з насіння яблук у складі косметичного засобу призводить до стимуляції синтезу гіалуронової кислоти і збільшення товщини епідермісу, що зумовлює покращення еластичності, значно покращує структуру й функції зрілої шкіри.

Група вчених [4] проводила спектрофотометричну оцінку відновлення шкірного бар'єру після місцевого застосування фітостеролів сої. Результати дослідження чітко показали, що фітостероли позитивно впливають на відновлення шкіри.

**Постановка завдання.** Отже, метою роботи є розробка складу емульсійного косметичного засобу з використанням фітостеролів гірчиці абіссинської та емульгаторів природного походження, а саме: виявлення взаємозв'язку між колоїдно-хімічними властивостями вихідних компонентів і характеристиками кінцевої композиції, підбір співвідношення емульгаторів і вмісту фітостеролів, з яких складається емульсійний крем, визначення їх колоїдно-хімічних властивостей, які впливають на стійкість готового продукту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Під час розробки рецептури емульсійного косметичного продукту ми зупинилися на фітостеролах гірчиці абіссинської.

Продукт відповідає Європейським директивам ISO 9001, ISO 22000 і директиві GMP. Усі інгредієнти не є генетично модифікованими.

Зовнішній вид: високов'язка рідина за кімнатної температури. У складі загальна кількість стеролів становить 97%, більшість із яких являють собою етерифіковані стероли. Частка вільних стеролів становить близько 6%. Наближений хімічний склад фітостеролів гірчиці абіссинської наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

#### Хімічний склад фітостеролів гірчиці абіссинської

Складові частини фітостеролів	Максимальний уміст, у %
β-ситостерол	60
β-ситостанол	15
Кампестерол	40
Кампестанол	5
Стигмастерол	30
Брасикастерол	3

Як антиокислювальні добавки використана суміш токоферолів та аскорбіл пальмітату.

До загальних властивостей фітостеролів гірчиці абіссинської можна віднести:

- при використанні в шкірі після УФ-випромінювання спостерігається більш виражена експресія генів, що кодують синтез колагену I типу – Col1a1 і Col1a2;
- є фактором найбільш фізіологічного впливу на шкіру;

– адсорбують УФ-випромінювання, оскільки являють собою природний сонцезахисний фільтр, так як є природними сонцезахисними фільтрами;  
 – стимулюють диференціювання клітин і гальмують неоангіогенез, здатні зміцнювати дермальні структури для інгібування ферментативного руйнування волокон і протеогліканів дерми;  
 – зберігають меланогенез, запобігають появі вікової пігментації та здатні вирівнювати колір обличчя.

Рецептура емульсійного косметичного продукту наведена в Таблиці 2.

Таблиця 2

**Склад емульсійного косметичного крему з фітостеролами**

Назва компонента	% у рецепті
Жирова фаза	
Beautyderm NP (ГЛБ 6)	4%
Montanov L (ГЛБ 8)	2%
Масло жожоба (ГЛБ 6,5)	5,8%
Масло сафлорове (ГЛБ 8)	4,35%
Масло оливкове (ГЛБ 7)	4,35%
Водна фаза	
Гідролат розмарину	70%
Молочна кислота	2,5%
Активна фаза	
Plantasens Crambisol Фітостерол	2%
Ever LaSkin (Ceramide III (Ceramide NP))	4 %
Консервант Cosgard	0,5 %
Фенілетилловий спирт (як віддушка, так і консервант)	0,5%
	100%

Як емульгатори в емульсійному продукті ми використовували емульгатор Beautyderm NP і Montanov L неіоногенної природи натурального рослинного походження.

Beautyderm NP являє собою нове покоління емульгаторів для систем масло/вода, що утворює рідкокристалічні ламелярні емульсії. У сегменті бюджетних емульгаторів він займає одне з перших місць у простоті використання та комфортності щодо шкіри. Виготовляється з рослинної сировини. Має сильну зволожуючу дію, не чинить подразнюючої та сенсibiliзуючої дії на шкіру й очі.

Монтанов L створює прямі емульсії. Отримують його з глюкози й жирних спиртів пальмової та кокосової олій. Завдяки покращеному складу креми на його основі мають відмінні сенсорні властивості, швидко вбираються та мають приємну консистенцію. Він також є емульгатором

нового покоління через свою фізіологічну схожість на ліпиди епідермісу.

Як жирова фаза в нашій рецептурі застосовувалися масло жожоба, сафролове та оливкове.

Як воднева фаза нами використано гідролат розмарину, що отриманий шляхом водної дистиляції розмарину.

Консервантом у рецептурі нашого косметичного продукту ми обрали речовину з широким спектром дії, високою антибактеріальною та протигрибковою ефективністю Cosgard. Це синтетичний консервант, але він один із небагатьох має сертифікат Ecosert BIO й тому широко використовується в органічній косметиці.

Фенілетилловий спирт у складі нашого крему відіграв роль віддушки та додаткового консерванту.

Як активну фазу до складу ми також додали певну кількість кераміду Ever LaSkin. Він розчиняється у воді, має в складі пептид у комплексі, укладений у ліпосомальну емульсію, яка майже ідентична епідермальній структурі. Його застосування в косметичних засобах призводить до відновлення водно-жирової мантії шкіри, він добре утримує вологу, розгладжує зморшки.

Емульгатори, що нами обрані в рецептурі косметичного засобу, випускаються в промислових масштабах, при цьому їх колоїдно-хімічні характеристики у відкритих джерелах відсутні. Знання цих характеристик необхідно для обґрунтованого підходу при розробці рецептур косметичних продуктів, тому далі ми представляємо експериментальні результати за їх значенням.

Як колоїдно-хімічні характеристики суміші емульгаторів ми розглядали такі параметри, як товщина адсорбційного шару, площа, яку займає одна молекула емульгатора в адсорбційному шарі на межі поділу фаз: водний розчин суміш емульгаторів – фаза масло.

Поверхневий натяг на межі водний розчин ПАР-масло визначався методом ваги-об'єму краплі за відомою методикою [5].

Для цього нами приготовлені розчини Beautyderm NP та Монтанов L з різними концентраціями.

Значення величини максимальної адсорбції визначалося з використанням класичного рівняння Гіббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}, \quad (1)$$

де  $\Gamma$  – питома адсорбція речовини, моль/м<sup>2</sup>, тобто надмірна концентрація розчиненої речовини в поверхневому шарі розчину порівняно з його

об'ємною концентрацією  $c$ ;  $\sigma$  – поверхневий натяг розчину, мН/м;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура, К.

Площа, яку займає одна молекула в адсорбційному шарі, буде становити:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_\infty \cdot N}, \quad (2)$$

де  $N$  – число Авогадро ( $6,023 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>);  $\Gamma_\infty$  – величиною граничної адсорбції, моль/м<sup>2</sup>.

Товщина адсорбційного моношару (довжина молекули), відповідно, визначалась так:

$$l = \frac{M \cdot \Gamma_\infty}{\rho}, \quad (3)$$

де  $M$  – молярна маса адсорбованої речовини, г/моль;  $\rho$  – густина адсорбованої речовини, кг/м<sup>3</sup>.

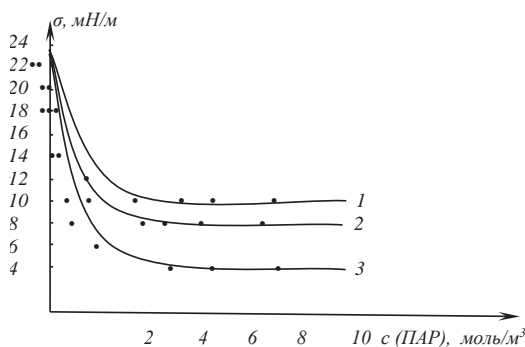
Параметри адсорбційних шарів наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

**Значення параметрів адсорбційних шарів водорозчинних ПАР на межі поділу фаз розчин-масло**

ПАР	$\Gamma_\infty \cdot 10^6$ , ммоль/м <sup>2</sup>	$S_0$ , нм <sup>2</sup>	$l$ , нм
Beautyderm HP	1,85	1,25	1,25
Монтанов L	3,57	8,31	3,54

Для визначення найкращого співвідношення Beautyderm HP і Монтанов L отримано ізотерми поверхневого натягу з різним співвідношенням їх співвідношеннями. Поверхневий натяг визначався на межі поділу фаз: суміш емульгаторів – фаза масло. Результати досліджень наведені на рис. 1.



**Рис. 1. Ізотерми поверхневого натягу суміші Beautyderm HP і Монтанов L: 1 – Beautyderm HP : Монтанов L = 1:1; 2 – Beautyderm HP : Монтанов L = 1:2; 3 – Beautyderm HP : Монтанов L = 2:1**

Дані рис. 1 свідчать, що найкращі результати спостерігаються при співвідношенні Beautyderm HP : Монтанов L як 2:1, оскільки ізотерма при цьому співвідношенні розташовується нижче за всіх.

Додаткову інформацію про колоїдно-хімічні властивості емульгаторів, що досліджувалися, на межі поділу фаз розчин – масло можуть дати константи рівняння Шишковського. Згідно із цим рівнянням, зниження поверхневого натягу зі зростанням концентрації ПАР має вигляд [5]:

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma = B \ln(1 + Ac), \quad (4)$$

де  $\sigma_0$  – поверхневий натяг чистого розчинника, мН/м;  $\sigma$  – поверхневий натяг розчину ПАР, мН/м;  $B$  – константа для всього гомологічного ряду ПАР;  $A$  – константа для відповідного ПАР;  $c$  – концентрація розчину ПАР, моль/л.

У диференціальній формі це рівняння набуває вигляду:

$$\frac{d\sigma}{dc} = \frac{BA}{1 + Ac}. \quad (5)$$

Величина гіббсівської адсорбції пов'язана з константами рівняння Шишковського таким чином:

$$\Gamma = \Gamma_\infty \cdot \frac{Kc}{1 + Kc}, \quad (6)$$

де  $K$  – константа адсорбційної рівноваги, що характеризує міжмолекулярну взаємодію в адсорбційних шарах, які складаються із суміші ПАР, м<sup>3</sup>/моль.

У таблиці 4 наведені константи рівняння Шишковського, що розраховані для кожного співвідношення суміші емульгаторів.

Таблиця 4

**Константи рівняння Шишковського для суміші ПАР у різних співвідношеннях**

Співвідношення Beautyderm HP : Монтанов L	Константа K, м <sup>3</sup> /моль
1:1	298
1:2	102
2:1	18

Результати таблиці 4 підтверджують, що збільшення вмісту в суміші Beautyderm HP зумовлює послаблення взаємодії в міжфазному шарі, а зростання вмісту Монтанов L призводить до різкого зростання величини K та посилення взаємодії. Отже, співвідношення Beautyderm HP : Монтанов L = 2:1 обрано оптимальним з точки зору цієї суміші.

**Висновки і пропозиції.** Отримані дані колоїдно-хімічних властивостей суміші двох емульгаторів Beautyderm HP і Монтанов L на межі поділу фаз: суміш емульгаторів – фаза олії, а саме константи рівняння Шишковського, які дали змогу визначити оптимальне їх співвідношення ПАР. Установлено оптимальну концентрацію суміші емульгаторів для отримання максимального стабілізуючого ефекту.

**Список літератури:**

1. Plat J., Baumgartner S., Vanmierlo S. Plant-based sterols and stanols in health & disease: “consequences of human development in a plant-based environment?”. 2019. *Progress in Lipid Research*. 2019. № 2. P. 87–102.
2. Apoptotic effect of a phytosterol-ingredient and its main phytosterol ( $\beta$ -sitosterol) in human cancer cell lines / A. Alvarez-Sala, A. Attanzio, L. Tesoriere, G. Garcia-Llatas, R. Barberá, A. Cilla. *International journal food science nutrition*. 2019. № 1. P 323–334.
3. Impact of lipid components and emulsifiers on plant sterols bioaccessibility from milk-based fruit beverages / A. Alvarez-Sala, G. Garcia-Llatas, A. Cilla, R. Barberá, L.M. Sánchez-Siles, M.J. Lagarda. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016. № 4. P. 5686–5691.
4. Physiological concentrations of phytosterols enhance the apoptotic effects of 5-fluorouracil in colon cancer cells / A. Alvarez-Sala, M.Á. Ávila-Gálvez, A. Cilla, R. Barberá, G. Garcia-Llatas, J.C. Espín. *Journal of Functional Foods*. 2018. № 3. P. 52–60.
5. Yildirim O.E., Basaran O.A. Analysis of the drop weight method. *Physics of Fluids*. 2005. Vol. 15. P. 23–35.

**Yefimova V.G., Pilipenko T.M., Matveeva A.V. DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF EMULSION COSMETIC PRODUCT WITH PHYTOSTEROLS BASED ON EMULSIFIERS OF NATURAL ORIGIN**

*The anti-age trend today is a global phenomenon. According to Euromonitor, in 2020, consumers spent \$ 7.7 billion on face creams that reduce wrinkles and strive to maintain a young appearance. New cosmetic products stimulate this trend.*

*Abyssinian mustard phytosterols are presented in our work. It is known that the main biological action of phytosterols is their anti-inflammatory properties, due to which they are used in anti-aging products. In clinical trials, phytosterols improved sun-damaged skin. Phytosterols also increase hyaluronic acid in the fibroblasts of the human body. After all, the decrease in the amount of collagen and hyaluronic acid with age leads to skin loss of moisture, which, in turn, leads to sagging skin, dryness and wrinkles. Phytosterols belong to the group of steroid alcohols.*

*Emulsions are one of the most common types of cosmetic products. They are the basis for various creams, cosmetic milk, some balms, cream hair dyes, vitamin complexes and more. This variety of emulsion forms is due to their specific properties, such as the ability to combine the oil and water phases, the possibility of introducing various active ingredients, as well as high consumer qualities.*

*The basis of modern cosmetic creams are emulsion systems such as oil – water. The stability of such emulsion systems is characterized by the magnitude of the surface tension at the interface between the emulsifier-oil phase. Currently, there is a constant development of new emulsion cosmetic products, where special attention is paid to their stability. It is known that surfactants (emulsifiers) and mixtures thereof are most often used as stabilizers of cosmetic emulsions. The analysis of literature data shows that the formulations of emulsion cosmetics are based on numerous experimental data, which significantly complicates and increases the cost of cosmetic products. Therefore, our work presents the development of a scientifically sound approach to creating new formulations of emulsion cosmetics.*

*Using colloid-chemical laws at the interface of two liquid phases, we selected an emulsion stabilizer, which consists of a mixture of emulsifiers of natural origin. We studied the behavior of individual emulsifiers and their mixtures at the interface between liquid-air and liquid-liquid phases. The method of obtaining aggregatively stable model emulsions was developed and their main colloid-chemical characteristics were investigated, namely, the relationship between the characteristics of the initial components and the properties of the final product was established.*

**Key words:** *phytosterols, emulsion, surface tension, emulsifier, adsorption, surface phenomena, Abyssinian mustard.*

# ТЕХНОЛОГІЯ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.934

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/38>**Фролова Н.Е.**

Національний університет харчових технологій

**Макалюк К.О.**

Національний університет харчових технологій

**Ковальова О.А.**

Національний університет харчових технологій

**Карпенко Л.М.**

Національний університет харчових технологій

**Залужний Т.В.**

Національний університет харчових технологій

## НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗШИРЕННЯ ПРОДУКЦІРЕСТОРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЗА АЮРВЕДИЧНИМИ РЕКОМЕНДАЦІЯМИ

Стаття присвячена дослідженням асортиментної продукції ресторанних технологій за актуальними напрямками персоналізованого харчування для людей різних конституцій (Вата-доша, Капха-доша, Пітта-доша) відповідно до аюрведичних рекомендацій. Розроблені страви – «Гарбузовий баланс Вата-доші» та «Зелений суп зі шпинатом та адигейським сиром» – спрямовані на забезпечення індивідуальних метаболічних потреб різних типів конституцій людського організму, приведення до балансу фізичних та психологічних відчуттів за рахунок правильно підбраного складу обґрунтованої сировини, в тому числі композиції прянощів.

Проаналізовано технологічні прийоми виготовлення аюрведичних страв, зокрема аюрведичного соусу з печеного гарбуза за такими трьома основними етапами технології, як: підготовка гарбузової основи, підготовка композиції прянощів – кардамон, часник, імбир сушений, купажування за рецептурою.

У розробленій рецептурі супу «Зелений суп зі шпинатом та сиром» використано цілі листя шпинату городнього, підбрано композицію прянощів, зокрема імбир, асафетида, куркума, мускатний горіх та каєнський перець, які підтримують рівновагу трьох дош. Додатковим інгредієнтом стало кунжутне насіння як одна із головних та найдавніших олійних культур, що позитивно впливає на баланс усіх трьох дош в організмі людини. Було охарактеризовано аюрведичні властивості складників рецептури з підтвердженням їхньої оздоровчої дії на людський організм.

Запропоновані науково обґрунтовані розробки сприятимуть організації здорового харчування людей різних конституцій за аюрведичними рекомендаціями, дозволять розширити асортимент страв аюрведичної кулінарії у меню ресторанних підприємств, аюрведичних центрів, привернуть увагу до Аюрведи – стародавньої науки про здоровий розум, наміри, життя людини.

**Ключові слова:** харчування, Аюрведа, конституція, доша, соус, суп, прянощі.

**Постановка проблеми.** Жодні ліки, жодний набір якісних продуктів не зможуть людину почуватися здоровою, якщо її раціон харчування далекий від індивідуальних потреб, закладених природою. Без сумнівів, кожна людина біохімічно відрізняється від інших особистим рівнем травної активності, кількістю гормонів, ферментів і нейромеді-

аторів. У реальному житті індивідуальні потреби кожної людини істотно відрізняються.

Проведення наукових досліджень у напрямі забезпечення індивідуальних метаболічних потреб людини правильно підібраним харчуванням, обґрунтованим раціоном та корисними стравами є пріоритетною стратегією

Європейського бюро ВООЗ, Ради Європи та Євросоюзу [1].

У завданнях цієї стратегії перебуває сучасна дієтологія з розробкою нових технологічних рішень виробництва спеціалізованих харчових продуктів, у тому числі дієтичних та аюрведичних страв з імуномодельюючою, адаптогенною, антиоксидантною, загальнозміцнювальною дією, які є найбільш привабливими для споживачів.

Розроблення та впровадження сучасних наукових розробок спрямовуються на мотивацію населення до споживання безпечних, збалансованих продуктів, зміцнення захисних сил організму, зниження ризику впливу токсичних сполук і несприятливих економічних чинників.

Аюрведична наука харчування зосереджена на користі персоналізованих програм харчування людини для відновлення щоденного зношення організму відповідно до індивідуальних конституційних характеристик людського організму [2]. Організація раціону людини відповідно до її індивідуальних метаболічних потреб дозволяє перетворити харчування на один зі складників дієвої системи оздоровлення та омолодження людини. Такий підхід є інноваційним у ресторанному бізнесі, крафтових виробництвах, аюрведичних центрах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основною концепцією аюрведичної науки є використання власного природного потенціалу організму людини до самоцілення, коли лікувати потрібно не хворобу, а усувати причину її появи. Тому харчування за положеннями Аюрведи є індивідуальним та слугує запорукою здоров'я протягом усього життя [3].

За положеннями Аюрведи кожна людина має своє Пракриті – унікальну конституцію людини (Вата-доша, Пітта-доша, Капха-доша), що формується з моменту народження і супроводжує людину протягом усього життя. Кожна людина є комбінацією трьох дош у тілі людини [2].

Отже, суттю харчування за Аюрведою є впливовість харчових продуктів не тільки на інтенсивність травлення, засвоєння харчових речовин, а й на свідомість людини, оскільки саме рівень свідомості вибирає якісні продукти та кількість споживаної людиною їжі [4].

За аюрведичними рекомендаціями в усьому світі складаються персоналізовані карти з урахуванням індивідуальних особливостей людини, її звичок і способу життя. Складання таких карт орієнтоване на врахування всіх особливостей конституції людини.

Водночас на сучасному українському ринку відбувається стабільне зростання асортименту соусів. Більшість з них представлена традиційними, класичними, усім відомими та популярними соусами. Інша частина сегменту соусів представлена імпортною продукцією та являє собою соуси з різноманітними комбінаціями інгредієнтів та великої кількості різновидів смаку. Така продукція є мало відомою для українських споживачів, проте такі інноваційні продукти є двигуном продажу та основним джерелом доходу [5].

Зацікавленість виробництвом соусної продукції зумовлена тим, що комбінуванням сировинних компонентів можна розширювати асортимент соусів, регулювати собівартість, ціну та рентабельність виробництва [6].

Говорячи про актуальність такого напрямку дослідження, варто розглянути місце соусів у аюрведичній кулінарії. За смаком вони нагадують варення, солодке, але гостре. Таке поєднання смаків зробило соуси (чатні) фаворитами у всьому світі. Їхня головна роль полягає в розпалюванні агні (вогню травлення), щоб допомогти повноцінному засвоєнню складників їжі. Соуси і чатні їдять у невеликих кількостях [3].

За рекомендаціями Аюрведи до саттвічних (збалансованих) продуктів належить гарбуз з властивостями позитивної дії на травлення, тканини тіла та розуму. Страви з гарбуза можуть заспокоїти нервову систему, збалансувати розлади в організмі, знінуть діарею та запор, збалансують гарячі та сухі емоції, такі як гнів і тривога [7].

Імбир – пряність, яка відновлює імунітет, підвищує психічну стійкість у стресових ситуаціях, усуває спазми в кишечнику. Крім того, він прекрасно активізує травлення. Кардамон добре лікує ішемічну хворобу серця, знижує активність щитовидної залози у разі підвищення її функції, має відхаркувальну і спазмолітичну дію у разі бронхітів [8].

Часник належить до тамасічної і раджастичної їжі, що означає їдку їх природу, приводить до збільшення жовчі і вогню в організмі. Його не рекомендують додавати в щоденний раціон [3].

Як стверджують аюрведичні джерела [3; 4; 7], у чорному перці збалансовані і врівноважені всі п'ять стихій – вітер, вогонь, ефір, земля і вода. Ця спеція підвищує внутрішнє тепло і розвіює внутрішній холод, ця якість відмінно допомагає під час застуди. А ще чорний перець здатний покращувати травлення, циркуляцію крові та обмін речовин.

Велике значення мають перші страви у харчуванні людини, оскільки вони забезпечують організм

енергією та всіма необхідними харчовими речовинами, допомагають активізувати метаболізм і кровообіг, впливають на відновлення водно-солевого балансу, що необхідно для контролю над артеріальним тиском, є профілактикою гастритів і холециститів. Однак приготування супів – це трудомісткий процес, для його прискорення та збереження у супах максимальної кількості корисних речовин необхідно застосувати сучасні види технологічного обладнання, розробляти рецептури та ресурсозберігаючі технології приготування супів [9].

За фізичними та хімічними показниками суп є складною сумішшю, що одержана природним шляхом, може вважатися найбільш сприятливою для засвоєння організмом. Екстрактивні речовини бульйону – це ферменти, які сприяють травленню. Рідка консистенція супу робить його м'якшою їжею для шлунка, хоча деякі супи містять велику кількість спецій. Самі спеції надають супам особливий смак, ніби завершують композицію. Спеції збуджують смакові рецептори та сприяють виділенню шлункового соку та травних ферментів [10].

**Формулювання цілей статті.** Метою написання статті є наукові дослідження магістрів освітньо-професійної програми «Технології аюрведичних харчових продуктів» Національного університету харчових технологій з розширення продукції ресторанних технологій, виготовленої за аюрведичними рекомендаціями, зокрема, аюрведичних перших страв та оригінальних соусів з композиціями спецій і прянощів для профілактики дисбалансу людей конституції Вата-доша, Пітта-доша, Капха-доша.

У дослідженнях використано органолептичний, фізичний, фізико-хімічний, мікробіологічний та розрахунковий методи [11].

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Технологія аюрведичного соусу на основі гарбуза – одного з рекомендованих інгредієнтів Аюрведи – передбачає його запікання з розкриттям смакоароматичного потенціалу.

Для розробки рецептури нового соусу з печеного гарбуза використано композиція прянощів, зокрема: кардамон, часник та імбир у сушеному вигляді.

Технологія приготування аюрведичного соусу з печеного гарбуза включає у себе три основні етапи: підготовку гарбузової основи, підготовку композиції прянощів та комбонування всіх інгредієнтів з утворенням кінцевого продукту.

Для підбору оптимальних розмірів нарізаних скибок гарбуза використано метод порівняння чотирьох зразків різного розміру: № 1: довжина – 5 см, ширина – 2 см; № 2: довжина – 4 см, ширина – 2 см;

№ 3: довжина – 5 см, ширина – 1 см; № 4: довжина скибки – 4 см, ширина – 1 см. Після запікання проводився сенсорний аналіз (табл. 1).

Таблиця 1  
**Органолептична оцінка за розмірами нарізання гарбуза**

№	Критерій	Зразок №			
		1	2	3	4
1	Смак	4,9	5	4,8	4,85
2	Запах	4,7	4,9	4,7	4,7
3	Колір	4,8	4,9	4,85	4,8
4	Консистенція	4,9	5	4,8	4,85
Загальна оцінка		4,83	4,95	4,79	4,8

З результатів зрозуміло, що оптимальним варіантом є зразок № 2, а отже, гарбуз слід нарізати на скибки довжиною 4 см та шириною 2 см.

Досліджено оптимальну кількість гарбузу «Мускатного» у страві. Було підібрано 5 варіантів (табл. 2).

Таблиця 2  
**Вміст гарбуза у дослідних зразках**

Складники рецептури	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
	Вміст, % маси				
Гарбуз	55,00	60,00	65,00	58,00	62,00

Аналіз отриманих результатів сенсорного оцінювання засвідчив, що оптимальною кількістю гарбуза є 58%, тобто найкращим є зразок № 4, сенсорна оцінка якого була найвищою.

Процес запікання гарбуза відбувається у пароконвектоматі. Найкращим варіантом температурного режиму є 190°C, тривалість випікання – 45 хвилин.

Для створення композиції прянощів із внесенням до соусу з печеного гарбуза досліджували 5 зразків з різним відсотком додавання кожної прянощі. У табл. 3 наведено кількісні пропорції прянощів у кожному зразку.

Таблиця 3  
**Кількісні пропорції прянощів у зразках соусу**

Складники рецептури	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
	Вміст, % маси				
Кардамон	2,6±0,8	2,3±0,6	2,0±0,1	1,8±0,1	1,5±0,09
Часник	1,0±0,08	1,4±0,1	1,4±0,09	1,0±0,02	1,4±0,06
Імбир	0,8±0,4	1,0±0,2	1,0±0,05	1,1±0,07	0,9±0,06

Провівши аналіз результатів органолептичної оцінки соусу з різними зразками композицій прянощів, визначено, що найкращим є зразок № 3. А отже,

оптимальною пропорцією композиції прянощів буде кардамон – 2%, часник – 1,4% та імбир – 1,0%.

Характеристики соусу «Гарбузовий баланс Вата-доші» проілюстровані у таблиці 4.

Таблиця 4  
Характеристика соусу «Гарбузовий баланс Вата-Доші»

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Соус рівномірно викладений у соусник.
Колір	Оранжево-коричневий.
Запах	Притаманий гарбузу та східним прянощам. Без сторонніх запахів.
Смак	Притаманий гарбузу, маслянистий, з присмаком прянощів. Без сторонніх присмаків.
Консистенція	Однорідна, в'язка, еластична.
Масова частка жиру, %	9,5 ±0,9
Масова частка вологи, %	52,4±1,8
Кислотність, %	0,3±0,2
Стійкість емульсії, %	99,0±1,0

Розроблений соус «Гарбузовий баланс Вата-доші» призначений для споживання людьми з домінуючою конституцією Вата-доша.

Здійснено наукову розробку заправного супу. Розроблена гаряча страва на основі шпинату городнього та кунжутного насіння.

Корекція рецептури супу у разі дисбалансу Капха-доші відбувається композицією прянощів. В аюрведичних рекомендаціях дотримуються гармонізації впливу шести смаків на відповідь організму після

споживання страви [4]. Досліджено характеристики шпинату городнього для приготування першої страви для людини конституції Капха-доша (табл. 5).

Таблиця 5  
Результати дослідження шпинату городнього Красень Полісся

Показники	Результат
Масова частка вологи, %	92,2
Вміст органічних кислот (у перерахунку на яблучну кислоту й абсолютно суху сировину), %	3,82±0,08
Титрована кислотність, °Т	17,3±1,0
Вміст аскорбінової кислоти (вміст у перерахунку на абсолютно суху сировину), %	0,18±0,01
Втрата в масі у разі висушування, %	7,76±0,37

Результати засвідчують перспективність використання шпинату городнього в рецептурі першої страви для балансу Капха-доші.

Досліджено доцільність використання у досліджуваній страві шпинат листя у цілому вигляді (1-й зразок) та шпинат листя у подрібненому вигляді (смужки шириною 1 см) – 2-й зразок із сенсорним оцінюванням (табл. 6).

Таблиця 6  
Сенсорний аналіз шпинату за двома варіантами подачі у страві після варіння

№	Показник	Зразок 1-й	Зразок 2-й
1	Зовнішній вигляд	4,8	3,9
2	Колір	4,5	4,5
3	Запах	4,0	4,0
4	Консистенція	4,3	3,5
5	Смак	4,5	3,8
Загальна оцінка		4,42	3,94

Таблиця 7  
Рецептура першої страви «Зелений суп зі шпинатом та адигейським сиром» з балансом дош за аюрведичними рекомендаціями

№ п/п	Назва сировини	Маса, г нетто		Вимоги до якості
		5 порцій	1 порція	
1.	Шпинат	250	50	ДСТУ 8061:2015
2.	Картопля	260	52	ДСТУ 4506:2005
3.	Морква	230	46	ДСТУ 7035:2009
4.	Цибуля ріпчаста	160	32	ДСТУ 3234-95
5.	Селера	180	36	ДСТУ 8596:2015
6.	Болгарський перець	140	28	ДСТУ 2659-94
7.	Кунжутне насіння біле	18	3,6	ДСТУ 7012:2009
8.	Адигейський сир	170	34	ДСТУ 4395:2005
9.	Куркума	3	0,6	ГОСТ ISO 55622017
10.	Лавровий лист	0,2	0,04	ГОСТ 17594-81
11.	Асафетида	1,25	0,25	Сертифікат якості
12.	Каенський перець	1,6	0,32	ДСТУ ISO 972:2008
13.	Мускатний горіх	1,5	0,3	ДСТУ 7411:2013
14.	Сіль кухонна	7	1,4	ДСТУ 3583:2015
15.	Вода	1000	200	ДСТУ 7828:2008
16.	Масло Гхі	25	5	ГОСТ 32262-2013
	Вихід		250	



Встановлено, що доцільніше використовувати у страві листя шпинату в цілому вигляді. За зовнішнім виглядом та смаком суп з цілим листям шпинату мало привабливіший вигляд, ніж з подрібненим. Консистенція подрібненого шпинату – більш розварена, що майже не відчувається під час дегустації.

Досліджували оптимальну кількість шпинату (% маси) у страві: зразок № 1 – 20%, зразок № 2 – 27%, зразок № 3 – 33%, зразок № 4 – 42%. За бальною оцінкою найвищий результат отримав зразок № 3 із закладанням шпинату у страву у кількості 33%.

Проведені дослідження кількості внесення композиції прянощів із реалізацією результатів у рецептурі «Зеленого супу зі шпинатом та сиром» (табл. 7).

Рекомендовано лавровий лист додавати під час приготування бульйону. В готовій страві лавровий лист не подається. Куркума – за приписами Аюрведи [4] має варитися разом з картоплею. Каєнський перець, мускатний горіх та асафетиду слід попередньо змішувати у посудині, просмажувати

близько 1–2 секунд на гарячій сковороді разом з маслом гхі для розкриття аромату та смаку.

**Висновки.** Розглянуто вплив включення до раціону українців дієтичних страв, розроблених за аюрведичними рекомендаціями, зокрема «Гарбузовий баланс Вата-доші» та «Зелений суп зі шпинатом та адигейським сиром». Технологічна та функціональна доцільність виробництва полягає у забезпеченні індивідуальних метаболічних потреб різних типів конституцій людського організму – Вата-доша, Пітта-доша, Капха-доша, із приведенням до балансу фізичних та психологічних відчуттів. Таке завдання також забезпечує правильно підібраний склад обгрунтованої сировини, в тому числі композиції прянощів.

Розроблені аюрведичні страви рекомендовані для включення до персоналізованого харчування осіб усіх трьох основних типів конституцій (Дош). Структура українських закладів харчування дозволяє готувати аюрведичні страви, організувати їх виробництво на великих та малих підприємствах, спеціалізованих закладах. Вони мають увійти до харчування українців та органічно доповнити склад традиційної української кухні.

#### Список літератури:

1. Європейська програма роботи на 2020–2025 речовин. Спільні дії для міцнішого здоров'я. URL: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345924/WHO-EURO-2021-1919-41670-59496-ukr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
2. Агніваса А. Введение в Аюрведу / пер. с англ. Москва : Профит-Стайл, 2011. 160 с.
3. Козіонова А.В. Ведична кулінарія для сучасних господинь. 12-е изд. Москва : Філ. кн., 2015. 272 с.
4. Янакананда. Аюрведа – питание и сознание: рецепты и советы для здоровья тела, духа и души / пер. с нем. Янакананда. Москва–Санкт-Петербург : Диля, 2010. 176 с.
5. Добрынина Е.С. Разработка новых рецептов соусов и дрессингов функционального назначения. *Пищевая промышленность*. 2010. № 8. С. 13–14.
6. Технологія продукції в закладах ресторанного господарства : підручник / С.В. Іванов, В.А. Домарецький, В.Ф. Доценко та ін. ; за ред. С.В. Іванова. МОН України, Нац. ун-т харч. технол. Київ : НУХТ, 2013. 430 с.
7. Амадеа Морнингстар. Аюрведическая кулинария для западных стран. Как использовать принципы аюрведы в приготовлении знакомых блюд. URL: <http://kunpendelek.ru/library/ayurveda/ayurvedic-dietetics/ayurvedic-cooking-western/>.
8. Васант Лад, Фроули Давид. Травы и специи. / Пер. с англ., 6-е издание. Москва : Саттва, 2006. 320 с.
9. Технология приготовления первых блюд : учебное пособие для студентов всех форм обучения, обучающихся по направлению 19.03.04 «Технология продукции и организация общественного питания» / сост. Д.В. Купчак. Хабаровск : РИЦ ХГУЭП, 2018. 108 с.
10. Ивлева Л.А. Классические первые блюда. *ЛитМир – Электронная Библиотека*. URL: <http://maxima-library.org/year/b/120624?format=read>.
11. Фролова Н.Е. Прикладні методи досліджень у ресторанному господарстві : Курс лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 181 «Харчові технології», освітньо-професійної програми «Технології у ресторанному господарстві», денної та заочної форм навчання / Київ : НУХТ, 2021. 96 с.

#### Frolova N.E., Makaliuk K.O., Kovalova O.A., Karpenko L.M., Zaluzhnyi T.V. SCIENTIFIC RESEARCH OF EXPANSION OF RESTAURANT TECHNOLOGIES ACCORDING TO AYURVEDIC RECOMMENDATIONS

*The article is devoted to the study of assortment products of restaurant technologies in up-to-date areas of personalized nutrition for people of different constitutions (Vata-dosha, Kapha-dosha, Pitta-dosha) in accordance with Ayurvedic recommendations. The developed dishes – “Pumpkin Balance of Vata-Doshi” and*

*“Green Soup with Spinach and Adygay cheese” are aimed at providing individual metabolic needs of various types of constitutions of the human body, bringing to balance physical and psychological sensations with a properly selected composition of well-grounded raw materials, including composition of spices.*

*The technological processes of production of Ayurvedic dishes are analyzed, in particular, Ayurvedic sauce from roasted pumpkin according to three main stages of the technology: preparation of pumpkin base, preparation of spice composition – cardamom, dried garlic, dried ginger.*

*In the developed recipe of “Green soup with spinach and cheese”, garden spinach was used. In addition to spinach, a composition of spices, in particular ginger, asaphetida, turmeric, nutmeg and Kayenne pepper, which maintain the balance of three dosha, were selected. Sesame seeds have been used as additional ingredient as it is one of the main and oldest oilseeds, which has a positive impact on the balance of all three dosha in the human body. Ayurvedic properties of the components of the formulation were characterized with confirmation of their healing effect on human body.*

*Organoleptic, physical, physicochemical and calculation methods have been used in the study.*

*Proposed scientifically based developments will contribute to the organization of healthy nutrition of people of different constitutions according to Ayurvedic recommendations, expand the range of Ayurvedic cooking dishes in menu of restaurant enterprises, Ayurvedic centres, draw attention to Ayurveda, the ancient science of a healthy mind, intentions, human life.*

**Key words:** *food, Ayurveda, constitution, dosha, sauce, soup, spices.*

УДК 664.934

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/39>**Ющенко Н.М.**

Національний університет харчових технологій

**Маринін А.І.**

Національний університет харчових технологій

**Чернова В.Д.**

Національний університет харчових технологій

**Савіцька А.О.**

Національний університет харчових технологій

**Новіков В.В.**

Національний університет харчових технологій

**Шевченко В.Ю.**

Національний університет харчових технологій

**Плюта В.В.**

Національний університет харчових технологій

## РОЗРОБКА РЕЦЕПТУР ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ З РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ АЮРВЕДИЧНОЇ ДІЄТОЛОГІЇ

*Обґрунтовано актуальність розробки нових видів аюрведичних овочевих паштетів із використанням вітчизняної сировинної бази та розроблено рекомендації щодо компонентного складу овочевого паштету для балансування Пітта-доші.*

*Визначено технологічні параметри підготовки та раціональне співвідношення компонентів овочевої основи – броколі : гарбуз : морква як 36 : 25 : 8,5 та обґрунтовано додаткове введення соку лайму в кількості 0,5%.*

*Обґрунтовано доцільність та визначено раціональну кількість введення до складу рецептури овочевого паштету порошку шпинату сублімованого у кількості 10% від маси суміші.*

*Визначено, що порошок шпинату сублімований незначно впливає на показник вологоутримуючої здатності овочевого паштету: у разі додавання 12% порошку шпинату сублімованого вологоутримуюча здатність підвищувалась лише на 10%, а показник активності води знижувався від  $0,969 \pm 0,001$  до  $0,963 \pm 0,001$  (8% порошку шпинату), що зумовлено переважним вмістом структурних полісахаридів та невисоким вмістом крохмалистих сполук у складі цього зеленого овочу.*

*Доведено, що введення до складу рецептури овочевого паштету для Пітта-доші кокосового масла у кількості 5% надасть продукту ніжної пластичної консистенції та охолоджуючих властивостей для балансу Пітта-доші.*

*Визначено раціональну кількість введення кокосового масла – 5% та подрібнених горіхів (волоського та мигдального) у кількості 8% (співвідношення 1:1).*

*Розроблено комбінацію прянощів корінь імбиру : кардамон як 3,5:0,5 та визначено раціональну кількість її введення – 4,0%.*

*Виробництво овочевого паштету з композицією горіхів та прянощів дозволить значно розширити асортимент здорових страв на українському ринку, оздоровить організм українців різного віку та збільшить попит на здорове харчування.*

**Ключові слова:** овочевий паштет, композиція горіхів та прянощів, аюрведичне харчування, Пітта-доша.

**Постановка проблеми.** Одним з найважливіших завдань розвитку сучасного світу є постійне вдосконалювання вже наявних рецептур задля

підвищення харчової цінності, економічної ефективності виробництва та привабливості для споживачів. Українські та іноземні науковці щодня

працюють над новими рецептурами, технологічними прийомами із залученням інноваційних функціонально-технологічних інгредієнтів, поєднанням «непоєднаних» продуктів задля головної цілі – покращити рівень харчування населення [1]. У сучасному ритмі життя люди не встигають приділяти своєму здоров'ю необхідний час, тому віддають перевагу «швидкій» їжі, що часто має високу калорійність та позбавлена біологічно активних речовин натуральних харчових продуктів внаслідок технологічної обробки та використання синтетичних добавок [2].

Першочергово від неправильного харчування страждає травна система, внутрішні органи людини, потім цей стан відображається на зовнішньому вигляді, а набуті хвороби на рівні ДНК передаються наступному поколінню.

Тому вимогою сьогодення є удосконалення культури харчування у напрямі раціоналізації раціону відповідно до індивідуальної конституції, ритму та умов проживання: особливостей метаболізму, ритму життя, віку, виду професійної діяльності, регіону та кліматичних умов проживання тощо.

Допомогти у цьому питанні можуть холістичні системи оздоровлення людини, однією з яких є аюрведична наука. Аюрведа у перекладі зі санскриту означає «наука про життя». Знаючи та постійно вдосконалюючи свої знання в цій галузі, у людини є високі шанси на зцілення та підтримання здоров'я протягом життя. Аюрведа є дієвим методом лікування хронічних захворювань, що виникають у зв'язку з неправильним способом життя, тривалим фізичним та психоемоційним перенавантаженням, несприятливим впливом зовнішнього середовища тощо [3].

Аюрведичне вчення про людський організм ґрунтується на підтриманні протягом життя індивідуальної конституції людини, що закладається на генетичному рівні задовго до народження і є основою персоніфікованого харчування задля підтримання рівноваги трьох дош – Вати, Пітті та Капхи. Вони присутні у кожній клітині тіла людини та впливають на психологічний стан, здатність до перетравлювання їжі, комунікацію з навколишнім світом та його сприйняття, поведінку у соціумі, схильність до набуття захворювань [4].

Пріоритетне місце в аюрведичній системі оздоровлення людини посідає збалансоване харчування. Завдяки грамотному коригуванню раціону та налагодженню режиму дня організм отримуватиме максимум користі від вживання продуктів. Аюрведа акцентує увагу саме на пер-

соніфікації харчування, адже кожна людина має власні потреби в їжі.

Одне з головних місць в аюрведичному харчуванні належить стравам з овочів. Овочеві паштети є смачною закускою, що може бути включена до раціону вегетаріанського харчування, а додаткові компоненти (горіхи, спеції, приправи) збагатять та покращать харчову цінність паштету. Завдяки своїй консистенції паштети зручно намащувати на хліб, вони легше перетравлюються та можуть бути рекомендовані для включення до раціону спеціального харчування у разі порушень роботи шлунково-кишкового тракту, дитячого та геродіетичного харчування [5].

За результатами досліджень, що проводилися у 2019 році міжнародною дослідницькою компанією Ipsos за ініціативою компанії «Данон» в Україні серед людей різного віку та статі, виявилося, що дорослі українці споживають майже вдвічі менше овочів (175 г замість рекомендованих 300 г на день) [6]. Така статистика свідчить про негативний вплив на рівень та якість життя українського населення, організм людини страждає від дефіциту вітамінів та мінералів, нестачі клітковини та природних «санітарів» для кишок.

Крім того, перспективність удосконалення технологій та розробки нових видів овочевих паштетів підкріплюється різноманіттям та доступністю регіональної овочевої сировини в Україні, а введення до складу рецептур горіхів та прянощів дозволить збагатити продукти комплексом поживних, біологічно активних речовин та надати їм оздоровчої дії.

Отже, розроблення рецептур нових видів овочевих паштетів з композицією горіхів та прянощів є актуальним напрямом наукових досліджень, що дозволить розширити асортимент продуктів здорового харчування, а використання вітчизняної сировинної бази дозволить підвищити ефективність виробництва, що матиме практичне значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Натепер є безліч паштетів саме тваринного походження, протягом року виробники дивують споживачів новим поєднанням тваринної сировини (свинина, курятина, індичка, кролик тощо) з різноманітними спеціями. Відкриваються нові смакові поєднання, які підкорюють серця мільйонів людей [7]. На жаль, склад таких паштетів не завжди чинить позитивний вплив на організм людини. Введення до складу рецептур консервантів, стабілізаторів, гідрогенізованих рослинних жирів, емульгаторів, підсилювачів смаку та інших добавок знижує харчову цінність кінцевого

продукту. Тому актуальним є використання природного потенціалу рослинної сировини з одночасним зниженням вмісту кухонної солі.

Перспективним є введення до складу рецептур овочевих паштетів горіхів, що забезпечить збагачення, підвищить збалансованість складників та дозволить перетворити паштет на повноцінну страву.

Традиційним і відповідно найбільш поширеним в Україні є **волоський горіх**. До складу ядер волоського горіху входять органічні й мінеральні сполуки: жири, білки, вуглеводи (глюкоза, сахароза, декстрини, крохмаль), дубильні та ароматичні речовини, вітаміни, клітковина, зола. У своєму складі містить понад 80 макро- і мікроелементів: залізо, магній, йод, кальцій, кобальт, цинк, мідь та інші. До складу ефірної олії входять ліолева (60–65%), олеїнова (20%), ліоленова (10–23%), пальмітинова (6%), стеаринова (1%) жирні кислоти. Вміст ефірної олії до 0,4%. Волоський горіх має протизапальні властивості, стимулює роботу мозку, знижує рівень холестерину в крові, зміцнює судини та капіляри, відновлює сили організму [8].

**Мигдальний горіх** – їстівні ядра насіння або самі насіння однойменної рослини. Вирощується в Каліфорнії, Китаї, Західному Тянь-Шані, Криму, на Кавказі, у виноградниках Словаччини, в Чехії і Південній Моравії. У складі масла мигдалю містяться мононенасичена олеїнова (від 65 до 83%) і поліненасичена ліолева кислоти (від 16 до 25%), а також глікозид амігдалин, вітаміни В<sub>2</sub>, Е, каротин, біофлавоноїди, різні мінеральні та білкові речовини, цукор. Мигдаль запобігає серцево-судинним хворобам, зміцнює нервову систему, регулює тиск, підтримує нормальний рівень холестерину, активує природні захисні сили організму [9].

Необхідним складником аюрведичного продукту чи кулінарної страви є прянощі [10]. Прянощі допомагають перетравлюванню та вдалому засвоєнню їжі, а також звільняють організм від токсинів. Прянощами служать коріння, кора і насіння деяких рослин, які використовують повністю, у подрібненому або меленому вигляді. Майстерний підбір прянощів підкреслює приховані смакові відтінки звичайних продуктів. На Пітту заспокійливо діють прянощі, що виявляють охолоджуючий ефект, – м'ята кучерява, перцева, котяча, коріандр, свіжий корінь імбиру, фенхель, кумин, апельсинова шкірка, свіжий базилік лимонний, куркума, у помірних кількостях ваніль, кардамон, кориця, петрушка, кріп, перець чорний та шафран [11].

На підставі рекомендацій аюрведичної науки щодо включення окремих прянощів до складу композицій та результатів попередніх досліджень у складі овочевого паштету вирішено було використовувати свіжий корінь імбиру та кардамон. Композиція сформована за критеріями поєднуваності з овочевою основою, вмістом біологічно активних речовин та доступністю на українському ринку.

**Імбир** (*Zingiber zerumbet*) – однодольна вічнозелена рослина родини імбирних, поширена в країнах із субтропічним та тропічним кліматом, таких як Індія, Китай, Західна Африка, Австралія. Висота рослини може досягати до 1,5–2 метрів, у медичній практиці та кулінарії використовують коріння. В Україні імбир висаджують у парниках, тому свіжий корінь імбиру доступний протягом усього календарного року. Характерним прямим ароматом корінь імбиру завдячує вмісту ефірної олії (вміст 0,02%), до складу якої входять гінгерол, ліналол, камфел, цитраль тощо. Він багатий незамінними амінокислотами, містить клітковину, крохмаль, вітаміни С, А, групи В, мінеральні елементи – натрій, магній, цинк, калій, фосфор, залізо. Імбир – гарний антисептик, допомагає травленню, знімає біль та спазми, стимулює кровообіг [12].

**Кардамон** (*Elettaria cardamomum*) – це багаторічна трава сімейства імбирних. Головними експортерами прянощі є Індія та Гватемала, також її вирощують у країнах із субтропічним кліматом, таких як: Папуа, В'єтнам, Сальвадор, Лаос, Камбоджа, Танзанія тощо. У зернах кардамону міститься гінгерол (додає прянощі пекучий смак), вітаміни групи В, Е, А, С та мікроелементи, ефірна олія (3–7%), до складу якої входять  $\alpha$ -терпініл-ацетат,  $\alpha$ -терпінеол, ліналоол, ліналіл-ацетат, неролідол, карвон ацетат, терпінен-4-ол та певна кількість жиру. Кардамон є натуральним антиоксидантом, зміцнює імунітет, знижує рівень холестерину, покращує обмін речовин, сприяє виведенню токсинів, виявляє антиоксидантну та антимікробну дію [13].

**Постановка завдання.** Основною метою наукових досліджень є обґрунтування рецептурного складу овочевого паштету з горіхами та прянощами у відповідності до балансування Пітта-доші.

**Виклад основного матеріалу.** Відбір проб і підготовку їх до аналізу здійснювали відповідно до ДСТУ 7963:2015; органолептичну оцінку проводили за ДСТУ 7040:2009; масову частку сухих речовин – за ДСТУ 8402:2015; кислотність – за ДСТУ 4957:2008; реологічні властивості – на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2».

Дослідження активності води ( $A_w$ ) (відносної вологості, %) здійснювали на аналізаторі активності води «HygroLab 2» (Rotronic, Швейцарія) за температури  $20^\circ\text{C}$  у діапазоні вимірювання  $0 \dots 1 A_w$  ( $0 \dots 100\% \text{ rh}$ ), вологоутримуючу здатність – гравіметричним методом Грау-Хамма в модифікації А.А. Алексєєва.

Для виробництва овочевого паштету використана така сировина: броколі згідно із ДСТУ 8147:2015, гарбуз згідно із ДСТУ 3190-95, морква свіжа згідно із ДСТУ 7035:2009, шпинат сублімований згідно із ТУ У 10.3-2407304977-001:2020, лайм згідно із ДСТУ ЕЭК ООН FFV-14:2007, мигдальні горіхи згідно із ДСТУ ЕЭК ООН DDF-06:2007, волоські горіхи згідно із ДСТУ 8900:2019, кокосове масло ДСТУ 4562:2006, корінь імбиру згідно із ДСТУ ISO 1003:2018, кардамон згідно із ДСТУ 8006:2015, сіль йодована згідно із ДСТУ 4307:2004.

Приготування модельних зразків здійснюють у такій послідовності: броколі розбирають на суцвіття та зрізають жорсткі частини. З гарбуза зчищають шкірку та ріжуть кубиком  $5 \times 5$  см. Моркву очищають та ріжуть кільцями товщиною 2 см. Лайм очищають від шкірки та вичавлюють

сік за допомогою соковитискача для цитрусових. Корінь імбиру очищають та натирають на тертці. Волоські горіхи очищують від шкірки, підсушують за температури  $120 \pm 5^\circ\text{C}$ , після чого подрібнюють до розміру частинок не більше  $2,0 \pm 0,5$  мм. Мигдальні горіхи замочують у воді на 15 хвилин та зачищають шкірку. Зерна кардамону звільняють від плодової оболонки, подрібнюють у ступці до однорідної маси.

Термічне оброблення овочів здійснюють у мультиварці до готовності,  $15 \pm 3$  хв. за температури  $115\text{--}120^\circ\text{C}$ . Потім складається суміш для виробництва паштету: готові овочі, сублімований шпинат, підготовані імбир та горіхи подрібнюють у блендері протягом  $2 \pm 0,5$  хвилин до однорідної консистенції. До суміші додають сік лайму, кокосове масло (підігріте до температури  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ ), мигдальні та волоські горіхи, кардамон та сіль. Повторно обробляють у блендері протягом однієї хвилини. Протирають паштет через металеве сито та охолоджують до температури  $16 \pm 2^\circ\text{C}$ .

**Виклад основного матеріалу.** На першому етапі визначалось раціональне співвідношення овочевої сировини у складі рецептури овочевого паштету. Для цього були приготовані модельні

Співвідношення  
броколі: гарбуз: морква

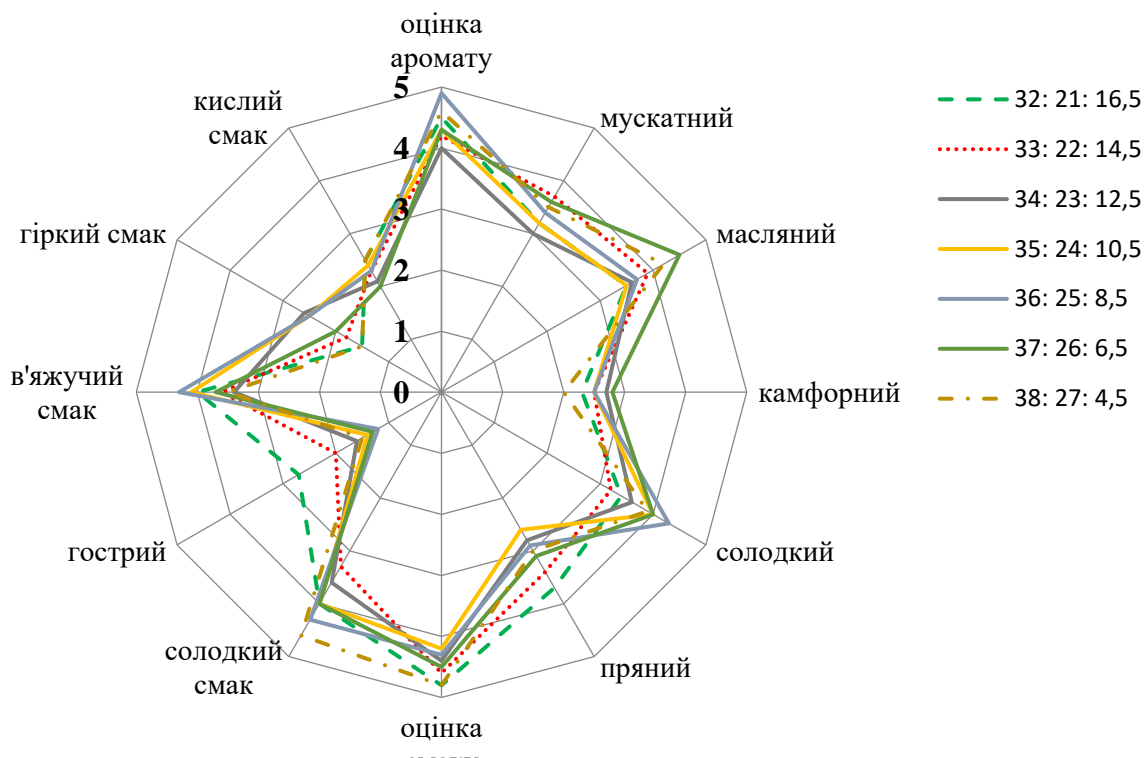


Рис. 1. Профілограма смаку та аромату паштету за різних співвідношень компонентів овочевої основи

зразки за наведеною вище послідовністю, кількість солі встановлювали на рівні 1%, у змінних співвідношеннях броколі: гарбуз: морква (рис. 1).

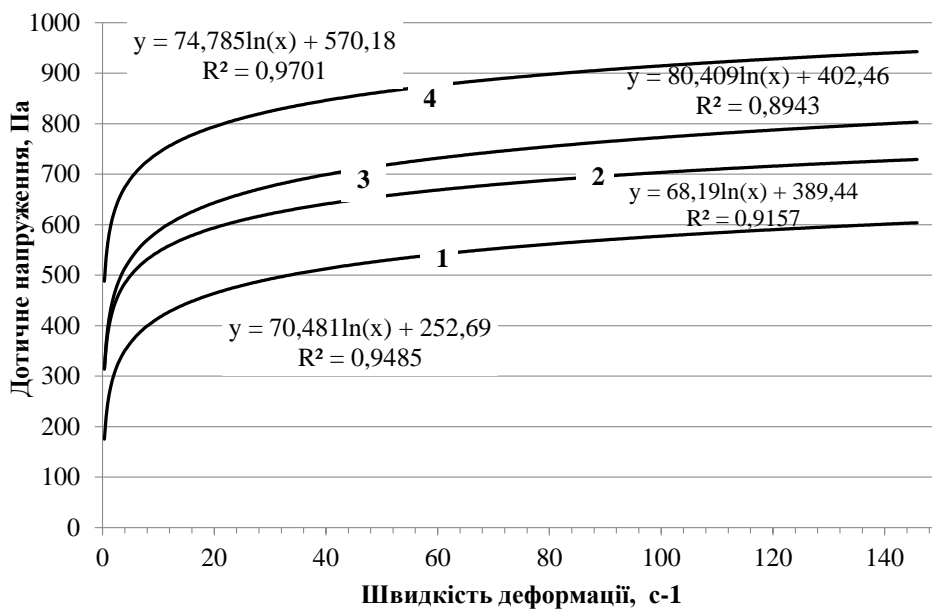
На підставі аналізу профілограми смаку та аромату отриманих зразків, наведеної на рис. 1, визначено раціональне співвідношення броколі : гарбуз : морква як 36 : 25 : 8,5. Овочева суміш характеризувалась приємним солодким смаком із злегка вираженим гірким та терпким присмаком, що відповідає рекомендаціям аюрведичної науки для Пітта-доші. Для надання продукту більш вираженого смаку до складу рецептури обґрунтоване введення 0,5% соку лайму.

З метою збагачення овочевого паштету комплексом макро- та мікронутрієнтів та формування органолептичних властивостей кількість введення шпинату варіювалась від 2 до 12% з інтервалом у 2%. Встановлено, що порошок шпинату сублімований незначно впливає на вологостримуючу здатність овочевої основи (таблиця 1).

Таблиця 1

**Вологостримуюча здатність овочевої основи паштету за змінних кількостей порошку шпинату сублімованого**

Найменування показника	Масова частка порошку шпинату сублімованого, %						
	–	2	4	6	8	10	12
Вологостримуюча здатність, %	76,6	77,3	83,6	85,3	86,6	85,4	86,9



1 - вміст сублімованого порошку шпинату 6 г; 2 - вміст сублімованого порошку шпинату 8 г;  
3 - вміст сублімованого порошку шпинату 10 г; 4 - вміст сублімованого порошку шпинату 12 г

**Рис. 2. Залежність дотичного напруження на зсув від швидкості деформації овочевого паштету за змінної кількості шпинату (г/100 г продукту)**

Таким чином, порошок шпинату сублімований незначно впливає на показник вологостримуючої здатності, що зумовлено складом цього зеленого овочу – переважним вмістом структурних полісахаридів та невисоким вмістом крохмалистих сполук.

Показник активності води –  $0,963 \pm 0,001$  у разі кількості введення порошку шпинату порівняно з контролем (без додавання порошку шпинату) –  $0,969 \pm 0,001$ .

Визначено вплив кількості введення шпинату на показник дотичного напруження на зсув овочевого паштету (рис. 2).

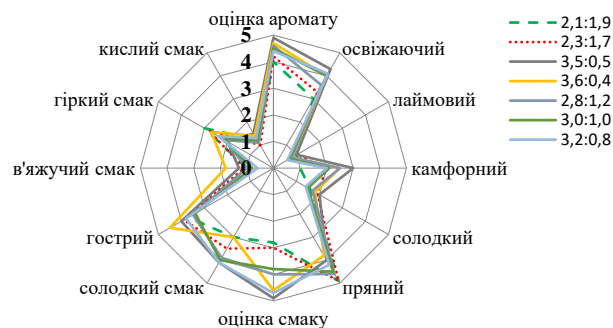
Встановлено, що зі збільшенням кількості введення шпинату показник дотичного напруження на зсув рівномірно зростає без зміни загального характеру графічної залежності. Зі збільшенням швидкості деформації дотичне напруження на зсув спочатку інтенсивно зростає, а за швидкості деформації  $5,4 \text{ c}^{-1}$  стабілізується, подальше збільшення швидкості деформації не призводить до збільшення дотичного напруження, що дозволяє зробити висновок про руйнування структури зразка.

Характер залежності дотичного напруження від швидкості деформації дозволяє віднести овочевий паштет до продуктів із в'язко-пластичною консистенцією.

На підставі органолептичної оцінки визначено раціональну кількість введення порошку шпинату сублімованого у кількості 10%.

Визначено раціональну кількість введення кокосового масла для надання паштету ніжної пластичної консистенції – 5% та подрібнених горіхів (волоського та мигдального) у кількості 8% (співвідношення 1 : 1).

Одним із компонентів, що надасть паштетові пікантного смаку та формуванню властивостей балансу Пітта-доші, є прянощі – корінь імбиру та кардамон. Задля визначення раціонального співвідношення та кількості введення прянощів до основи для виробництва паштету були приготовані модельні зразки із визначеними кількостями овочевої основи, кокосового масла та горіхів, кількість доданих прянощів становила 4,0% за змінних співвідношень кореню імбиру та кардамону (рис. 3).



**Рис. 3. Профілограма смаку та аромату овочевого паштету для Пітта-доша за змінних співвідношень корінь імбиру : кардамон**

На підставі аналізу профілограми (рис. 3) визначено раціональне співвідношення корінь імбиру : кардамон як 3,5 : 0,5. Раціональна кількість введення комбінації – 4,0%.

Новий вид овочевого паштету характеризується однорідною, в міру густою пластичною консистенцією з включеннями горіхів та кардамону більш темного кольору. Смак та запах гармонійні, властиві такому виду продукту, смак злегка солоний з гіркувато-терпким присмаком, що властивий шпинату, та вираженим присмаком введених прянощів. Продукт має приємний гармонійний солодко-пряний аромат, зумовлений введеними прянощами.

Масова частка вологи продукту – не більше 70%, кислотність – не нижче  $5,0 \pm 0,2$  од. рН.

## Висновки.

Обґрунтовано актуальність розробки нових видів аюрведичних овочевих паштетів із використанням вітчизняної сировинної бази та розроблено рекомендації щодо компонентного складу овочевого паштету для балансування Пітта-доші.

Визначено технологічні параметри підготовки та раціональне співвідношення компонентів овочевої основи – броколі : гарбуз : морква як 36 : 25 : 8,5 та обґрунтовано додаткове введення соку лайму в кількості 0,5%.

Обґрунтована доцільність та визначена раціональна кількість введення до складу рецептури овочевого паштету порошку шпинату сублимованого у кількості 10% від маси суміші.

Визначено, що порошок шпинату сублимований незначно впливає на показник вологостримуючої здатності овочевого паштету: у разі додавання 12% порошку шпинату сублимованого вологостримуюча здатність підвищувалась лише на 10%, а показник активності води знижувався від  $0,969 \pm 0,001$  до  $0,963 \pm 0,001$  (8% порошку шпинату), що зумовлено переважним вмістом структурних полісахаридів та невисоким вмістом крохмалистих сполук у складі цього зеленого овочу.

Доведено, що введення до складу рецептури овочевого паштету для Пітта-доші кокосового масла у кількості 5% надасть продукту ніжної пластичної консистенції та охолоджуючих властивостей для балансу Пітта-доші.

Визначено раціональну кількість введення кокосового масла для надання паштету ніжної пластичної консистенції – 5% та подрібнених горіхів (волоського та мигдального) у кількості 8% (співвідношення 1 : 1).

Розроблено комбінацію прянощів корінь імбиру : кардамон як 3,5 : 0,5 та визначено раціональну кількість її введення – 4,0%.

Розробка рецептур таких продуктів дозволить підвищити зацікавленість споживачів у сегменті продуктів здорового харчування, застосування вітчизняної сировини сприятиме підвищенню економічної привабливості від виробництва та, зрештою, поширенню аюрведичної науки в Україні та збереженню здоров'я її громадян.

## Список літератури:

1. Improvement of a culinary recipe by applying sensory analysis: Design of the New Tarte Tatin / Purificacion Garcı a-Segovia and other writers of *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2011, No. 1. P. 55–59.
2. Жалмашева Д.Т. Влияние быстрой еды на здоровье человека: тезис. Саратов, 2020. 14 с.
3. Gopi Warrior. *Secrets of Ayurveda*, 2th edition. New York, US : Ivy Press, 2017. P. 127–129.



4. R. Janakananda. Ayurveda: die verborgene Kraft der Nahrung. A Great Western Yogi. 5th ed. edition. Los Angeles, Calif., January 2012. P. 127.
5. Yash Rawat. Ayurvedic Herbs & Spices: Elixir of Life. Amazon Digital Services LLC – KDP Print US, 2019. P. 162.
6. Українці споживають удвічі менше за рекомендований обсяг овочів і на 30% менше фруктів і ягід. *Інтерфакс-Україна*. URL: <https://ua.interfax.com.ua/news/general/619500.html> (дата звернення: 26.01.2021).
7. Прохоренко С.Ю., Кузнецова О.В. Паштеты: особенности сырья, ингредиентов и технологического процесса. *Все о мясе*. 2011. № 8. С. 51–53.
8. Аслонова И.Ж., Кароматов И.Д., Тураева Н.И. Химический состав грецкого ореха. *Фитотерапия*. 2019. № 1. С. 77–78.
9. Артамонов В.А. Миндаль – Prunus dulcis. *Наука и Жизнь*. 2015. С. 3–4.
10. Лад. В., Фроули Д. Аюрведа. Травы и специи. Саттва. 2020. С. 30–33.
11. Целебные свойства специй и пряностей аюрведа. *Специи и аюрведа. Трансат*. URL: <https://transat.ru/celebnye-svoistva-specii-i-pryanostei-ayurveda-specii-i-ayurveda-v-ayurvede> (дата звернення: 26.01.2021).
12. Шевченко А.М. Обґрунтування вибору кореню імбиру для збагачення харчових продуктів. Національний університет харчових технологій; М-во освіти і науки, молоді та спорту України. Київ : НУХТ, 2014. Ч. 1. С. 37–38.
13. Журавель І.О. Вивчення складу ефірної олії плодів кардамону. *Український біофармацевтичний журнал*. 2010. № 2. С. 8–9.

**Yushchenko N.M., Marinin A.I., Chernova V.D., Savitskaya A.A., Novikov V.V., Shevchenko V.Yu., Plyuta V.V. DEVELOPMENT OF FOOD RECIPES FROM PLANT RAW MATERIALS BASED ON THE PRINCIPLES OF AYURVEDIC NUTRITION**

*The relevance of developing new types of Ayurvedic vegetable pate with the use of domestic raw materials is substantiated, and recommendations on the component composition of vegetable pate for balancing Pitta dosha are developed.*

*The technological parameters of preparation and the ratio of the components of the vegetable base are: broccoli : pumpkin : carrot as 36 : 25 : 8.5 were determined and the additional introduction of lime juice in the amount of 0.5% was substantiated.*

*The efficiency is substantiated, and the rational amount of sublimated spinach powder in the amount of 10% by weight of the mixture of vegetable pate in the recipe is determined.*

*It was also determined that sublimated spinach powder has a negligible effect on the moisture holding capacity of vegetable pate: with the addition of 12 % sublimated spinach powder, the moisture holding capacity increased by only 10%, and water activity decreased from  $0.969 \pm 0.001$  to  $0.963 \pm 0.001$  (8% powder). This is due to the predominant content of structural polysaccharides and low content of starch compounds in this green vegetable.*

*It has been proven that the supplementation of 5% coconut oil in vegetable pate for Pitta dosha will give the product a delicate plastic consistency and cooling feature for Pitta dosha balance.*

*To give a pate a soft plastic consistency, the rational amount of coconut oil should be 5%, and the rational amount of crushed nuts (walnuts and almonds) should be 8% (ratio 1: 1).*

*A combination of spices was developed: ginger root – cardamom as 3.5 : 0.5, and the rational amount of its addition was determined – 4.0%.*

*Production of vegetable pate with a composition of nuts and spices will significantly expand the range of healthy dishes on the Ukrainian market, will improve the health of Ukrainians of all ages, and increase the demand for healthy eating.*

**Key words:** vegetable pate, composition of nuts and spices, Ayurvedic food, Pitta dosha.

## ТРАНСПОРТ

УДК 656.614.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/40>

**Берневек Т.І.**

Одеський національний морський університет

**Павлова Н.Л.**

Одеський національний морський університет

**Тихоніна І.І.**

Одеський національний морський університет

### НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МОРЬСКИМИ СУДНАМИ У ЧОРНОМОРЬСЬКОМУ РЕГІОНІ

*Відзначено роль Чорноморського регіону у глобальній транспортній системі та світових морських вантажних перевезеннях. Доведено, що на ринку морських перевезень склалася конкурентна ситуація, яка спонукає країни дотримуватися сучасних стандартів у цій сфері, реалізації нових логістичних рішень і розвитку сучасних технологій. Акцентовано увагу на тому, що вітчизняні порти змагаються у конкурентній боротьбі з аналогічними інфраструктурними об'єктами Чорноморського регіону. Серед основних із них: Новоросійськ (Росія); Бургас, Варна (Болгарія); Батумі, Поті (Грузія); Констанца (Румунія); Самсун, Трабзон (Туреччина) та ін. Спираючись на дані індексу лінійних перевезень (Liner shipping connectivity index), авторами проаналізовано рівень залучення країн Чорноморського басейну до глобальних процесів морського транспортування. Встановлено, що у 2019 р. Україна посіла 61 місце у світі, значно покращивши свої позиції, та друге – серед країн Чорноморського басейну, переробляючи більш ніж третину (34,9%) вантажів. Вказано на значне відставання за цим показником від країн першої трійки (Китаю, Сінгапуру, Південної Кореї). За результатами дослідження сформовано напрями розвитку вантажних перевезень морськими суднами у Чорноморському регіоні, які об'єднано у такі групи: економічні, правові, технологічні. Основну увагу зосереджено на технологічному напрямі, який передбачає: розвиток інтермодальних перевезень, контейнеризацію вантажів, розвиток портової інфраструктури, цифрові трансформації у портах і логістичних ланцюгах. У рамках технологічного напрямку авторами запропоновано комплекс заходів і рішень, спрямованих на розвиток перевезень вантажів морськими суднами у Чорноморському регіоні. Це сприятиме розвиненню морегосподарського комплексу, економічному розвитку регіону, використанню транзитного потенціалу країни, її інтеграції до світової транспортної системи.*

**Ключові слова:** морські вантажні перевезення, Чорноморський регіон, морський транспорт, технології, розвиток.

**Постановка проблеми.** Через розташування на перетині важливих міжнародних шляхів із Європи в Азію Чорноморський регіон відіграє значну роль у світовій транспортній системі.

Україна має вигідне географічне положення, що створює сприятливі умови для участі у світових морських вантажних перевезеннях, розвитку міжнародних торговельних відносин як у межах Чорноморського регіону, так і у глобальному масштабі.

Сьогодні у країні функціонують 13 морських торгових портів, розташовані у басейнах Чор-

ного, Азовського морів та у гирлах Дунаю і Дніпра. Найпотужніші з них сконцентровано навколо Одеси. Через значну пропускну здатність, кращі морські підходи та можливість приймати великі судна вони переробляють широку номенклатуру вантажів, забезпечують транспортування зовнішньоторговельних і транзитних потоків (включаючи контейнери), обслуговують вантажопотоки Євразійського транспортного коридору.

Зазначимо, що морські торговельних порти та термінали України посідають друге місце у транспортних послугах Чорноморського басейну

та дозволяють переробляти більш ніж третину (34,9%) вантажів [1], однак на ринку морських перевезень склалася жорстка конкуренція, у якій вітчизняні порти змагаються з відповідними інфраструктурними об'єктами Чорноморського регіону. Серед основних із них: Новоросійськ (Росія); Бургас, Варна (Болгарія); Батумі, Поті, (Грузія); Констанца (Румунія); Самсун, Трабзон (Туреччина) та ін.

Отже, підвищується значущість зростання конкурентоспроможності морських перевезень, що спонукає країну прагнути до дотримання сучасних стандартів у цій сфері та реалізації нових логістичних рішень. Враховуючи, що розвиток морських перевезень, у тому числі й у Чорноморському регіоні, залежить від технологічних факторів, визначення перспективних напрямів у цій сфері стає особливо актуальним. Це сприятиме розвитку морегосподарського комплексу, економічному розвитку регіону, використанню транзитного потенціалу країни, її інтеграції до світової транспортної системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню теоретичних і практичних аспектів функціонування морського транспорту, технологічним аспектам розвитку перевезень вантажів морськими суднами присвячено праці зарубіжних і вітчизняних науковців.

Так, авторами [2–4] сформовано основні поняття, технологічні схеми перевезення вантажів, сформульовано пропозиції щодо оптимізації роботи морського торговельного флоту.

Науковцями досліджено специфіку формування системи доставки вантажів морським транспортом, формалізовано процес її організації [5; 6]; досліджено проблеми морегосподарського комплексу України та відзначено потенціал його розвитку [7–9].

Автори низки досліджень акцентують на окремих підходах і технологічних аспектах розвитку морських вантажних перевезень, звертаючи увагу на роль мультимодальних перевезень [10]; значущість контейнеризації [11]; пріоритетність цифрових трансформацій у морських портах і логістичних ланцюгах взагалі [12; 13].

Зазначимо, що окремі технологічні аспекти розвитку морських перевезень досліджуються міжнародними організаціями. Так, наприклад, рівень готовності портів до цифровізації ланцюга поставок аналізується Міжнародною організацією портів і гаваней (*International Ports and Harbors Association – IAPH*) спільно зі Світовим банком (*World Bank*) [14]. Різні моделі розвитку морських

портів, наприклад, «Workport», яка передбачає «максимальну комп'ютерну оптимізацію всіх процесів», досліджуються Конференцією ООН із торгівлі та розвитку (*United Nations Conference on Trade and Development – UNCTAD*) [15].

Але, зважаючи на динамічність запровадження сучасних технологій на ринку логістичних послуг, підвищення конкурентних вимог, питання розвитку перевезень вантажів морським транспортом потребують подальших досліджень, що дозволить розглянути проблему під різними кутами з урахуванням специфіки Чорноморського регіону.

**Постановка завдання.** Метою статті є формування основних напрямів розвитку вантажних перевезень морськими суднами у Чорноморському регіоні.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження залучення країн Чорноморського басейну до глобальних морських перевезень із використанням Індексу лінійних перевезень (*Liner shipping connectivity index – LSCI*) [16] дозволило констатувати, що у 2019 р. Україна посіла 61 сходинку (LSC – 26,88), значно покращивши свої позиції серед країн світу (у 2006 р. – 69 місце; LSC – 13,09), однак спостерігається значний відрив за цим показником від першої трійки (за даними 2019 р. на першому місці – Китай із LSC – 151,91; на другому місці – Сінгапур із результатом 108,08; на третьому – Південна Корея (105,11)).

Зазначимо, що серед країн Чорноморського басейну у 2019 р. за індексом LSC Україна зайняла друге місце. Через те, що морський порт Констанца є завершальним перевалочним контейнерним хабом у Чорному морі для одного із дев'яти коридорів TEN-T – Рейн-Дунайського мультимодального коридору – значні позиції у регіоні посідає Румунія (табл. 1).

Дослідники справедливо звертають увагу на той факт, що на кордонах з Україною завершуються два мультимодальні коридори TEN-T, які у разі інтеграції морських портів країни до відповідної мережі Європейського Союзу буде подовжено [10, с. 398].

Аналіз сучасного стану морегосподарського комплексу Чорноморського регіону та сучасних світових практик у цій сфері дозволив сформувати перспективні напрями розвитку вантажних морських перевезень, які об'єднано у такі групи: економічні, правові та технологічні (рис. 1). Враховуючи специфіку дослідження, вважаємо доцільним акцентувати увагу на технологічних аспектах.

Зазначимо, що сучасні міжконтинентальні мережі постачання за своєю природою є інтермо-

дальними, що створює передумови для активного використання морських шляхів і формування нових маршрутів, у тому числі через Чорноморські порти. Так, інтермодальні транс-чорноморські лінії проходять через такі основні порти, як: Іллічівськ, Одеса, Ізмаїл, Миколаїв, Херсон, Маріуполь, Бердянськ (Україна), Констанца (Румунія), Варна і Бургас (Болгарія), Новоросійськ (Російська Федерація), Поті й Батумі (Грузія), Стамбул, Деринг, Зонгулдак і Самсун (Туреччина).

Важлива роль у таких перевезеннях належить поромам, завдяки яким у регіоні забезпечуються транспортно-економічні зв'язки причорноморських держав у напрямку північ – південь (Україна – Туреччина) та захід – схід (Румунія – Болгарія – Україна – Грузія). Наприклад, у рамках проекту ТРАСЕКА (міжнародний транспортний коридор «Європа-Кавказ-Азія») сформовано маршрути контейнерних і ро-ро перевезень через автомобільно-залізничну поромну переправу Болгарія – Україна – Грузія; реалізовано запуск ро-ро залізнично-поромного сполучення на Чорному морі за маршрутом Одеський порт – порт Самсун – порти Грузії).

Підкреслюючи значущість інтермодальних перевезень, слід звернути увагу на контейнери-

зацію вантажів, що дозволяє досягти сумісності транспортних засобів (на всіх етапах) із наявними можливостями транспортної інфраструктури. Ключовими портами, які з'єднують головні контейнерні відправлення і поромні перевезення у Чорноморському регіоні, є Іллічівськ, Одеса, Констанца, Варна, Стамбул, Поті, Батумі.

Відзначимо, що сьогодні спостерігається зростання сукупного вантажообігу контейнерних портів країн світу. Так, у 2019 р. він підвищився на 2% порівняно з минулим роком і сягнув 811,1 млн TEU [15].

Констатуємо, що такі тенденції зумовлені низкою переваг використання контейнерів при транспортуванні вантажів. Серед основних із них: уможливлення механізації й автоматизації робіт, скорочення їх часу та підвищення пропускної здатності морських портів; можливість об'єднання різних контейнерних перевізників задля спільного використання судна на певному комерційному маршруті тощо.

Аналіз пропускної здатності контейнерних морських портів країн Чорноморського басейну (табл. 2) дозволив оцінити потужності їх портової інфраструктури та констатувати, що Україна, яка посідає 76 місце у світі, входить до трійки лідерів регіону.

Таблиця 1

Індекс лінійних перевезень країн Чорноморського басейну (max 2006= 100)

Роки	Україна	Росія	Румунія	Болгарія	Грузія	Туреччина
2012	21,90	45,08	18,73	6,75	6,11	4,31
2016	26,34	43,89	25,37	7,34	5,56	4,43
2017	27,62	41,17	26,84	6,75	6,01	4,48
2018	27,65	43,71	26,17	7,13	6,68	4,89
2019	26,88	38,07	25,47	7,25	6,84	4,37

Джерело: сформовано авторами на основі даних [16]

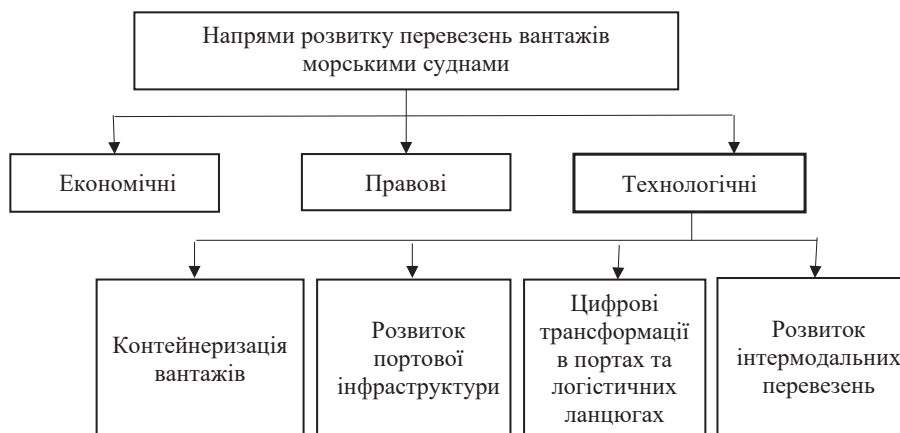


Рис. 1. Напрями розвитку перевезень вантажів морськими суднами

Джерело: складено авторами

## Пропускна здатність контейнерних морських портів країн Чорноморського басейну, TEU

Роки	Україна	Росія	Румунія	Болгарія	Грузія	Туреччина
2016	586000	3906592	721339	201000	222000	13767666
2017	698500	4515300	706400	217200	285000	14493889
2018	1179000	6335300	678000	217200	285000	16664555
2019	1007400	4932154	664695	261900	277125	18155542
2020	1035200	4871919	643725	252310	260498	19107948

Джерело: складено авторами на основі даних [16]

Серед основних центрів перевалки контейнерів у Чорному морі виступають: на західному узбережжі – порт Констанца, який є частиною коридору TEN-T та контейнерним хабом; на східному – порт Новоросійськ і Поті; у північній частині – Одеса.

Слід зазначити, що з метою розвитку контейнерних перевезень і зростання конкурентоспроможності вітчизняних морських портів у Чорноморському регіоні необхідно звернути увагу на подальше використання механізму трансшипменту; модернізацію технологічних умов обробки вантажів; оновлення та модернізацію портової інфраструктури відповідно до сучасних трендів розвитку морського транспорту та перспектив запуску в експлуатацію Стамбульського каналу, який, на відміну, від протоки Босфор, уможливить прохід габаритних суден; реалізацію проєктів будівництва сучасних терміналів (у тому числі з використанням інструменту державно-приватного партнерства).

Констатуємо, що контейнеризація тісно пов'язана з іншими глобальними трендами, здатними вплинути на розвиток вантажних морських перевезень.

У цьому контексті слід цілком погодитися з думкою дослідників [11; 12; 15], які вказують на необхідність цифрових трансформацій та інтелектуалізацію глобального логістичного ланцюга, що сприятиме інтеграції всіх учасників у єдину взаємопов'язану мережу на основі платформ зі створенням єдиного цифрового транспортного коридору та використанням штучного інтелекту. Акцентуємо увагу на тому, що такі технологічні новації відкривають нові можливості через підвищення ефективності операційної діяльності, збільшення швидкості обслуговування у портах, підвищення їхньої пропускної здатності та рівня безпеки логістичних процесів. Серед основних із них слід відзначити такі, як: роботизовані та дистанційно керовані вантажно-розвантажувальні системи, які дозволяють перейти до автоматизації

контейнерних терміналів; штучний інтелект; безпілотні транспортні засоби й обладнання; технологія блокчейн (Blockchain).

Звертаючи увагу на технологію блокчейн, зазначимо, що світові пілотні проєкти та тестування довели її ефективність при організації логістичної мережі у морських портах. Такі результати обумовлені наступними перевагами: можливістю всіх учасників процесу отримувати дані про доставку в реальному часі; підвищенням швидкості обробки й оновлення інформації; високою точністю виконання процесів внаслідок їх автоматизації; прозорістю інформації для учасників логістичного процесу (за наявності ключа доступу); високим рівнем безпеки через шифрування інформації, що унеможливорює несанкціоноване втручання у роботу системи; оптимізацією логістичних витрат.

**Висновки.** Морські шляхи Чорноморського регіону є одними з найбільш важливих транспортних артерій, котрі пов'язують ланки світової торгівлі, забезпечуючи морські вантажні перевезення між Європою й Азією.

Нині на ринку морських перевезень склалася конкурентна ситуація, яка спонукає країни дотримуватися сучасних стандартів у цій сфері, реалізації нових логістичних рішень і розвивати сучасні технології.

Результати дослідження дозволили сформулювати напрями розвитку вантажних перевезень морськими суднами у Чорноморському регіоні й об'єднати їх у такі групи: економічні, правові, технологічні. Основну увагу зосереджено на технологічному напрямі, який передбачає: розвиток інтермодальних перевезень, контейнеризацію вантажів, розвиток портової інфраструктури, цифрові трансформації у портах і логістичних ланцюгах. Комплекс запропонованих заходів і технологічних рішень спрямований на розвиток перевезень вантажів морськими суднами у Чорноморському регіоні, що сприятиме розвиненню морегосподарського комплексу, економічному

розвитку регіону, використанню транзитного потенціалу країни, її інтеграції до світової транспортної системи, однак запровадження цих захо-

дів потребує формування відповідних механізмів реалізації цих проєктів, а це визначає перспективи подальших досліджень.

#### Список літератури:

1. Все порты и терминалы Черноморско-Азовского бассейна. URL: <http://portsukraine.com/node/2531>. (дата звернення 10.12.2021)
2. Організація транспортного процесу та управління роботою флоту на міжнародному ринку транспортних послуг в умовах глобалізації міжнародного судноплавства : монографія / авт.кол. : Шибасєв О.Г., Савельєва І.В., Кириллова О.В. та ін. Одеса : Купрієнко С.В., 2015. 171 с.
3. Шибасєв О.Г., Коскіна Ю.О. Динамічна модель оптимізації проєкту роботи морського торговельного флоту. *East European Science Journal*. 2020. № 53. С. 44–48.
4. 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.
5. Коскіна Ю.О. Теоретико-множинний підхід до моделювання структур систем доставки вантажів. *Вісник Вінницького національного політехнічного університету*. 2019. № 5 (146). С. 62–74.
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. Kibik O., Khaiminova I., Kotlubay V., Redina I., Belous E. Development potential of Ukrainian maritime enterprises. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. № 7 (4.3). P. 461–466.
8. Кібік О.М., Хаймінова Ю.В., Береза В.В. Потенціал морегосподарського комплексу як чинник розвитку причорноморського регіону України. *Причорноморські економічні студії*. 2020. Вип. 50. С. 75–79. doi: <https://doi.org/10.32843/bses.50-44>.
9. Мігай Н.Б., Хмарська І.А. Проблеми розвитку логістичної інфраструктури морських портів України. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/2847/Mihai.PDF?sequece=1> (дата звернення: 25.12.2021).
10. Прокудін Г.С., Чупайленко А.А., Дудник О.С., Прокудін О.Г., Омаров Д.М. Модель організації мультимодальних вантажних перевезень у міжнародному сполученні. *Вісник Національного транспортного університету*. 2016. № 1 (34). С. 397–406.
11. Слободян В.В. Актуальні проблеми розвитку контейнерних перевезень в Україні. *Приазовський економічний вісник*. 2019. Вип. 5 (16). С. 29–36. doi: 10.32840/2522-4263/2019-5-5.
12. Chuprina E., Zahorodnia Y., Petrenko O., Britchenko I, Goretskyi O. Specific characteristics of seaports development in the context of digitalization: international experience and conclusions. *International Journal of Agricultural Extension*. Special Issue 01 Issues of Legal Regulation in Agrarian and Tourism Space. URL: <https://esciencepress.net/journals/index.php/IJAE/article/view/3879>. DOI: 10.33687/ijae.010.00.3879. (дата звернення: 09.01.2022).
13. Drewry Maritime Research 2019. Ports and terminal insight. Quarterly. First quarter. URL: <https://www.drewry.co.uk/maritime-research-products/>. (дата звернення: 25.12.2021).
14. Global ports survey on the implementation of electronic data exchange to conform with the IMO Convention on Facilitation of International Maritime Traffic. URL: <https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/IAPH-FAL-Survey-Report-Jan-2021.pdf>. (дата звернення: 20.12.2021).
15. *Review of Maritime Transport 2019*. URL: [https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019\\_en.pdf](https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2019_en.pdf). (дата звернення: 20.12.2021).
16. Liner shipping connectivity index. *Статистична база ООН UNCTAD*. URL: <http://unctadstat.unctad.org/>. (дата звернення: 20.12.2021).

#### **Bernevek T.I., Pavlova N.L., Tykhonina I.I. DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF CARGO TRANSPORTATION BY SHIPS IN THE BLACK SEA REGION**

*The role of the Black Sea region in the world transport system and global maritime freight traffic is noted. It was noted that a competitive situation has developed in the maritime transport market, which encourages countries to comply with modern standards in this area, the implementation of new logistics solutions and the development of modern technologies. The attention is focused on the fact that domestic ports compete in competition with similar infrastructure facilities of the Black Sea region. Among the main ones: Novorossiysk (Russia); Burgas, Varna (Bulgaria); Batumi, Poti (Georgia); Constanta (Romania); Samsun, Trabzon (Turkey) and others. Based on the data of the Liner shipping connectivity index, the authors analyzed the level of involvement of the Black Sea countries in the global processes of maritime transportation. It has been established that in 2019 Ukraine ranked 61st in the world, significantly improving its position, and second*

---

*among the countries of the Black Sea basin, processing more than a third (34.9%) of cargo. A significant lag in this indicator from the countries of the first three (China, Singapore, South Korea) is indicated. According to the results of the study, directions for the development of cargo transportation by sea vessels in the Black Sea region were formed, which are combined into the following groups: economic, legal, technological. The main attention is focused on the technological direction, which provides for the development of intermodal transportation, containerization of goods, the development of port infrastructure, digital transformations in ports and logistics chains. Within the framework of the technological direction, the authors proposed a set of measures and solutions aimed at the development of cargo transportation by sea vessels in the Black Sea region. This will contribute to the development of the maritime industry, the economic development of the region, the use of the country's transit potential, and its integration into the global transport system.*

**Key words:** *sea freight transportation, Black Sea region, sea transport, technologies, development.*

**Бичковський Ю.В.**

Одеський національний морський університет

**Мельник О.М.**

Одеський національний морський університет

## РОЛЬ І МІСЦЕ ЛЮДСЬКОГО ЕЛЕМЕНТУ У СИТУАЦІЇ НАВАЛУ АБО ЗІТКНЕННЯ СУДНА ІЗ ПРИЧАЛОМ

*У статті проведено аналіз аварійної морської події, яка мала місце у жовтні 2021 року, результатом якої стало зіткнення теплоходу НАКСА із причалом у морському торговельному порту Чорноморськ. Цей інцидент зумовив необхідність звернутися до теми, котра є вкрай актуальною та неодноразово виносить для обговорення на різних рівнях, а саме важливість постійної уваги до врахування індивідуальних факторів людського елемента у системі забезпечення безпеки судноплавства. Було вивчено документи офіційного розслідування цієї події з боку призначеної комісії, створеної за наказом капітана порту Чорноморськ, та встановлено, що справжніх причин, які призвели до цієї події, виявлено не було, додатково також не було визначено необхідних шляхів для запобігання таким випадкам, що певною мірою зумовлює ризик виникнення подібних небезпек і їх повторення у майбутньому, але з більш суттєвими наслідками для загальної безпеки судна, порту, навколишнього середовища. Авторами на підставі виконаного розслідування було проведено власне дослідження обставин і аналіз причин із метою встановлення послідовності розвитку подій, які призвели до цього випадку. Під час виконання цього завдання автори у жодному разі не мали намір нівелювати висновки акта комісії щодо ступеня вини капітана судна, цей факт не має жодного сумніву. Головною метою проведеного дослідження стало підвищення рівню обізнаності судноводіїв і надання практичних рекомендацій на основі з'ясованих обставин події, які дозволять запобігти таким подіям у процесі забезпечення безпеки керування судном, враховуючи, що у матеріалах проведеного розслідування з невідомих причин цим фактам не було приділено відповідної уваги. Також встановлено, що ця аварійна морська подія є наслідком впливу окремих факторів, серед яких стрес як індивідуальний фактор людського елемента є домінуючим, зв'язок між непередбачуваними обставинами та підвищенням його рівня.*

**Ключові слова:** людський елемент, безпека судноплавства, морські події.

**Постановка проблеми.** Ситуації навалу суден на причал відбуваються доволі часто. Навалом називається контакт або несуттєве зіткнення судна, що має хід, із гідротехнічною спорудою, причалом, іншим судном, яке не має ходу, або плаваючим чи стаціонарним об'єктом під час проходу, результатом якого є пошкодження корпусу судна, що здійснило навал, або об'єкта, з яким воно зіткнулося. Причинами навалу можуть бути як навігаційні помилки, так і складні погодні умови. На відміну від зіткнення, у ситуації навалу судна пошкодження можуть менш серйозними, але зазвичай відповідальність лягає на плечі судновласника.

Після ознайомлення з результатами розслідування аварійної події, яка сталася в акваторії порту Чорноморськ 22 жовтня 2021 року, в авторів публікації з'явилося сумніви щодо завершеності проведеного розслідування, підставою послужила відсутність формулювання чітких причин, що привели до виникнення даної події,

непрозоре тлумачення різних фактів, а подеколи і помилкові висновки щодо послідовності етапів розвитку даної події та ролі кожного з учасників цієї морської події. Авторами було виконано власний аналіз усіх етапів розвитку цієї події, діям усіх учасників було надано оцінку та представлено рекомендації щодо запобігання таким випадкам у майбутньому. Проведений аналіз може бути корисним для членів екіпажів, адже така проблема, на жаль, є дуже поширеною у світовому судноплаванні, тому детальне знайомство із запропонованими рішеннями допоможе іншим судноводіям своєчасно уникнути подібних небезпек у своїй професійній діяльності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виконаний аналіз базувався на документах [1; 2], вимогах «Обов'язкових постанов по порту Чорноморськ» [3], методиці розрахунків гальмування судна [4; 5; 13], інформації із судової «Таблиці маневрених елементів» [6], робіт провідних фахівців і вчених із вивчення проблемних питань



про людський елемент у морський галузі [7–11] та інших публікаціях. До того ж авторами було використано власний багаторічний досвід із керування різними типами морських суден, особливо під час виконання маневрування в обмежених водах морських портів, методів належної організації та взаємодії між лоцманом і капітаном судна під час виконання швартування морських суден, гарної морської практики щодо використання буксирів під час виконання таких операцій.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно із представленою інформацією в акті розслідування аварійної морської події (далі – акт) було виявлено, що «22 жовтня 2021 року о 08 год 05 хв відповідно до заявки морського агента на борт судна «Накса» прибув старший лоцман портової лоцманської служби (ПЛС) «Чорноморськ» філії «Дельта-лоцман» ДП «АМПУ» (далі – лоцман), судно рухалося з якірної стоянки № 351 (зовнішнього рейду морського порту Чорноморськ) до причалу № 18, морського порту Чорноморськ. Капітаном і лоцманом заздалегідь було обговорено й узгоджено спільний план лоцманського проведення, маршрут переходу, умови плавання, включаючи стан погодних умов, відомості про причал, схему швартування, кількість і місце прийому буксирів. Після цього капітан повідомив, що судно повністю готове до виконання швартових операцій. О 08 год 23 хв судно пройшло ворота порту та зайшло до його внутрішньої акваторії. Буксирне забезпечення здійснювали буксири «Бургас» та «Александрія», які рухались поруч із судном у готовності до подачі та закріплення буксирних кінців. Після проходження «Південного буя № 10», під час виконання маневрів по розвороту судна, з метою його подальшого паралельного руху до причалу № 18, швидкість руху судна почала зростати. За інформацією лоцмана, через означений факт буксири не мали можливості підійти для закріплення до борту судна. З метою погашення інерції та для запобігання навалу на причал капітан судна розпорядився віддати правий якір (згідно з поясненнями лоцмана капітан повідомив, що лівий якір не готовий до віддачі, тому віддали правий). Незважаючи на вжиті заходи, приблизно о 08 год 37 хв стався навал носовою частиною судна «Накса» на причали № 17 і 18 морського порту Чорноморськ. Згідно із треками руху судна при зіткненні із причалом швидкість судна «Накса» становила 4,9 вузла. Відповідно до «Схеми оповіщення про аварійні події» лоцман доповів про факт навалу судна на причали № 17, 18 до ЦРПС (центру регулювання руху суден) порту «Чорноморськ». Після

зіткнення судна буксири «Бургас» та «Александрія» підійшли до судна «Накса» та подали і закріпили буксирні кінці (на носій частині та кормовій відповідно). О 08 год 50 хв судно «Накса» було ошвартоване до причалу № 18 правим бортом».

Потрібно відзначити той факт, що комісією, котра виконувала розслідування, професійним чином було виконано збір усіх необхідних матеріалів щодо встановлення реальної картини події. Членами комісії були детально розглянути обставини події, які мали місце як на борту судна, так і за його мережами. Втім, за наявності великої кількості матеріалів висновки комісії не пояснюють повною мірою причинно-наслідковий зв'язок виникнення аварійної морської події, також відсутнє пояснення щодо ролі усіх сторін, які брали у цьому участь. Тому виникає необхідність провести ретельний аналіз розвитку події до входу судна в акваторію порту Чорноморськ.

Нам відомо, що капітан судна і лоцман виконали обов'язкову процедуру взаємного обговорення маневру щодо виконання швартування. Лоцман визначив місце кріплення буксирів на траверзі причалів № 15,16 Чорноморського морського порту. Далі судно продовжило свій рух під керуванням лоцмана і командуванням капітану судна в акваторії порту. Важливо підкреслити, що капітан пояснив лоцману, що найменший передній хід судна досягає швидкості шість вузлів.

Внаслідок руху судна з підвищеною швидкістю, що зрозуміло з наданих ДП «Дельта лоцман» треків, не було здійснено закріплення буксирів у очікуваному місці його виконання, оскільки поточна швидкість судна була близько шість вузлів, що не давало ніякої можливості для виконання цієї операції, тому що буксири не були здатні наздогнати судно, яке о 08 год 27 хв зупинило роботу головного двигуна (рис. 1).

Із представленого треку, зрозуміло що через півтори хвилини після зупинки головного двигуна судна швидкість на прямолінійній траєкторії становить близько 5,8 вузлів. Також видно, що ані носовий буксир «Бургас», ані кормовий буксир «Александрія» не встигають зайняти свої заплановані місця за обговореною схемою виконання швартування. Також було оглянуто відео матеріали, зроблені з містка судна, з яких з'ясовано та підтверджено неспроможність буксирів наздогнати судно, яке рухалося за інерцією. Про це свідчать також капітан і лоцман. На запит капітана судна щодо закріплення буксирів лоцман відповів, що воно буде виконано пізніше, в іншому місці. На погляд авторів, саме у цей момент було

зруйновано попередньо обговорену схему виконання швартування судна, що, як наслідок, призвело до аварійної морської події.

Необхідно підкреслити, що на цьому етапі виникає декілька питань, на які не звернули увагу члени комісії, котра виконувала розслідування. По-перше, чому був відсутній контроль за рухом судна зі сторони оператора ЦРРС «Чорноморськ»? Не викликає сумніву, що після входу в акваторію порту швидкість судна перевищувала шість вузлів, що заперечувало «Обов'язкової постанови по порту Чорноморськ», тим більш, що у цьому районі виконувалися днопоглиблювальні роботи та потрібно постійно контролювати швидкість руху суден. На жаль, цього не було зроблено з боку портового оператора.

По-друге, також викликає сумніви відповідність буксирів зазначеним технічним характеристикам, тому що, на наданих треках є очевидною неспроможність буксирів наздогнати судно, що рухається за інерцією, як і те, що вони намагалися його наздогнати. Тому перенесене місце виконання закріплення буксирів до судна може бути викликано простою невідповідністю буксирів своїм характеристикам у зв'язку із моральним і матеріальним зносом, а це створює прецедент, який може призвести до повторення цієї аварійної події з іншими суднами у майбутньому.

На жаль, жодної уваги зі сторони комісії цим двом фактам приділено не було, як і факту спон-

танної зміни первинного плану виконання швартування судна зі сторони портового лоцмана. Такий прояв має назву «індивідуальний фактор людського елемента». Саме момент, коли лоцман змінив свій намір щодо виконання закріплення буксирів, є головним у цієї аварійної морської події, як головне джерело події, інші факти лише безрезультатна спроба капітана та лоцмана виправити ситуацію.

Далі на підході до Південного буя № 10 для приведення судна у напрям до причалу лоцман дав команду «Самий малий передній хід». Це наступна помилка, яку зробив лоцман. Для розуміння цього необхідно розглянути трек на рис. 2. Із наведеного треку зрозуміло, що швидкість судна у цей момент становить близько 3,4 вузла. Також чітко видно, що обидва буксири не встигають займати свої місця для виконання кріплення буксирних кінців. Розуміючи це, під час виконання складного повороту лоцман дав вказівку капітану, що закріплення буксирів буде зроблено біля причалу № 18, після завершення маневру підходу до причалу, але знову капітан судна не знайшов у себе сили скасувати рішення лоцману. З пояснення капітана зрозуміло, що він бачив розвиток небезпеки, однак покладався на професіоналізм лоцмана, не розуміючи повністю його наміри щодо виконання швартування, які виникли через зміну первинного й узгодженого плану операцій.

На практиці у такі моменти склад вахти на містку працює на швидке виконання команд лоц-

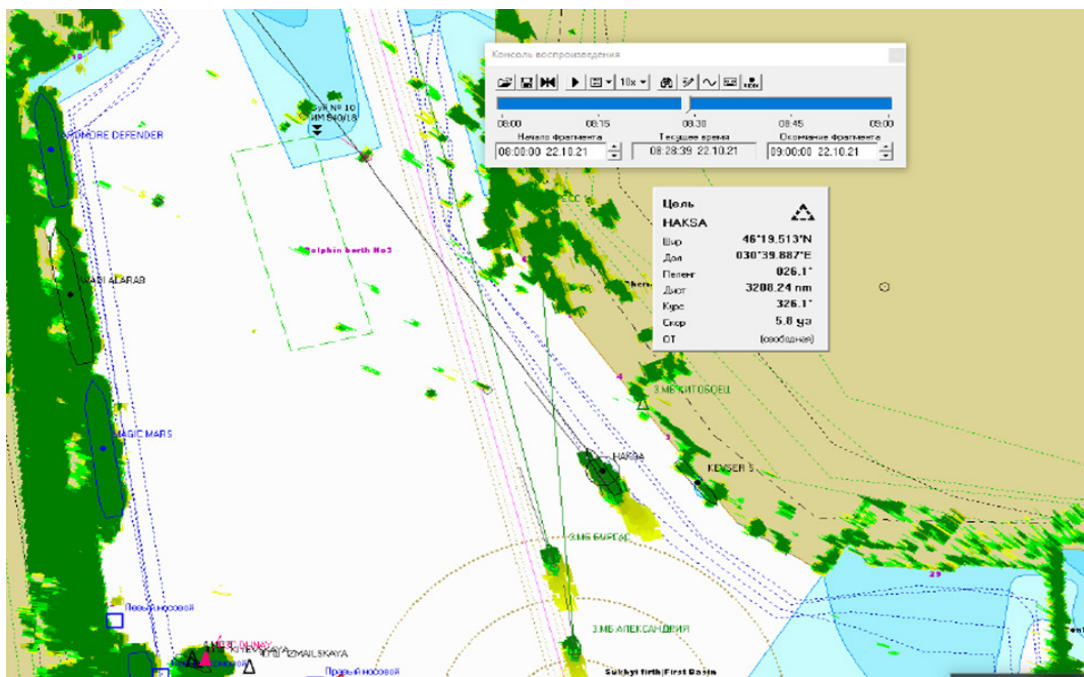


Рис. 1. Траєкторія руху судна у районі закріплення буксирів [2]

ману, котрий не дає ніяких пояснень своїм рішенням. Так сталося й у цій ситуації. Не було часу на виконання аналізу ситуації чи спроби зміни рішення лоцмана. Виникає дуже багато питань до комісії, яка виконувала розслідування події. Головне питання: чому не було виконано закріплення буксирів у цей момент? Швидкість судна теоретично дозволяла виконати цю операцію, однак, як видно на рис. 2, буксири не встигали зайняти свої місця згідно з первинними вказівками лоцмана.

Далі необхідно подивитися на наступний трек, наданий на рис. 3.

О 08 год 36 хв, коли ніс судна прийшов на траверз кута причалів № 18, 19, лоцман дав команду на «Малий хід назад». Необхідно надати пояснення, що у цей момент довжина від носової частини до кута причалів № 17, 18 становить близько 165 метрів, а гальмовий шлях судна відповідно до даних суднової таблиці маневрених елементів – близько 300 метрів (рис. 4).

Необхідно додати, що гальмовий шлях на відрізку у 300 метрів передбачає роботу головного двигуна судна на «Повний хід назад», а лоцман працював машиною на «Самий малий хід назад». Відповідно до даних із суднової таблиці гальмового шляху судна процес гальмування від швидкості 3,6 вузла до 0 вузлів очікувано триває близько 9 хв під час роботи головного двигуна на «Повний хід назад». У нашому випадку, до моменту зіткнення залишалось тільки 2 хв. Тому, як розуміло, не було ніяких шансів зупинити судно у безпечних межах, і результат аварійної морської події був цілком закономірний.

Нами було виконано власні розрахунки гальмового шляху за методами [4; 5]. Обидві методики дали результат, який свідчить про неможливість зупинки судна під час такого маневрування. О 08 год 36 хв було необхідно давати «Повний хід назад» і віддавати якір для виконання зупинки судна на безпечній відстані від причалу № 17. На жаль, цього зроблено не було.

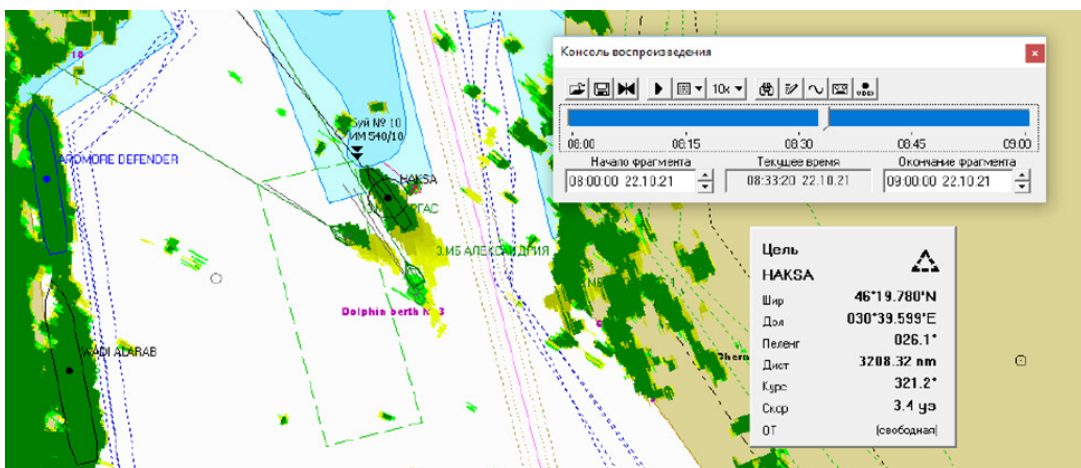


Рис. 2. Рух судна біля Південного буя № 10 [2]

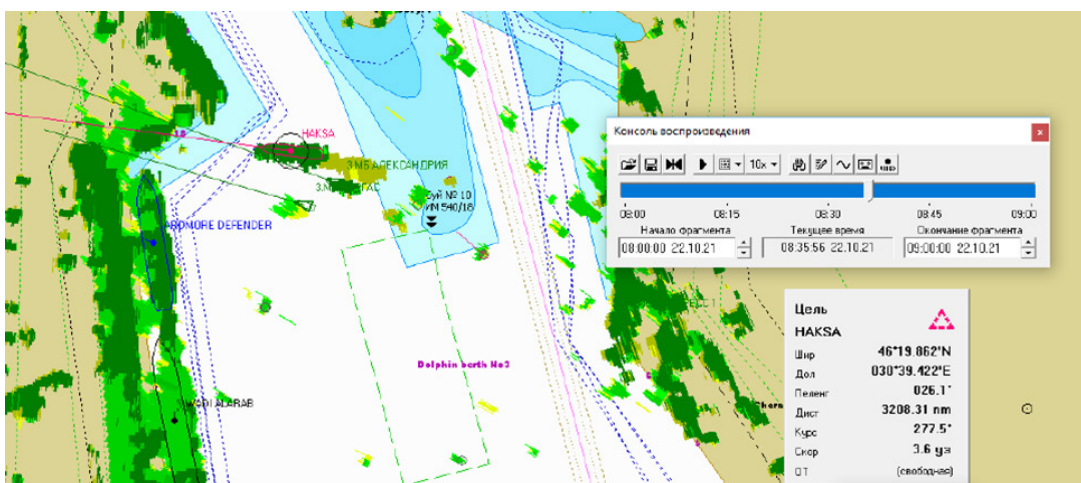


Рис. 3. Стан судна перед початком роботи ГД на задній хід [2]

Далі для повного розуміння ситуації необхідно уважно ознайомитися з висновками, зробленими комісією, за якими судно не встигло погасити інерцію та здійснило навал на причал № 18 і зіткнулося із причалом № 17 торговельного морського порту Чорноморськ.

Додатково розглядаючи розвиток ситуації протягом останніх декількох хвилин, необхідно звернути увагу на таке:

1. Відомий факт, що під час руху судна перемінною швидкістю вперед і роботи головного двигуна на задній хід реакція гвинта правого кроку (а такий гвинт встановлено на т/х «Накса») буде розвертати носову частину судна вправо, корма судна відповідно буде рухатися вліво, тому цей факт не викликає жодних сумнівів.

2. Розворот судна буде виконуватися у точці, яка має назву «точка обертання» (Pivot Point). На цьому судні під час руху вперед точка обертання розташована на відстані  $\frac{1}{4}$  довжини судна від носу судна. З огляду на довжину судна, що становить 86 метрів, точка обертання буде розташована на відстані приблизно 64 метра від корми судна. Довжина між точкою обертання й антеною GPS у цьому разі:  $64\text{м} - 21\text{м} = 43$  метра;

3. Дані руху судна отримані за допомогою супутникової навігаційної системи GPS, антена приймача сигналу якого, розташована на правій частині верхнього містка, є нерухомою.

4. Під час зниження швидкості починає працювати ефект розвороту носу судна вправо, відповідно кормова частина починає рух вліво, а судно загалом рухається вперед. Тобто антена GPS братиме участь у спільному поступальному й обертовому рухах, тому показник швидкості судна на екрані GPS – це сумарна швидкості обох рухів.

5. О 08 год 36 хв, коли було дано «Самий малий хід назад», вплив від обертання гвинта не змінював поступального руху, але о 08 год 37 хв ми очікувано маємо сумарний рух судна. Беручи до уваги швидкість судна  $V_c$  рівною 3.4 вузла, переведемо її у метри/хвилину, використовуючи формулу (1):

$$V_c = \frac{3.4 \times 1852}{60} = 104.9 \quad (1)$$

6. О 08 год 37 хв у разі розвороту судна на  $15^\circ$  від початкового курсу зміщення положення антени  $V_a$  (м/хв) буде таким:

$$V_a = \frac{43 \times \sin 15}{1} = 113.9; \quad (2)$$

а швидкість судна  $V_c$  (м/хв) при зменшенні до 2,9 вузла становитиме:

$$V_c = \frac{2.9 \times 1852}{60} = 89,51; \quad (3)$$

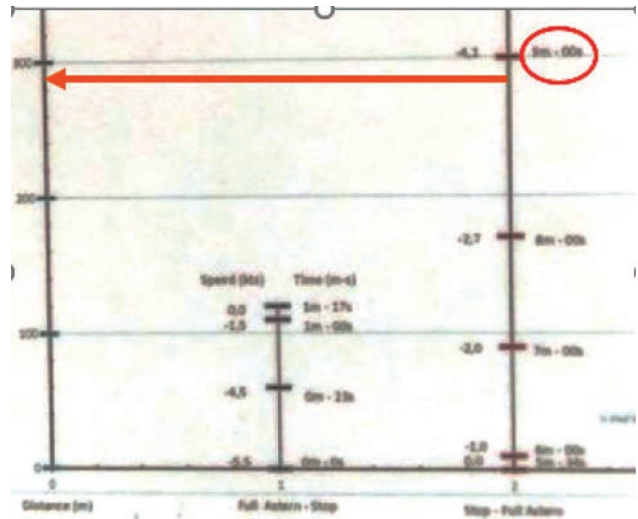


Рис. 4. Таблиця гальмування судна [6]

7. Сумарний вектор швидкості від обох рухів:

$$V = \sqrt{(V_c)^2 + (V_a)^2} = \sqrt{8012,63 + 123,86} = 90,20 \text{ м/хв} = 2,92 \text{ вузла.}$$

На цьому прикладі стає очевидним, що збільшення величини сумарної швидкості від руху антени GPS у двох напрямках значно не збільшується, і швидше за все головний двигун судна міг помилково працювати на передній хід протягом однієї хвилини, тому виявляється, що вплив людського елементу на цю подію є беззаперечним.

Необхідно також розглянути дії останнього моменту. Чи можливо було уникнути навал судна на причал і пошкоджень? Чи були застосовані усі засоби для запобігання цієї події? Інформація, представлена а акті, зводиться до пошуку явища «потоків води» коли головний двигун працює на задній хід і гребний вінт обертається у протилежному напрямку. Ці дії виконували капітан судна, отримавши запит від лоцмана, і капітан буксиру «Александрія», і судові офіцери згідно з наказом капітана. Цілковито розуміло, що пошук «потоків води» є фактом появи «тунельного зору» як у капітана судна, так і у лоцмана. На цій стадії у більшості фахівців (осіб, котрі приймають рішення) зникає можливість виконувати якісний аналіз для прийняття такого рішення. На жаль, така ситуація є дуже поширеною і впливає на дії останнього моменту.

На думку авторів, в останню мить, незважаючи на той факт, що буксири не були закріплені, лоцман мав можливість використати роботу буксирів на притискання рухомого судна до причалу № 18. Це дозволило би значно посилити сили тертя і зупинити судно у межах безпечної відстані від причалу № 17, однак через вплив «тунельного зору» лоцман і капітан судна забули про наявність

буксирів біля судна і не використали цю можливість для запобігання зіткнення із причалом.

**Висновки.** Спираючись на професійний досвід, можна зробити висновок, що ця аварійна морська подія викликана низкою факторів, серед яких: індивідуальний фактор людського елемента, такий як стрес, що є домінуючим. Рівень стресу почав значно підвищуватися у лоцмана та капітана судна у зв'язку з відхиленнями від первинного плану виконання швартовної операції. Офіційно підтверджено, що місце виконання операції по закріпленню буксирів було декілька разів змінено, а це поступово викликало підвищення рівня стресу. Спілкування на містку, запитання лоцману цілком підтверджує факт зростання стресу і появу «тунельного зору» як у лоцмана, так і у капітана судна. У такому стані не можливо очікувати прийняття розумних рішень, і не використання буксирів в останній момент є яскравим підтвердженням цієї гіпотези. Іншим фактором, який мав вплив на цю подію, є невідповідність буксирів своїм характеристикам. Немає жодних відповідей на питання: «Чому буксири не були спроможні наздогнати судно в акваторії порту?». Майже на усіх треках ми бачимо, що буксири не встигають зайняти свої місця відповідно до первинної вказівки лоцмана. Необхідно також відзначити роль оператора ЦРПС «Чорноморськ» у цій події. Згідно із [3]

оператор ЦРПС відповідає за підтримку безпеки судноплавства на акваторії порту, а це покладає на нього відповідальність контролю за рухом суден, дотримання вимог із безпеки тощо. Чому оператор не попередив лоцмана про рух судна із підвищеною швидкістю на підході до первинного місця виконання кріплення буксирів? Чому не був попереджений лоцман про небезпечну швидкість судна під час підходу до причалу? Цих «чому» велика кількість. Це вказує на суттєві недоліки в організації та проведенні операцій щодо підтримки безпеки в акваторії порту. Тому на підставі вищезначеного вважаємо, що висновок комісії про відсутність вини у інших сторін даної події є помилковим. Суттєві зміни у цих напрямках повинні мати місце для запобігання таких випадків у майбутньому.

Статистика подібних випадків на судах світового флоту констатує такий самий висновок, що виконання змін у первинному плані маневрування суден або виконання швартувань викликає суттєве зростання рівня стресу серед капітанів і лоцманів. У багатьох провідних суднохідних компаніях, у керівництвах для капітанів суден прямо відзначено, що у жодному разі не слід підтримувати таких змін (за винятком випадків форс-мажору) і потрібно негайно усувати лоцмана від своїх обов'язків у разі виникнення таких випадків.

#### Список літератури:

1. Акт розслідування аварійної події, що сталася в акваторії Чорноморського морського порту 22.10.2021 року близько 08 год 37 хв з т/х «НАКСА».
2. Інформація щодо руху т/х НАКСА в акваторії порту, надані ДП «Делта-лоцман», згідно «Обов'язкових постанов по порту Чорноморськ».
3. Демин С.И., Жуков Е.И., Кубачев Н.А. Управление судном. Москва : Транспорт, 1991. 359 с.
4. Калініченко Є.В. Вдосконалення алгоритмів інформаційного забезпечення маневрування суден : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.13. Одеса, 2017. 252 с.
5. Суднова «Таблиця маневрених елементів».
6. Abramowicz Gerigk T. & Hejmlich A. Human factor modelling in the risk assessment of port manoeuvres. *The international journal on marine navigation and safety of sea transportation*. 2015. Vol. 9. Number 3.
7. Baker Clifford C., Seah Ah Kuan. Maritime accidents and human performance: the statistical trail". American Bureau of Shipping. Singapore, September 22–24, 2004. Reprinted with the kind permission of MARTECH 2004, Singapore.
8. Cooper, C.L., Dewe, P.J., & O'Driscoll, M.P. Organizational stress: A review and critique of theory, research, and applications. London: Sage, 2001.
9. Мельник О.М., Бичковський Ю.В. Сучасна методика оцінки рівню безпеки судна та шляхи його підвищення. *Розвиток транспорту*. 2021. № 2 (9) С. 37–46. DOI:10.33082/td.2021.2-9.03.
10. Мельник О.М., Бичковський Ю.В. Врахування фактору стресу у системі забезпечення безпеки мореплавства. *Вчені записки ТНУ ім Вернадського. Технічні науки*. 2021. № 32 (71) № 4. С. 260–264.
11. Melnyk, O., Bychkovsky, Y., Voloshyn, A. (2022) Maritime situational awareness as a key measure for safe ship operation. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*. 114. P. 91–101. DOI: <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2022.114.8>
12. Burmaka, I., Vorokhobin I., Melnyk, O., Burmaka, O., Sagin, S. Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to alter Ship's Course or Speed. *Transactions on Maritime Science*. 2022. № 11 (1). DOI: 10.7225/toms.v11.n01.w01.

13. Onyshchenko, S., Shibaev, O., 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.

**Bychkovskiy Yu.V., Melnyk O.M. THE ROLE AND PLACE OF THE HUMAN ELEMENT OF THE VESSEL COLLISION SITUATION WITH THE BERTH**

*This article analyzes the marine incident that resulted in the collision of the M/V HAKSA with the berth, which occurred in January 2021 in the commercial sea port of Chornomorsk, necessitating the need to address the topic, which is extremely relevant and discussed at different levels, the importance of constant consideration of the individual factors of the human element to ensure the safety of navigation. In the process of the investigation the documents of official investigation of the incident from the side of the appointed committee, which was established according to the order of the Captain of the port of Chornomorsk, were examined and it was found that the real reasons for the incident were not found, additionally the necessary ways to prevent these incidents were not defined, which in some way causes the risk of occurrence of similar incidents and their recurrence in the future, leading to significant consequences for the general safety of the ship, the port, the environment. Considering this disadvantage, the authors, on the basis of the investigation, conducted their own research of the circumstances and causes in order to analyze the sequence of events that led to this incident. While performing this task, the authors by no means intended to diminish the committee's conclusions on the degree of fault of the vessel's captain, this fact is not controversial. In order to achieve the results, the main goal was to identify the facts that would allow to prevent these failures in the process of ensuring safe operation of the ship. Taking into account the fact that these facts were not given adequate attention in the investigation materials, for unknown reasons. As a result, it was found that this marine incident is the result of the influence of some factors, among which the stress as an individual factor of the human element is dominant and the connection between the increase of its level and the circumstances which are not anticipated.*

**Key words:** human element, safety of navigation, marine incidents.

UDC 656.7.025

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/42>**Volkovska G.G.**

National Aviation University

**Zhukova S.O.**

National Aviation University

## EFFICIENCY OF AVIATION TRANSPORT ENTERPRISES IN A PANDEMIC

*The article is investigated the consequences of the pandemic on air transport activities of Ukraine. The introduction of quarantine had significant negative consequences for the activities of transport market operators in Ukraine. The establishment of severe restrictive measures included complete cessation of passenger transport, which caused significant losses to various categories of operators: bus carriers; large corporations engaged in railway transportation (Ukrzaliznytsia) and air transport (UIA, SkyUp).*

*Quarantine has negatively affected rail cargo transportation, volume of which has decreased significantly in the first months of pandemic. The situation was even worse in the field of air cargo transportation: total ban on international flights has forced airlines to suspend operations. In general, during this period, the main problem for domestic transport services operators in Ukraine was the strategic uncertainty in the future and the constant changes in policy to ensure transportation in different countries. Under such conditions, transport companies were not able to respond and give clear answers to their customers inquiries. Operators were forced to return significant funds for booking unused tickets to customers; maintain aircraft fleets for an indefinite period, etc.*

*This situation has led to the cessation of travel planning by customers and the decline in operating performance of domestic transport operators (especially airlines) by almost 100%.*

*Since the next two years, according to experts, unfortunately, will not be able to overcome the coronavirus pandemic in the world, air transport companies, like everyone else, will have to adapt to the difficult situation of quarantine restrictions and reduced mobility of people around the world, reducing the volume of tourism and identify opportunities for the development of its activities in such conditions.*

**Key words:** *civil aviation, traffic volumes, airlines, pandemic COVID-19, ways (directions) out of the crisis.*

**Formulation of the problem.** The global situation related to COVID-19 and the restrictions imposed by countries to counter its spread have directly affected the world aviation industry, including Ukraine. World economy has undergone significant changes due to the spread of COVID-19 pandemic and the introduction of quarantine and restrictive measures to curb its spread. Such changes, according to experts, will inevitably lead to reorientation in consumption and use of own production facilities in many countries.

**Analysis of recent research and publications.** In 2020, there were many publications that determine the impact of coronavirus and security measures provoked by it (quarantine) on the world economy, oil prices, labor market trends, forecasts of the world economy as a whole and individual countries. Many authors point to detrimental effects of coronavirus pandemic on industries such as tourism, air transport and other industries.

In particular, domestic scientists N.O. Grisyuk, T.V. Sak predict an increase in transport costs, development of e-commerce and logistics logistics, development of local production, maintaining the

trend towards remote staff work, reducing foreign travel, including business, which together will reduce demand for passenger transport services [1].

T.I. Efimenko in the article “Transformations of financial management and sustainable development of the national economy” characterizing reduction of Ukraine economy, the reason notes “mostly negative impact of quarantine restrictions due to the pandemic COVID-19” [2].

G.W. Kolodko considers the global consequences of pandemic on economies of both rich and poor countries, changes in exchange rates, possible social unrest and political sentiment in some countries and regions [3].

In 2020, many publications appeared on the impact of coronavirus pandemic and its means of overcoming the economic performance of air transport companies in Ukraine and the world in periodicals and on Internet, in the media, problematic and journalistic articles.

However, there are almost no publications on this topic in the scientific literature. But such external factor as the COVID-19 pandemic requires

comprehensive and thorough research, including the impact on economic activities of aviation companies.

**Formulation of article goals.** The main article goal is to assess the impact of coronavirus pandemic on transport activities of Ukrainian aviation enterprises and, based on the generalization of practical experience, offer recommendations for airlines development in the context of COVID-19 pandemic.

**Presenting main material.** Air transport accounts for a small share of GDP, but is closely linked to other sectors. Aviation sector is a key factor in many other economic activities. Air transport is a key factor for the lower sectors, as it allows for several economic activities through trade in goods and services.

Given the gradual public understanding that air transport is a tool for the dissemination of COVID-19, between March 2020 and May 2020, airlines began to implement a wide range of flights.

First, the suspension of flights had a uniform effect on the number of international and domestic flights. Probably May 2020 can be considered the

month with the fewest flights in recent aviation history. After that, many airlines began to reopen domestic flights – mainly due to initial success in the fight against the first wave of pandemic, as well as the beginning of summer (holiday) season in the Northern Hemisphere. At a very extreme level, this effect can be observed in China and Russia, where the share of active domestic flights reaches about 90% of the initial value (in January 2020). Similar observations can be made for Japan, which uses air travel to ensure movement between its islands. In fig. 2 compares the number of international and domestic air traffic from January 2020 to August 2020.

In the long run, the impact of COVID-19 on global air transport system looks deeper in the international market. This shift from international to domestic traffic poses challenges for airlines, especially in the use of aircraft, which can make the aircraft fleet a decisive factor in survival of airlines. Other notable examples of countries reactions are Germany and the United Kingdom, which have

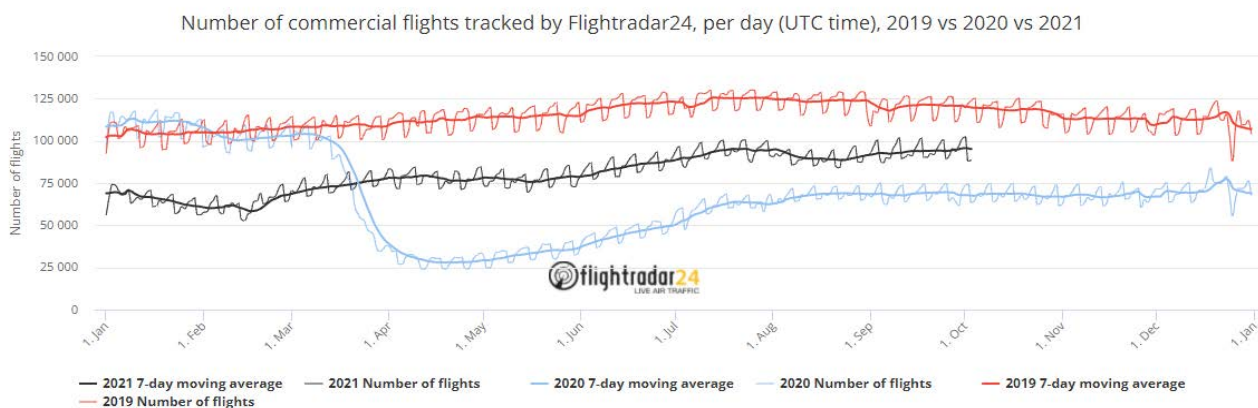


Fig. 1. Comparative analysis of the number of commercial flights in 2019, 2020 and 2021 [4]

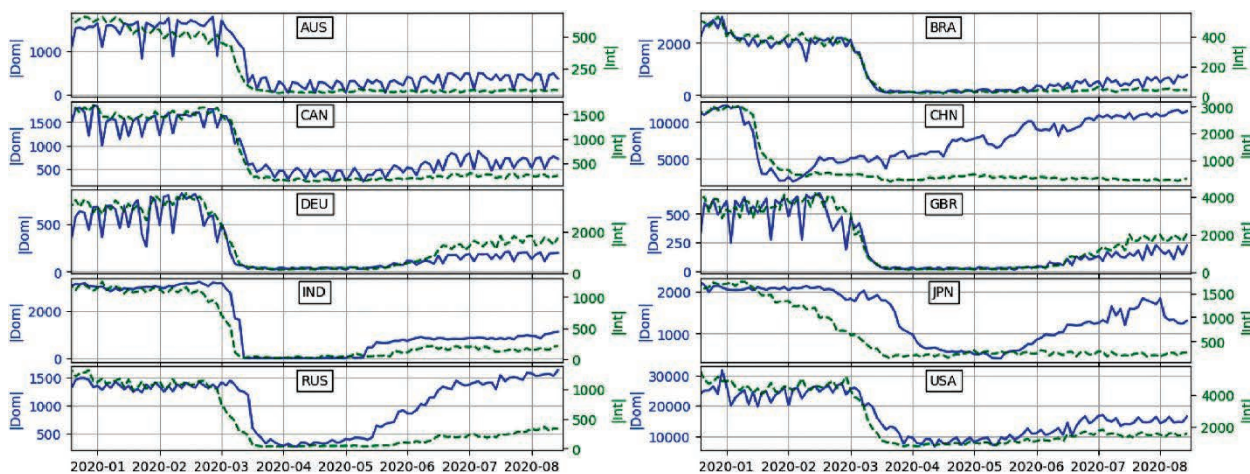


Fig. 2. Number of domestic and international flights for selected countries during the COVID-19 pandemic from January 2020 to August 2020 [5]



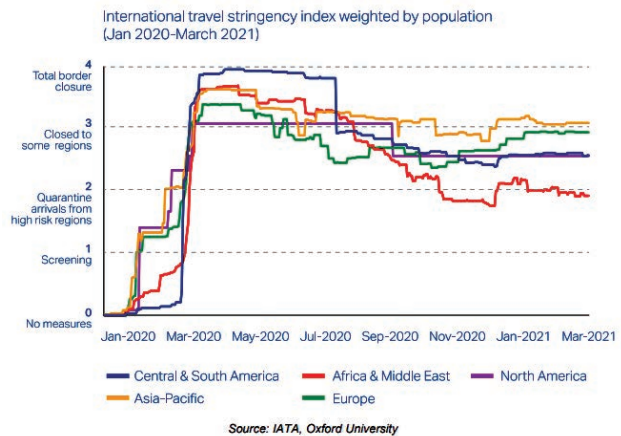
apparently introduced resumption of international flights through their flagship carriers Lufthansa and British Airways. In particular, freight flights have not been significantly affected, given the need to transport medical equipment and the ambition to maintain the exchange of critical goods across borders.



**Fig. 3. Air Canada passenger Boeing 777 convertible for cargo on the upper deck due to declining demand for passenger traffic during the COVID-19 pandemic**

COVID-19 has significantly affected the processes at airports: rules of social distancing combined with requirements of inspection have led to changes in passenger service. COVID-19 pandemic is causing drastic changes at airports, especially for operations that affect the safety and waiting times of passengers, leading to a conflict between safety and passenger comfort: in the presence of the virus, social distancing significantly affects airport capacity.

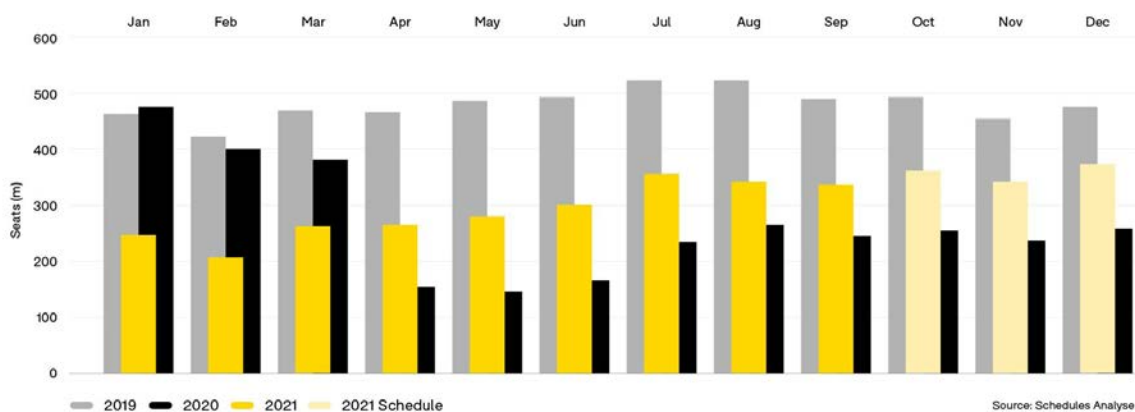
For example, researchers have found that waiting time for passengers at Taoyuan International Airport (Republic of China) is unacceptable once it exceeds 20 minutes. Ideally, airports should overcome current challenges to maintain passenger comfort and safety while keeping prices low.



**Fig. 4. Period of restrictions on passenger safety during the COVID-19 pandemic by region**

During COVID-19 pandemic, the issue of boarding passengers has changed dramatically: instead of finding a quick approach, consider the safest approach to seat all passengers without significantly increasing boarding time. In other words, how to change/use the position of seats and boarding the aircraft to minimize number of possible infections that occur during boarding/flight. In general, the International Air Transport Association (IATA) recommends keeping distance of 1–2 m between passengers at all times, trying to ensure social distance. It is difficult to maintain this distance with most seating methods; in fact, for the strict application of this rule, two rows must be left blank between each passenger. In addition, social distancing during seating requires not only a proper seating strategy, but also the readiness of passengers for social distancing, which may have a dominant impact on seating result.

Because airlines are for profit-making businesses, they make individual decisions about seating



**Fig. 5. Number of passenger seats in 2019, 2020 and 2021**

strategies, and these decisions are never driven solely by safety. Instead, profit-oriented airlines must compromise between economic performance and the impact of different health risks. For example, American Airlines announced the filling of all seats, as far as possible, which was not approved by epidemiologists and politicians. Accordingly, the seating strategies used during COVID-19 differ on most airlines. Examples of passenger seating strategies in some airlines are given in tab.1.

Table 1  
**Passenger seating strategies at some airlines during the COVID-19 pandemic [5]**

Airline	Procedure
Alaska Airlines	Empty middle seat
Delta Air Lines	Empty middle seat; from end to beginning in a row
Easyjet	By seat number
Go Air	From start to finish (seating through the door at the end of aircraft)
Hainan Airlines	At random
Southwest Airlines	In groups of 10 passengers
United Airlines	From end to beginning in a row; business class – the last
Wizzair	Empty middle seat

It is known that airlines have particularly high capital costs. For example, typical airline has the finances to cover only about two months of downtime, which apparently puts airlines at high risk due to COVID-19 pandemic. There are two main reasons for country to survive: maintaining key links and protecting millions of jobs in industries that are directly or indirectly affected.

Financial support of unprofitable enterprises of aviation complex through compensation of expenses is of great importance for preservation of aviation business and exit from crisis. Most governments around the world support air transport industry by establishing soft loans, providing non-repayable financial assistance, and introducing various benefits and preferences. The US government has allocated \$ 40 billion to support its airlines. European airlines also received financial assistance: Ryanair received a grant of 600 million pounds from the British government, “Air Europa” – 475 million euros from the Spanish government, “Lufthansa” – 9 billion euros from the German government, “Australian Air Lines” – 600 million euros from the Austrian. The total amount of financial support for air transport from governments of the world in 2020 amounted to 145,282 million euros, which allowed a number of airlines to avoid bankruptcy [6].

**World Scheduled Passenger Traffic by Airline Type, 2020**

Passenger Traffic	Traditional/Legacy Carriers		Low Cost Carriers		Leisure Carriers		Total	
	2020	% Change	2020	% Change	2020	% Change	2020	% Change
Passengers Carried (thousands)	1,200,555	-59.9	583,724	-60.3	22,784	-72.2	1,807,063	-60.2
Revenue Passenger-Kilometres (millions)	2,160,337	-66.6	757,176	-62.6	69,480	-73.3	2,986,993	-65.9
Available Seat-Kilometres (millions)	3,404,892	-57.1	1,090,678	-54.0	93,808	-68.6	4,589,378	-56.7
Passenger Load Factor	63.4%	-18.0	69.4%	-16.1	74.1%	-13.1	65.1%	-17.4
Revenue Tonne-Kilometres (millions)	431,298	-49.9	75,802	-62.3	6,974	-72.4	514,074	-52.7
Available Tonne-Kilometres (millions)	736,145	-41.8	117,463	-54.2	10,953	-68.1	864,561	-44.5
Weight Load Factor	58.6%	-9.4	64.5%	-13.8	63.7%	-9.9	59.5%	-10.4

Fig. 6. Statistics of scheduled passenger air transportation in 2020 by type of airline

**World Scheduled Passenger and Cargo Traffic, 2020**

World Scheduled Services	International		Domestic		Systemwide	
	2020	% Change	2020	% Change	2020	% Change
Passengers Carried (thousands)	476,043	-74.8	1,331,020	-49.8	1,807,063	-60.2
Cargo Tonnes Carried (thousands)	37,729	-10.4	19,801	-5.4	57,529	-8.7
Revenue Passenger-Kilometres (millions)	1,373,881	-75.5	1,613,112	-48.8	2,986,993	-65.9
Available Seat-Kilometres (millions)	2,167,755	-68.3	2,421,623	-35.8	4,589,378	-56.7
Passenger Load Factor	63.4%	-18.6	66.6%	-16.9	65.1%	-17.4
Cargo Tonne-Kilometres (millions)	197,407	-11.1	33,935	-0.8	231,342	-9.7
Available Cargo Tonne Kilometres (millions)	335,488	-22.4	94,528	-17.7	430,016	-21.4
Cargo Load Factor	58.8%	7.5	35.9%	6.1	53.8%	7.0
Revenue Tonne-Kilometres (millions)	330,715	-56.5	183,359	-43.9	514,074	-52.7
Available Tonne-Kilometres (millions)	545,045	-50.0	319,516	-31.6	864,561	-44.5
Weight Load Factor	60.7%	-9.1	57.4%	-12.6	59.5%	-10.4

Fig. 7. Statistics of scheduled passenger and cargo air transportation for 2020

Ukrainian government promises, but is in no hurry, to provide financial assistance to Ukrainian airlines. Grants and compensation for the costs of evacuation charter flights were promised, but so far these decisions have not been implemented. This is despite the fact that all Ukrainian airlines have worked at a loss.

**Conclusions.** According to the results of 2020, the civil aviation of Ukraine, as well as the world, was in a deep crisis due to the COVID-19 pandemic and its negative impact on airlines: direct bans on flights (lockdowns), negative impact of quarantine on effective demand of population, as well as the introduction of various restrictions on flights around the world and Ukraine.

State support is primarily provided to selected national airlines in each country, which have often benefited from COVID-19. Although this motivation seems reasonable for each country, given that aviation is considered a key strategic sector, combination of financial assistance leads to problems in the global context: size, distribution of different types of financial assistance raises concerns about competition between airlines, as this will have long-term implications for international air transport market in the future. In the days before COVID-19, airlines could receive

financial assistance from the private sector (banks or investors), but during COVID-19 pandemic, these private investors became extremely cautious due to the uncertainty of aviation economic future. Accordingly, grants offered by governments (direct wage subsidies, tax breaks, loans, etc.) may be the only option for airlines. But government intervention will create winners and losers among airlines, which will clearly change the “competitive landscape” for years to come and affect travelers and citizens.

The main tools for overcoming the crisis of Ukraine civil aviation are the following:

- to seek financial support for air transport from the country during COVID-19 pandemic;
- to improve the operational management of air transportation process by reforming structure of flights in the direction of increasing the volume of charter flights;
- pay more attention to air cargo transportation, which is practically not affected by COVID-19 pandemic;
- solve the problem of cost savings, but not by reducing the quality and safety of transportation;
- to increase the level of competitiveness of Ukraine air transport;
- integrate domestic and international flights.

#### References:

1. Грицюк Н.О., Сак Т.В. Вплив пандемії covid-19 на світову економіку. *Збірник наукових праць Економічний простір*. 2021. № 165. С. 33–38. URL: [https://doi.org/10.32782/2224-6282/165-6\\_26d521c1](https://doi.org/10.32782/2224-6282/165-6_26d521c1) (дата звернення: 23.12.2021).
2. Єфименко Т.І. Трансформації фінансового управління і сталий розвиток національної економіки. *Економіка України*. 2020. № 7. С. 5–13.
3. Kolodko G.W. After. Economics and politics of the post-pandemic world. *Voprosy Ekonomiki*. 2020. № 5. P. 25–44 (in Russ.) URL: [https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-5-25-44\\_26d521c1](https://doi.org/10.32609/0042-8736-2020-5-25-44_26d521c1) (дата звернення: 23.12.2021).
4. Flightradar24 Statistics. URL: <https://www.flightradar24.com/data/statistics> (дата звернення: 23.12.2021).
5. COVID-19 pandemic and air transportation: Successfully navigating the paper hurricane / X. Sun, S. Wandelt, C. Zheng, A. Zhang. *Journal of Air Transport Management*. 2016. Vol. 94. P. 1–13. URL: [https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102062\\_26d521c1](https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2021.102062_26d521c1) (дата звернення: 23.12.2021).
6. Коба В.Г., Пилипенко О.В. Вплив пандемії covid-19 на господарсько-економічну діяльність цивільної авіації України. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Економіка і управління»*. 2021. Вип. 49. С. 23–31.
7. World Air Transport Statistics, Media Kit Edition 2021. URL: <http://www.iata.org/contentassets/a686ff624550453e8bf0c9b3f7f0ab26/wats-2021-mediakit.pdf> (дата звернення: 23.12.2021).
8. COVID-19 and the aviation industry: Impact and policy responses. URL: <https://www.oecd.org/coronavirus/policy-responses/covid-19-and-the-aviation-industry-impact-and-policy-responses-26d521c1> (дата звернення: 23.12.2021).
9. Flight Data Sets. URL: <https://www.oag.com/flight-data-sets> (дата звернення: 23.12.2021).

#### Волковська Г.Г., Жукова С.О. ЕФЕКТИВНІСТЬ ДІЯЛЬНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ

У статті досліджуються наслідки впливу пандемії на авіаційну транспортну діяльність України. Уведення карантину суттєво негативно вплинуло на діяльність операторів ринку транспортних послуг в Україні. Запровадження жорстких обмежувальних заходів включало повну зупинку пасажирського транспортного сполучення, що спричинило істотні збитки різним категоріям операторів: автобусним

перевізникам; великим корпораціям, які займаються залізничними перевезеннями («Укрзалізниця») та авіасполученням («МАУ», «SkyUp»).

Карантин негативно вплинув на залізничні вантажні перевезення, обсяги яких за перші місяці поширення пандемії суттєво зменшилися. Ще гірша ситуація спостерігалася у сфері авіаційних вантажних перевезень: повна заборона на здійснення міжнародних перельотів призвела до того, що авіакомпанії були вимушені зупинити свою роботу. Загалом у цей період для вітчизняних операторів ринку транспортних послуг в Україні головною проблемою стала стратегічна невизначеність у подальшій діяльності й постійні зміни в політиці щодо забезпечення транспортних перевезень у різних країнах світу. За таких умов транспортні компанії не мали можливості реагувати та давати чіткі відповіді на запити своїх клієнтів. Оператори змушені були повертати значні фінансові кошти за бронювання невикористаних квитків клієнтам; утримувати на невизначений термін парки літаків тощо.

Така ситуація призвела до припинення планування поїздок клієнтами й падіння операційних показників вітчизняних операторів транспортних перевезень (передусім авіакомпаній) майже на 100%.

Оскільки в найближчі два роки, на думку експертів, на жаль, не вдасться здолати пандемію коронавірусу у світі, підприємствам авіаційного транспорту, як і всім іншим, доведеться адаптуватися до непростой ситуації, що зумовлена впровадженням карантинних обмежень і зниженням мобільності населення різних країн світу, різким скороченням обсягів туристичної діяльності, і визначити можливості розвитку своєї діяльності в таких умовах.

**Ключові слова:** цивільна авіація, обсяги перевезень, авіакомпанії, пандемія COVID-19, шляхи (напрями) виходу з кризи.

УДК 656.135.073.42:63

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/43>**Грищук О.К.**

Національний транспортний університет

**Петрик А.В.**

Національний транспортний університет

**Козлов А.К.**

Національний транспортний університет

**Бура О.М.**

Національний транспортний університет

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ІНТЕГРОВаних СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ВИРОБНИЧИМИ ПРОЦЕСАМИ МІЖНАРОДНОГО СПРЯМУВАННЯ

У статті детально проаналізовано особливості транспортного обслуговування регіональних, експортних і транзитних вантажопотоків. Визначено перспективи формування інфраструктури транспортних мереж на прикладі функціонування митно-логістичних систем міжнародного спрямування. Розглянуто особливості виконання транспортно-виробничих процесів у цій галузі для наявних і перспективних технологій проведення логістико-орієнтованих операцій, визначено завдання щодо ресурсного забезпечення митно-логістичних систем наявних господарських структур.

Зазначено, що для забезпечення надійного перевезення об'єднаної експортної партії при випадковому попиті на транспортні послуги виникають помітні зміни експлуатаційних показників. Крім того, функціонування кожної транспортно-виробничої системи передбачає сукупність якісно визначених елементів, поміж якими існує закономірний зв'язок або взаємодія, що становлять її структуру.

Акцентовано увагу на тому, що зазначеним вимогам відповідають митно-логістичні системи, що сформовані як сукупність технічних засобів, інфраструктурних елементів матеріально-технічної бази та методів забезпечення доставки вантажів від постачальників до споживачів за визначені терміни з високою якістю й заданим економічним рівнем надання митно-логістичних послуг.

З використанням основних положень теорії оптимізації матеріальних ресурсів запропоновано методу мінімізації транспортно-логістичних витрат на прикладі обслуговування транзитних та експортних зернових вантажопотоків. Розрахована залежність узагальненої вартості транспортно-логістичних послуг для обслуговування експортної партії зернових вантажів за умов дотримання відповідної продуктивності окремих інфраструктурних елементів транспортного терміналу.

**Ключові слова:** митно-логістичні системи, транспортно-виробничі процеси, пропускна здатність, транспортні вузли, технологічні характеристики, інфраструктурні елементи.

**Постановка проблеми.** В умовах скоординованого розвитку зовнішньоекономічних зв'язків і міжнародної торгівлі головними факторами успішного соціально-економічного зростання держави з метою забезпечення її конкурентоздатності на світовому ринку, стають інтенсифікація інноваційної діяльності виробничих структур та оптимальне використання національних ресурсів. Зазначена ситуація особливо стосується транспортної сфери як основи інтеграційних процесів світової економіки [1, с. 178]. Крім того, запровадження цифрових технологій дає змогу використовувати транспорт за більш ефективним і раціональним сценарієм роз-

витку. Виробничий потенціал транспортної системи України за умови її інтеграції в регіональну митно-логістичну мережу полягає передусім у створенні й формуванні відповідної інфраструктури для обслуговування транзитних та експортних вантажопотоків. Розвиток спеціалізованої діяльності транспортних вузлів вимагає модернізації існуючих і будівництва нових об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури [2, с. 365]. А з урахуванням можливості формування регіональної логістичної мережі для обслуговування експортних і транзитних вантажопотоків першим кроком її створення має бути визначення оптимальних

технологічних характеристик інфраструктури транспортних вузлів у системі зазначених перевезень. У загальній стратегії розвитку транспортно-логістичних комплексів важливим є розрахунок оптимальних характеристик кожної зі складників окремого транспортного вузла [3, с. 81].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій щодо наукового дослідження транспортно-технологічних процесів у логістичних системах на прикладі перевезень зернових вантажів у міжнародному сполученні свідчить про відсутність тісного взаємозв'язку між умовами формування вантажоутворюючих масивів і технологіями обслуговування зазначених матеріальних потоків [4, с. 332]. Водночас системний аналіз проблеми оптимізації інфраструктурного забезпечення перевізних процесів міжнародного спрямування вимагає розгляду зазначених елементів як взаємопов'язаних суб'єктів господарської діяльності з урахуванням впливу навколишнього середовища під час виконання перевезень [5, с. 44]. Тобто для надійного й економічного митно-логістичного забезпечення зовнішньоторговельної діяльності окремих суб'єктів економіки актуальним є питання створення відповідної інфраструктури з використанням наявної матеріально-технічної бази транспортних систем [6, с. 408]. Формування кожної із зазначених систем передбачає створення відповідних математичних моделей для обґрунтування оптимальної сукупності якісно визначених елементів, поміж якими повинен існувати закономірний зв'язок або взаємодія, які становлять структуру самої системи [7, с. 67]. Таким вимогам відповідають транспортно-виробничі системи міжнародного спрямування, що сформовані як сукупність технічних засобів, інфраструктурних елементів, методів забезпечення перевізного процесу у визначені терміни та з високою якістю обслуговування [8, с. 218].

**Виклад основного матеріалу.** Від ефективності управління митно-логістичними системами залежать безпека держави, розвиток її економіки й людського потенціалу. Розроблення ефективної системи управління зазначеними транспортно-виробничими процесами сприятиме транскордонному співробітництву, збільшенню доходів державного та місцевих бюджетів, розвитку туризму і спрощенню інших форм законного руху осіб, послуг і товарів. Водночас митно-логістичні системи повинні бути закриті для всіх видів незаконної діяльності, що загрожують стабільності держави.

Інтегроване управління митно-логістичними системами – це скоординована діяльність компе-

тентних державних органів, спрямована на створення й підтримання балансу між забезпеченням належного рівня безпеки країни і збереженням відкритості її економіки для законного транскордонного співробітництва, а також для осіб, які подорожують.

У зв'язку зі збільшенням обсягів накопичення та доставки зернових вантажів, а відповідно і ускладненням завдань транспортного обслуговування, більш актуальним стає взаємоузгоджене використання інфраструктури різних видів транспорту. Тому ключовими напрямками діяльності спеціалізованих терміналів у транспортних вузлах є дотримання термінів накопичення та переробки експортних партій вантажів. Зважаючи на випадковий характер постачання вантажів на переробку й неможливість суттєвого збільшення добового обсягу робіт щодо обслуговування зернових вантажопотоків, транспортні вузли повинні розраховувати на необхідні потужності наявного складського господарства або мати можливість на припортовій залізничній станції тимчасово накопичувати необхідний обсяг вантажу. З використанням зазначених передумов процес експортного перевезення зерна розглядається як упорядкований набір послідовних технологічних операцій, коли кінцевий результат попередньої є вихідною умовою для виконання наступної. Окремі складники зазначеного процесу характеризуються відповідними показниками використання інфраструктури. Саме тому визначення інтегрованих показників обслуговування таких вантажопотоків дає змогу зробити висновок про ефективність функціонування відповідної транспортної системи в цілому.

Загальновідомо, що системи транспортного обслуговування функціонують і розвиваються за умов певної невизначеності. З упровадженням ринкових відносин досить важко, а іноді й неможливо дати точні значення певних параметрів математичної моделі особливо в умовах прогнозування розвитку транспортних процесів на майбутнє. А у випадках, Коли фактичні показники суттєво відрізняються від їх середнього значення, що взяті за основу при побудові математичних моделей і визначенні оптимальних планів, існують певні ризики в прийнятті управлінських рішень. Тому митно-логістичне обслуговування експортних вантажопотоків може розглядатися як довільна система, призначена для виконання поставлених завдань. У такому випадку процес формування інфраструктури транспортних систем моделюється як сукупність дій, підпорядкованих досягненню визначеної мети (рис. 1).

За таких обставин, коли відомі числові характеристики математичного розподілу відповідних параметрів окремої транспортної системи, для обґрунтування комплексу організаційних заходів щодо формування інфраструктурного забезпечення перевезень доцільно використовувати методи стохастичного програмування.

Головною метою використання стохастичних моделей і методів для оптимізації виробничого процесу в транспортних системах є врахування всього діапазону зміни можливих значень інфраструктурних параметрів. Причини такої поведінки вхідної інформації в економіко-математичних моделях транспортного спрямування пояснюються як розподілом сільськогосподарських вантажопотоків в просторі та часі, так і технічним станом окремих елементів системи, а також впливом погодно-кліматичних умов на характеристики перевізного процесу в агропромисловому комплексі. Практичне застосування стохастичних

моделей у процесі формування інфраструктури транспортних систем для обслуговування зернових вантажопотоків дає змогу не лише забезпечити відповідну достовірність і визначену точність поточних розрахунків, а й вирішити низку виробничих завдань, розв'язання яких із застосуванням лише детермінованих моделей стає практично неможливим.

Прийняття рішень за результатами аналізу випадкового характеру перевізних процесів в інтегрованих транспортно-виробничих системах істотно залежить від цільових засад та інформаційної структури математичних моделей. Тому завдання раціонального розподілу матеріальних ресурсів у термінах стохастичного програмування формулюється як визначення вектора  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , за умови якого результати функції, крім керованих параметрів  $X$ , залежать ще й від деяких випадкових величин  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ , для компонент яких вибрана функція може бути оптимізована

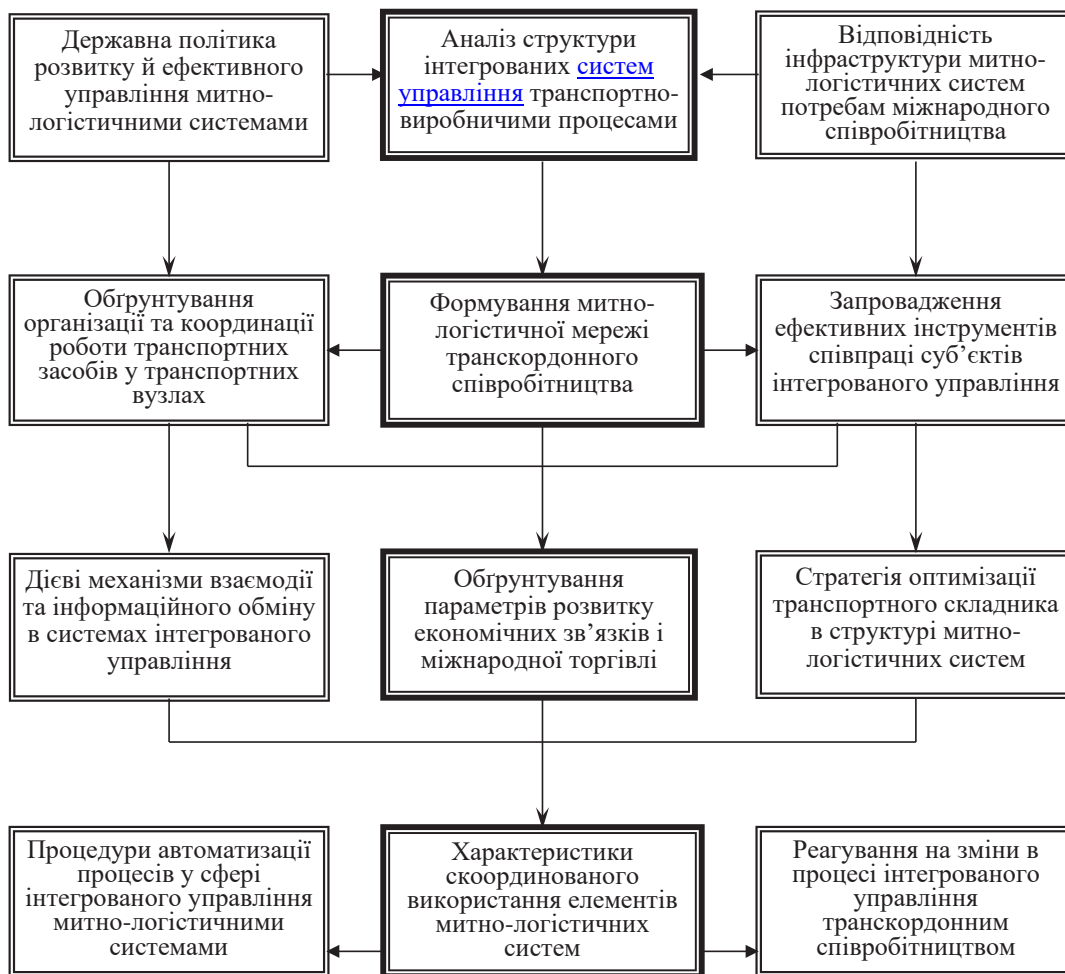


Рис. 1. Формування інфраструктури митно-логістичних систем для комплексного обслуговування вантажопотоків міжнародного спрямування

як  $\max(\min) F = f(X, \omega)$ . Залежно від можливості отримання та врахування інформації стосовно стохастичності функцій  $f(X, \omega)$ ,  $q_i(X, \omega)$  умовою постановки завдання математичного програмування має бути наявність відповідних параметрів цільової функції та детермінованих обмежень.

Ураховуючи, що  $\bar{Q}_i(X)$  нормально розподілена випадкова величина, зазначені обмеження з використанням функції нормального закону розподілу можна записати таким математичним виразом:

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i(X)} \int_{-\infty}^0 \exp\left\{-\frac{(\xi - \bar{\Delta}_i)^2}{2\sigma_i^2(X)}\right\} d\xi \geq p_i, \quad (i = \overline{1, m}). \quad (1)$$

Для зручності використання запропонованих економіко-математичних моделей позначимо  $\Phi(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^T e^{-\frac{\xi^2}{2}} d\xi$ . Тоді нерівність (1) можна звести до компактного вигляду:

$$\Phi\left(-\frac{\bar{\Delta}_i(X)}{\sigma_i(X)}\right) \geq p_i, \quad \text{звідки } \bar{\Delta}_i(X) + \Phi^{-1}(p_i)\sigma_i(X) \leq 0 \quad (2)$$

За умови використання в математичній залежності (2) числових значень різниць  $\bar{Q}_i(X)$  матриці  $A(\omega)$  і вектора  $B(\omega)$  та середньоквадратичного відхилення  $\sigma_i(X)$  отримаємо нерівність:

$$\Phi^{-1}(p_i) \sqrt{\sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_j^2 + \theta_i^2} \leq \bar{b}_i - \sum_{j=1}^n \bar{a}_{ij} x_j, \quad (i = \overline{1, m}) \quad (3)$$

У такому випадку початкову стохастичну задачу транспортного обслуговування зернових вантажопотоків зведено до детермінованого аналогу з лінійною цільовою функцією та нелінійними обмеженнями (3):

$$\min F = \sum_{j=1}^n \bar{c}_j x_j \quad (4)$$

Важлива перевага використання математичних моделей стохастичного програмування полягає в можливості застосування основних теоретичних положень для створення оперативних і перспективних планів розвитку транспортних систем. Розробка стратегії розвитку інфраструктурного забезпечення вимагає врахування не тільки всіх можливих значень факторів  $\omega$ , що впливають, а й перспективи траскторії розвитку транспортної сис-

теми. У такому випадку відбувається послідовний процес вибору кінцевого рішення із застосуванням багатоетапних моделей стохастичного програмування. Водночас запропонована методика математичного моделювання процесу обслуговування вантажопотоків дає змогу враховувати випадковий характер числових значень окремих інфраструктурних елементів інтегрованої системи.

З урахуванням зазначених теоретичних положень, для прикладу параметра з явно вираженим випадковим характером у транспортно-виробничій системі міжнародного спрямування була вибрана випадкова величина продуктивності припортового зернового терміналу  $D$ . Числове значення продуктивності  $D$  має випадковий характер, а щільність його розподілу в загальному випадку може бути описана нормальним законом:

$$f(D) = \frac{1}{\sigma_D \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(m_D - D)^2}{2\sigma_D^2}}, \quad (5)$$

де  $m_D, \sigma_D$  – відповідно математичне очікування та середньоквадратичне відхилення параметра  $D$ .

Застосування запропонованого розподілу дає змогу визначити ймовірність забезпечення планової продуктивності зернового терміналу  $p(D)$  як випадкової величини. З огляду на зазначені теоретичні передумови, обґрунтовано значення розрахункової місткості митно-ліцензійних складів як функцію зміни добової продуктивності зернового терміналу  $D$  за умови значення коефіцієнта варіації  $v_D = 20\%$  (таблиця 1).

Проведені розрахунки переконливо доводять необхідність застосування в транспортно-технологічному процесі експорту зернових проміжних пунктів накопичення та зберігання зазначених вантажів. А підвищення надійності функціонування  $p(D)$  зернового терміналу з обробки залізничних вагонів вимагає збільшення місткості  $M$  митно-ліцензійних складських приміщень. Так, зміна показника  $p(D)$  в межах від 0,70 до 0,95 на прикладі функціонування Одеського морського торговельного порту потребує додаткових вільних міст-

Таблиця 1

**Розрахункові значення корисної місткості митного терміналу припортової залізничної станції, т**

Імовірність досягнення проектної продуктивності $p(D)$	Добова проектна продуктивність $D$ митного припортового терміналу з обробки зернових вантажопотоків, т								
	1800	2100	2400	2700	3000	3300	3600	3900	4200
0,50	54	186	318	447	576	708	840	969	1098
0,70	138	279	420	567	714	858	1002	1146	1290
0,75	162	309	456	603	750	897	1044	1194	1344
0,80	186	339	492	645	798	948	1098	1251	1404
0,85	216	375	534	690	846	1005	1164	1320	1476
0,90	258	416	582	741	900	1071	1242	1404	1566
0,95	318	489	660	837	1014	1185	1356	1530	1704



костей  $M$  зазначених складських приміщень від 3,0 тис. т для значення  $D = 30$  ваг./добу до 6,9 тис. т для значення  $D = 70$  ваг./добу. Визначена тенденція пояснюється перерозподілом обсягів перевезення за транспортними схемами постачання.

**Висновки.** Підвищення ймовірності забезпечення проектної продуктивності  $p(D)$  призводить до збільшення обсягів перевезення вантажів в об'єднаній експортній партії, що переміщуються з використанням інфраструктурних елементів попереднього накопичення зерна. Диференційований аналіз надійності обслуговування зернових вантажопотоків виявив необхідність диверсифікації наявних маршрутів і використання наявної інфраструктури транспортних систем. А подальший розвиток спектру перевізних послуг, збільшення пропускної здатності транспортних вузлів і покращення економічності перевезень сприяє подальшому розвитку експортних і транзитних

перевезень зернових вантажів. Оскільки морські торговельні порти України є природними транспортними вузлами в маршрутній мережі, то вирішальними факторами ефективного використання окремих інфраструктурних елементів у більшості випадків може бути надання не тільки перевізних, але й логістичних послуг.

У процесі проведення розрахунків були отримані результати для визначення оптимальних технологічних характеристик інфраструктури, які з урахування особливостей функціонування транспортних вузлів дозволяють цілеспрямовано знаходити шляхи підвищення ефективності роботи всієї митно-логістичної системи. Практичну цінність роботи становлять методологія оцінки впливу випадкового характеру технологічних факторів на особливості виконання процесу перевезення зернової продукції й рекомендації щодо шляхів підвищення ефективності функціонування транспортних систем.

#### Список літератури:

1. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*. 2019. Vol. 34. № 2. P. 175–186.
2. Finding an optimal location of line facility using evolutionary algorithm and integer program / T. Tajji, S-I. Tanigawa, N. Kamiyama, N. Katoh, A. Takizawa. *Journal of Computational Science and Technology*. 2008. № 2 (3). P. 362–370.
3. Prokudin G., Remekh K., Maidanyk K. The efficiency of the runsystem application in international freight transportation. *Politechnika Rzeszowska*. 2017. № 10. P. 79–86.
4. Sonmez A.D., Lim G.J. A decomposition approach for facility location and relocation problem with uncertain number of future facilities, *European Journal of Operational Research*. 2012. Vol. 218. № 2. P. 327–338.
5. The model to optimize deliveries of perishable food products in supply chains / T. Vorkut, L. Volynets, O. Bilonog, O. Sopotsko, I. Levchenko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 5. P. 43–50.
6. Crainic T., Perboli G., Rosano M. Simulation of intermodal freight transportation systems: a taxonomy. *European Journal of Operational Research*. 2018. Vol. 270. № 2. P. 401–418.
7. Implementation of innovative technology for evaluating high-speed rail passenger transportation / I. Kulbovskiy, O. Bakalinsky, O. Sorochynska, V. Kharuta, H. Holub, P. Skok. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. № 6. P. 63–72.
8. Ritzinger U., Puchinger J., Hartl R. A survey on dynamic and stochastic vehicle routing problems, *International Journal of Production Research*. 2015. Vol. 54. № 1. P. 215–231.

#### Gryshchuk O.K., Petryk A.V., Kozlov A.K., Bura O.M. PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF INTEGRATED SYSTEMS OF MANAGEMENT OF TRANSPORT AND PRODUCTION PROCESSES OF INTERNATIONAL DIRECTION

*The article analyzes in detail the features of transport services of regional, export and transit cargo flows. Prospects for the formation of transport network infrastructure are identified on the example of the functioning of customs and logistics systems of international orientation. The peculiarities of the implementation of transport and production processes in this area for existing and promising technologies for logistics-oriented operations are considered, the tasks for resource provision of customs and logistics systems of existing economic structures are identified. It is noted that in order to ensure reliable transportation of the combined export party in case of accidental demand for transport services, there are significant changes in performance. In addition, the functioning of each transport and production system involves a set of qualitatively defined elements, between which there is a natural connection or interaction that constitutes its structure. Emphasis is placed on the fact that these requirements are met by customs and logistics systems, formed as a set of technical means, infrastructure elements of material and technical base and methods of ensuring delivery of goods from*

*suppliers to consumers in a timely manner with high quality and economic level of customs and logistics services. Using the basic provisions of the theory of optimization of material resources, a method of minimizing transport and logistics costs is proposed on the example of servicing transit and export grain cargo flows. The dependence of the generalized cost of transport and logistics services for servicing the export consignment of grain cargoes is calculated under the conditions of observance of the corresponding productivity of separate infrastructural elements of the transport terminal.*

**Key words:** *customs and logistics systems, transport and production processes, capacity, transport nodes, technological characteristics, infrastructure elements.*

УДК 620.170.16

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/44>**Дакі О.А.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Штрибець В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Трофименко А.О.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Ліганенко В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Тришин В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## МЕТОДИ КОНТРОЛЮ СТАНУ ПІДШИПНИКІВ СУДНОВОГО ВАЛОПРОВОДУ

*У статті проведено аналіз причин відомих пошкоджень і відмов суднових валопроводів і підшипників кочення. На підставі комплексного аналізу навантажень на валопроводи в процесі роботи визначено їх можливі дефекти. Аналіз вітчизняних і закордонних робіт у галузі контролю технічного стану механічних систем дає змогу стверджувати про доцільність та ефективність використання методів віброакустичної діагностики. Виявлено основні фактори, які визначають умови експлуатації підшипників валопроводів. Складено схему експлуатаційних пошкоджень підшипників валопроводів. Визначено процеси, що призводять до важких задирів або катастрофічного зносу й виходу з ладу підшипників валопроводів. Розроблено схему застосування основних методів діагностики підшипників кочення та виділення віброакустичних методів.*

*У 90% випадків відмови механізмів передують підвищення рівня вібрації. При реальних умовах експлуатації машин установлено, що «між характеристиками вібрації машини та її технічним станом існує прямий зв'язок».*

*Найбільш ефективні при оцінці й прогнозуванні технічного стану різних об'єктів є п'єзоелектричні акселерометри, завдяки ним можна вимірювати вібрацію в широкому частотному й амплітудному діапазонах. Застосування віброакустичної діагностики не тільки виявляє вже розвинену несправність, що дає змогу запобігти руйнуванню, а й дає змогу знайти дефект на дуже ранній стадії. У цьому випадку можна прогнозувати аварійну ситуацію та вчасно планувати термін та обсяг ремонтних робіт. Оскільки руйнування підшипників відбувається раптово, то головне в діагностиці їх стану – виявлення дефектів до того, як трапилася серйозна поломка.*

*Аналіз методик оцінки технічного стану підшипників ВП СЕУ за зміною динамічних характеристик підтверджує, що перспективним напрямом є безрозбірна діагностика. Використання систем технічного діагностування дає змогу виконувати оцінку технічного стану підшипників ВП СЕУ в період експлуатації. Чисельні лабораторні дослідження свідчать, що виділення з вібросигналу імпульсного складника від ушкодження ефективніше досягається при використанні вейвлет-аналізу.*

**Ключові слова:** валопровід, вібродіагностика, контроль стану, судновий двигун, підшипник.

**Постановка проблеми.** Однією з причин аварій на морському транспорті є відмова вузлів та агрегатів суднової енергетичної установки (далі – СЕУ). Ресурс СЕУ визначається технічним станом осно-

вних деталей у її складі – «двигун внутрішнього згоряння» (далі – ДВЗ) – «валопровід» (далі – ВП) – «гребний гвинт» (далі – ГГ). Слабким елементом цього ланцюга є ДВЗ, оскільки в умовах реальної

експлуатації для нього характерний широкий діапазон зміни швидкісного та навантажувального режиму, у зв'язку з цим виникають динамічні явища в системі, що негативно позначається на технічному стані всієї СЕУ. За статистичними даними, через відмови вузлів СЕУ може не працювати до 20% вантажних суден судноплавних компаній. Важливою є відсутність можливості прогнозування виходу з ладу основних деталей, що вносить значну дезорганізацію в основні процеси судноплавної компанії. Більшість дефектів приходить на деталі, механізми й обладнання, які недоступні для безпосереднього контролю. До таких деталей, наприклад, належать підшипники колінчатих валів (далі – КВ) ДВЗ, підшипники та шестірні реверс-редукторних агрегатів і підшипники гребних валів (далі – ГВ). Розбирання судових ВП з метою контролю технічного стану окремих його вузлів, як правило, сполучено зі значними труднощами, виведенням з експлуатації судна в цілому, часто буває невиправданим. Крім цього, досвід експлуатації та ремонту машин, механізмів, обладнання СЕУ свідчить, що розбирання призводить до прискорення зносу деталей, оскільки порушує приробіток сполучень.

При належному технічному стані підшипники ВП можуть експлуатуватися протягом багатьох років, але на практиці робочі умови рідко бувають ідеальними. Тому контроль та оцінювання технічного стану підшипників судових ВП для забезпечення працездатності СЕУ є актуальним науково-практичним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз вітчизняних і закордонних робіт у галузі контролю технічного стану механічних систем дає змогу стверджувати про доцільність та ефективність використання методів віброакустичної діагностики. Дослідження й розробки в галузі виміру динамічних характеристик представлені в роботах С.П. Глушкова, Б.О. Лебедева, О.М. Барановського, В.С. Поповича, Л.В. Єфремова, R.B. Randall, M.G. Srinivasan, W.J. Wang, Deng Xiaomin, Quail Wang та ін. Дослідження в галузі віброакустичної діагностики безпосередньо підшипників наведено в роботах Р.Я. Коллакота, А.В. Баркова, Н.А. Баркової, В.А. Руссова, М.Д. Генкіна, А.Г. Соколової, А.А. Мінцова.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка методів контролю й оцінювання технічного стану та ідентифікації пошкоджень підшипників ВП СЕУ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Судновий ВП при-

значений для передачі обертового моменту (далі – ОМ) від ДВЗ до ГГ, сприйняття осьових зусиль упора, створюваних гвинтом при його обертанні, з подальшою передачею зусиль через упорний підшипник корпусу судна. Судновий ВП належить до тих елементів СЕУ, відмова яких для всіх одногвинтових суден призводить до повної втрати керованості судна, як наслідок, катастрофи. На рис. 1 наведений ВП СЕУ, що являє собою вал, що несе на консолях масу – ГГ.

На рис. 1 позначено таке: 1 – гвинт; 2 – дейдвудні підшипники; 3 – дейдвудна труба; 4 – гребний вал; 5 – ущільнюючий пристрій; 6 – сполучна напівмуфта; 7 – опорні підшипники; 9 – проміжні вали; 10 – судовий фундамент; 11 – упорний вал; 12 – упорний підшипник; 13 – упорний гребінь; 14 – вал двигуна або вал передачі від двигуна (наприклад, із редуктором).

У процесі руху судна ВП має складний напружений стан, який викликається дією ОМ силової установки, осьової сили від упора ГГ та впливом деформації корпусу судна.

Навантаження, що діють на судовий ВП, можуть бути розділені на систематичні та випадкові. До систематичних навантажень належать:

- величина ОМ ГД;
- сила ваги конструктивних елементів;
- передана від ГГ сила;
- гідродинамічний момент, який з'являється на ГГ через нерівномірності швидкостей потоку води, що набігає на нього;

– контактний тиск у місці посадки гвинта на вал;

– згинальні моменти ВП, які обумовлені пружною деформацією корпусу судна.

До випадкових навантажень належать:

- монтажні викривлення ВП, згинальні моменти та реакції на його опорах;
- згинальні моменти реакції на опорах ВП, викликані зносом третьових підшипникових пар;
- згинальні моменти й реакції на опорах ВП, викликані пружною деформацією корпусу під дією хвилювання;

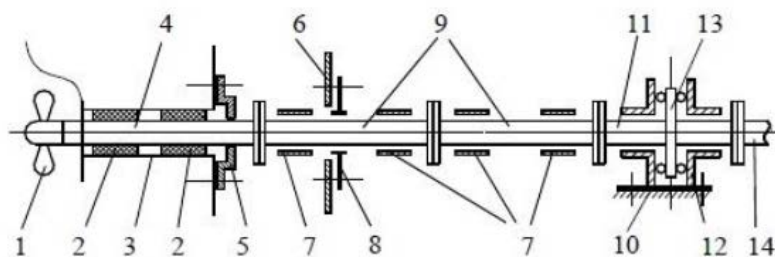


Рис. 1. Судновий валопровід

- навантаження від неврівноваженості конструктивних елементів;
- сили інерції при крені та диференті судна;
- динамічні навантаження при зіткненнях з перешкодами корпусу або ГГ.

Обертальний момент вала двигуна є величиною змінною. Його величина залежить від зміни значень суми тангенціальних зусиль по всіх циліндрах головного двигуна (далі – ГД) за один оберт, а так само від моментів інерції всіх обертових деталей двигуна. Зміни величини ОМ викликають обертальні коливання ВП, які також належать до систематичних навантажень.

Струмені потоку води, що набігають на ГГ, мають різну швидкість руху по площі його лопатей, що є причиною зміни опору його обертанню та сили упора. Різні значення сили упора зумовлюють появу поперечних і паралельних коливань гідродинамічного характеру.

Динамічний характер навантажень приводить до виникнення під час роботи ГГ складного та змінного в часі напружено-деформованого стану матеріалу валів: колінчатого, проміжного, гребного, обумовленого напружками вигину, крутіння й розтягання – стиску.

Наявні в інженерній практиці аналітичні підходи до оцінки міцності колінчатих, проміжних, гребних валів мають деяку невизначеність кінцевих результатів, оскільки не враховують комплексного впливу навантажень і не дають реальної картини напружено-деформованого стану всього вала. Крім того, через складні умови експлуата-

ції виникає низка випадкових (непрогнозованих) навантажень, які компенсуються запасами міцності [4]. Усі навантаження, що виникають у судових ВП, можна розділити за способами та видами впливу, а також упорядкувати у вигляді схеми, наведеної на рис. 2.

Особливу небезпеку для ВП містять подовжні (осьові) коливання. Подовжні коливання, впливаючи на ВП, викликають такі дефекти:

- тріщини галтелі кривошипа колінчатого вала;
- тріщини фундаменту упорного підшипника;
- тріщини лопатей ГГ;
- фретинг-корозію підшипників ВП;
- руйнування ВП.

Внаслідок впливу обертальних коливань на ВП утворюються такі дефекти:

- втомні тріщини різних ділянок ВП;
- фретинг-корозія ВП;
- втомні руйнування колінчатого вала;
- втомні руйнування ГГ;
- збільшення навантаження на опорні підшипники.

Усі обертальні коливання, які виникають у ВП, мають знакозмінний характер і зумовлені дією періодичних сил від кривошипу колінчатого вала та лопатей гвинта, що викликають закручування й розкручування окремих мас [3].

У практиці, щоб уникнути небезпечного резонансного режиму роботи судового ДВЗ, установлюють зону заборонених оборотів.

Поперечні коливання з’являються в результаті дисбалансу, зумовленого ексцентриситетом мас роторів і їх сполучних елементів при експлуатації й ремонті. Особливу небезпеку становить критична частота обертання, при якій виникає биття вала, що викликає додаткове навантаження на підшипники.

Пошкодження підшипників в експлуатаційних умовах можуть бути умовно розділені на групи (рис. 3).

Надзвичайно великі навантаження або частоти обертання, погане змащення та забруднення поверхонь є причиною втомного руйнування підшипників, що проявляється у вигляді викрашування доріжок кілець і тіл кочення.

На рис. 4 схематично виділено зовнішні ознаки, за якими можна робити висновок про вид пошкодження підшипника.



Рис. 2. Систематизація навантажень і дефектів валопроводу

У розвитку дефектів підшипника за весь термін служби можна виділити п'ять стадій (рис. 5).

На першій стадії з'являється й починає розвиватися якийсь дефект, виникають і постійно збільшуються ударні коливання. Відбувається виникнення дефекту в процесі експлуатації. Далі енергія віброімпульсів у підшипнику досягає свого максимального значення, що призводить до саморозвитку дефектів. Подальша стадія – це саморуйнування підшипника.

Автори робіт [3; 4] довели, що в 90% випадків відмові механізмів передусє підвищення рівня вібрації. При реальних умовах експлуатації машин установлено, що «між характеристиками вібрації машини та її технічним станом існує прямий зв'язок».

Застосування віброакустичної діагностики не тільки виявляє вже розвинену несправність, що дає змогу запобігти руйнуванню, а й допомагає знайти дефект на ранній стадії. У цьому

випадку можна прогнозувати аварійну ситуацію та вчасно планувати термін та обсяг ремонтних робіт. Оскільки руйнування підшипників відбувається раптово, то головне в діагностиці їх стану – виявлення дефектів до того, як трапилася серйозна поломка.

Віброакустичні методи визначення технічного стану ПК можна розділити на три групи (рис. 6).

Вимір та обробка віброакустичних процесів за допомогою обчислювально-вимірального містить послідовність дій, спрямованих на досягнення визначеної мети (рис. 7).

Збір діагностичної інформації починають із перетворення механічних величин в електричні за допомогою датчиків вимірювань коливання. При вимірі параметрів вібрації найбільше поширення отримали індукційні, індуктивні, ємнісні, тензорезистивні, п'єзоелектричні перетворювачі [2].

Тензорезистивними, індуктивними, ємнісними перетворювачами доцільно одночасно



Рис. 3. Схема експлуатаційних пошкоджень підшипників кочення



Рис. 4. Схема зовнішніх ознак пошкодження підшипника кочення



Рис. 5. Стадії розвитку дефекту підшипника в часі

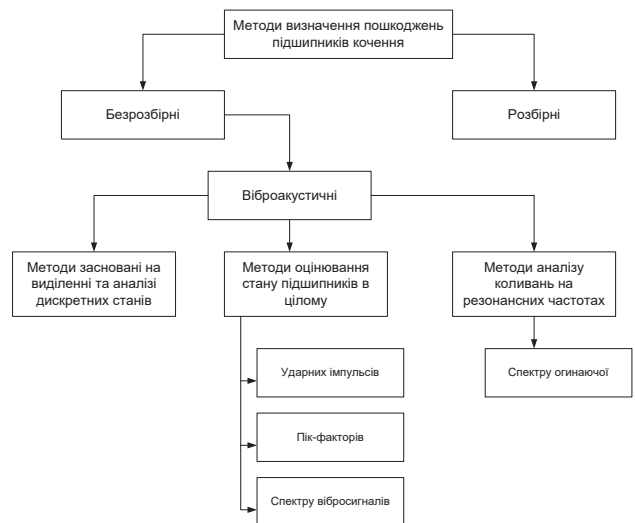


Рис. 6. Схема основних методів діагностики підшипників кочення та виділення віброакустичних методів

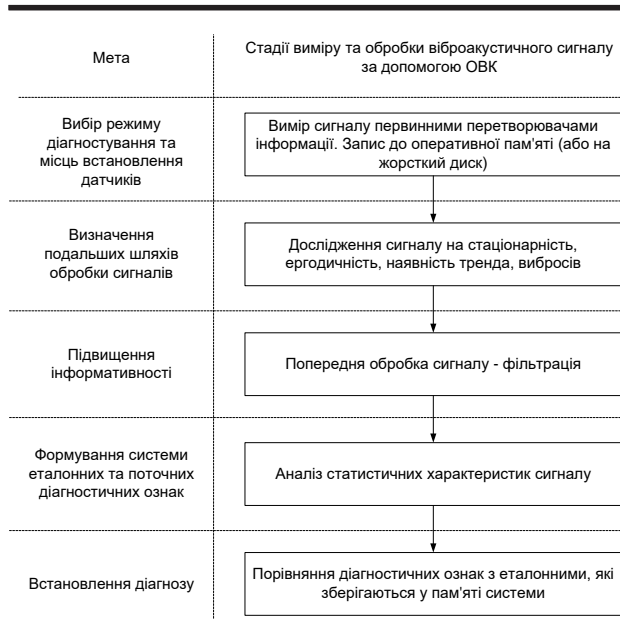


Рис. 7. Схема роботи обчислювально-вимірювального комплексу

вимірювати змінний і постійний складники динамічного процесу.

Найбільш ефективні при оцінці та прогнозуванні технічного стану різних об'єктів є п'єзоелектричні акселерометри, завдяки ним можна вимірювати вібрацію в широкому частотному й амплітудному діапазонах.

**Висновки.** Аналіз методик оцінки технічного стану підшипників ВП СЕУ за зміною динамічних характеристик підтверджує, що перспективним напрямом є безрозбірна діагностика.

Використання систем технічного діагностування дає змогу виконувати оцінку технічного стану підшипників ВП СЕУ в період експлуатації.

Чисельні дослідження свідчать, що виділення з вібросигналу імпульсного складника від ушкодження ефективніше досягається при використанні вейвлет-аналізу.

#### Список літератури:

1. Идентификация поврежденных подшипников судовых валопроводов / С.С. Глушков, Б.О. Лебедев, В.В. Коновалов, Н.С. Ткаленко. *Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост.* 2013. № 2. С. 200–204.
2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. *Виброакустическая диагностика машин и механизмов.* Москва : Машиностроение, 1987. 283 с.
3. *Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов* / Ф.Я. Балицкий, М.А. Иванова, А.Г. Соколова, Е.И. Хомяков. Москва : Наука, 1984. 119 с.
4. Коллакот Р.А. *Диагностирование механического оборудования.* Ленинград : Судостроение, 1980. 296 с.
5. Соколова А.Г. *Методы и средства технической диагностики зарождающихся эксплуатационных дефектов механизмов. Точность и надежность механических систем* : сборник научных трудов. Рига, 1984. С. 38–48.
6. Явленский К.Н., Явленский А.К. *Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем.* Москва : Машиностроение, 1983. 239 с.
7. Purification and feature extraction of shaft orbits for diagnosing large rotating machinery / D.F. Shi, W.J. Wang, P.J. Unsworth, L.S. Qu. *Journal of Sound and Vibration.* 2005. P. 581–600.
8. Артоболевский П.И., Генкин М.Д., Сергеев В.И. *Задачи акустической динамики машин и конструкций. Акустическая динамика машин и конструкций* : сборник. Москва : Наука, 1973. С. 3–6.
9. Кунце Х.И. *Методы физических измерений* / пер. с нем. Москва : Мир, 1989. 216 с.
10. Shabaueh N.H., Jean Zu W. *Dynamic analysis of rotor-shaft systems with viscoelastically supported bearing.* *Mech. and Mach. Theory.* 2000. Vol. 35. № 9. P. 1313–1330.

Daki O.A., Shtrybets V.V., Trofymenko A.O., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V.

#### METHODS FOR MONITORING THE STATE OF SHAFT DRIVE BEARINGS

*The article analyzes the causes of known damage and failures of ship shafts and rolling bearings. On the basis of the complex analysis of loadings on shaft pipelines in the course of work their possible defects are defined. The analysis of domestic and foreign works in the field of control of a technical condition of mechanical systems allows to assert about expediency and efficiency of use of methods of vibroacoustic diagnostics. The main factors that determine the operating conditions of shaft bearings are identified. The scheme of operational damages of bearings of shaft pipelines is made. Processes that lead to severe burrs or catastrophic wear and failure of shaft bearings have been identified. The scheme of application of the basic methods of diagnostics of rolling bearings and allocation of vibroacoustic methods is developed.*

*In 90% of cases, the failure of the mechanisms is preceded by an increase in vibration. Under real operating conditions of the machines, the following was established: "there is a direct connection between the vibration characteristics of the machine and its technical condition".*

*Piezoelectric accelerometers are the most effective in assessing and forecasting the technical condition of various objects, thanks to which it is possible to measure vibration in a wide frequency and amplitude range. The use of vibroacoustic diagnostics not only detects an already developed malfunction, which prevents the destruction, but also allows you to find the defect at a very early stage. In this case, it is possible to predict the emergency situation and plan in time and the amount of repair work. Since the destruction of bearings occurs suddenly, the main thing in diagnosing their condition – to identify defects before a serious breakdown.*

*The analysis of methods for assessing the technical condition of bearings SE SEU by changing the dynamic characteristics confirms that a promising area is disassembled diagnostics. The use of technical diagnostic systems allows you to assess the technical condition of the bearings of SEU during operation. Numerous laboratory studies show that the separation of the pulse component from the vibration signal from the damage is more effectively achieved using wavelet analysis.*

**Key words:** *shaft drive, vibration diagnostics, condition monitoring, marine engine, bearing.*



УДК 621.431

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/45>**Дакі О.А.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Штрибець В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Трофименко А.О.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Ліганенко В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Тришин В.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКАЗНИКІВ СУДНОВИХ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

*Основні напрями економічного розвитку України передбачають підвищення всіх форм якості, ефективності, надійності й екологічної безпеки продукції машинобудування. Це повною мірою стосується перспектив розвитку дизелебудування, у тому числі суднового. Переважним джерелом енергії для водного транспорту, багатотоннажних наземних транспортних засобів і деяких видів стаціонарних енергетичних комплексів є дизельні двигуни. Усе це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на розробку й упровадження в практику конструювання та виробництва дизельних двигунів теоретичних, експериментальних і розрахунково-аналітичних принципів обґрунтування їх якісних показників, виходячи з їх функціонального призначення.*

*На сучасному етапі створення нових прогресивних конструкцій, ураховуючи вимоги, що зростають, до якості двигунів, варто по-новому трактувати наукові основи прогресивного проектування, технологічного розвитку й конструювання дизелебудування.*

*Основними завданнями, що вимагають свого рішення, є раціональна організація робочого процесу дизеля при форсуванні, оцінка якості продукції, що виготовляється, відносна й кількісна, що є важливим економічним завданням, яке відіграє важливу роль і вимагає вирішення основних завдань.*

*Необхідний рівень економічності робочого циклу при заданих рівнях форсування двигуна досягається шляхом розумної комбінації обраного типу сумішоутворення, розмірів камери згоряння та її форми, установленими параметрами паливної апаратури та конструктивно-регульовальними показниками. Найбільш доцільним варіантом попередньої оцінки рівня показників робочого циклу є розрахунково-теоретичне дослідження на базі різних математичних моделей. У рамках роботи за основу взято метод визначення показників робочого циклу, швидкості тепловиділення й інтенсивності згоряння на основі дійсних індикаторних діаграм.*

**Ключові слова:** дизельний двигун, кваліметрія, суднобудування, суднова енергетична установка, форсування.

**Постановка проблеми.** Основні напрями економічного розвитку України передбачають підвищення всіх форм якості, ефективності, надійності й екологічної безпеки продукції машинобудування. Це повною мірою стосується перспектив розвитку дизелебудування, у тому числі суднового. Переважним джерелом енергії для водного транспорту, багатотоннажних наземних транспортних засобів і деяких видів стаціонарних енергетичних комплексів слугують дизельні дви-

гуни. Усе це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на розробку й упровадження в практику конструювання та виробництва дизельних двигунів теоретичних, експериментальних і розрахунково-аналітичних принципів обґрунтування їх якісних показників, виходячи з їх функціонального призначення. Значна частина сучасних досліджень з оцінки та прогнозування надійності двигуна пов'язує цей фактор тільки з кількісними показниками: середній ефективний тиск, час-

тота обертання колінчатого вала, рівень теплової напруженості, розміри циліндра тощо.

Однак надійність двигуна визначається змінами в процесі експлуатації первинних помилок у результаті зношування. Тут вихідним положенням є те, що параметрична надійність – це один із основних показників якості, який проявляється в часі та відображає зміни, що відбуваються в двигуні в процесі його експлуатації. Отже, правильне конструювання двигуна має супроводжуватися відповідним розрахунковим обґрунтуванням його надійності, у тому числі й надійності елементів (деталей, вузлів та агрегатів), що входять до його складу.

На сучасному етапі створення нових прогресивних конструкцій, ураховуючи вимоги, що зростають, до якості двигунів, варто по-новому трактувати наукові основи прогресивного проєктування, технологічного розвитку й конструювання дизелів. Тому науковою основою сучасного та перспективного дизелебудування є такий комплекс теоретичних, експериментальних і розрахунково-аналітичних досліджень, який, базуючись на загальних принципах фундаментальної науки й наукових основах прогресивної техніки й технології, має своєю кінцевою метою вирішення конкретних виробничих завдань виготовлення двигунів високої якості в необхідній кількості.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

При виконанні досліджень використовувалися роботи вчених і фахівців у галузі теорії машин, конструювання, виробництва й експлуатації дизельних двигунів: В.А. Ваншейдта, М.М. Іванченка, П.А. Істоміна, М.М. Круглова, А.С. Орліна, Л.І. Погодаєва, В.М. Половінкіна, Ю.Г. Шнейдера, Ю.І. Матвєєва, В.М. Бочкарева, А.Ф. Дорохова, Н.Я. Ях'єєва.

**Завданням статті** є аналіз напрямів модернізації (удосконалення конструкції) малорозмірних двигунів.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Сучасна технологія виробництва суднових дизелів побудована на класичних принципах двигунобудування [1; 2] і полягає в такому:

- виробництво має бути забезпечене заготовками тільки високої якості (повинні використовуватися матеріали зі спеціальними хімічними складами, отримання заготовок має проводитися методами, відповідними до форми готової деталі);
- повинні досягатися високі значення коефіцієнтів запасів міцності й оптимальних припусків на обробку;
- має забезпечуватися принцип єдності й постійності баз;

- прагнення до максимально можливої рівномірності зняття зовнішніх і внутрішніх припусків;
- виробництво здійснюється з використанням програмно-керованого обладнання зі встановленими оперативними системами управління;
- максимально знімається припуск при виконанні операцій чорнової обробки;
- здійснюється багатоінструментальна та багатопозиційна обробка деталей на верстатах агрегатного й карусельного типів;
- забезпечується перехідність операцій фінішної та суперфінішної обробки, при складанні активно використовуються методи повної й групової взаємозамінності.

У результаті, забезпечуючи виконання всіх перерахованих вище принципів, можна досягти необхідного рівня якості двигунів.

Інновація – підсумковий результат упровадження наукового досягнення з метою задоволення потреб ринку (виробництва) шляхом зміни об'єкта управління або одержання економічного, соціального, екологічного, науково-технічного або іншого виду ефекту. Інноваційні процеси являють собою сукупність прогресивних, якісно нових змін у технічному, економічному, організаційному, юридичному й соціальному підході до розвитку суб'єктів господарювання та існування організаційних систем. Нововведення розробляються в науковому середовищі, а розбудовуються в виробничій сфері, утворюючи єдину, цілісну й гармонічну систему.

Отже, інноваційна якість – це якість, яка відповідає його традиційній характеристиці [3] і придбана шляхом упровадження наукових досягнень як оформленого результату прикладних або фундаментальних наукових досліджень у виробництво певного виду промислової продукції.

Дизельні двигуни належать до промислової продукції, згідно з методикою оцінки якості цього виду продукції, виділяється 8 груп показників якості:

- показники призначення – визначають корисний ефект, одержаний від використання обладнання за призначенням, і задають ділянку його застосування;
- показники технологічності – визначають ефективність конструктивно-технологічних рішень, застосованих при виробництві та ремонті продукції, з метою забезпечення високої продуктивності праці;
- показники надійності – характеризують безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість виготовленої продукції;

– показники стандартизації та уніфікації – визначають ступінь використання у виготовленій продукції стандартизованих виробів, а також рівень уніфікації складових частин виробу;

– економічні показники – відображають витрати на розробку, виготовлення й експлуатацію виробів, а також економічну ефективність експлуатації продукції;

– ергономічні показники – визначають систему «людина – виріб – середовище» й ураховують комплекс фізіологічних, антропологічних і гігієнічних властивостей людини, що проявляються у виробничих і побутових процесах;

– патентно-правові показники – визначають ступінь патентоспроможності виготовленої продукції;

– естетичні показники – визначають зовнішні властивості продукції, такі як оригінальність, виразність, відповідність середовищу й стилю.

Оцінка якості продукції, що виготовляється, відносна й кількісна, є важливим науково-технічним завданням. Створення й удосконалення всіх методів оцінки якості, як диференційних, так і комплексних (інтегральних), прогнозування рівня якості, виявлення закономірностей і взаємозв'язків між різними показниками якості, параметрами призначення продукції є завданням наукової дисципліни «кваліметрія». Кваліметрія розглядає якість виробу як ієрархічну сукупність властивостей, що становлять інтерес для кінцевого споживача продукції. Якість у цілому у кваліметрії розглядається на найнижчому рівні ієрархічної сукупності властивостей, а її складники, менш узагальнені властивості – найбільш високому, першому, рівні ієрархії. У свою чергу, кожна з виділених властивостей також може складатися з деякого числа ще менш загальних властивостей, що лежать на ще більш високому (другому) рівні ієрархії. Так утворюється ієрархічне «дерево властивостей», у якому кількість рівнів розгляду може постійно зростати [3].

У кваліметрії оцінка якості проводиться двома можливими способами:

1) знаходженням абсолютного значення показника  $P_{ij}$ ;

2) визначенням відносного значення показника якості  $K_{ij}$ .

У кваліметрії поняття «вимір» та «оцінка» розділяються. Вимір – це обчислення значення показника  $P_{ij}$ , який визначає абсолютне значення цієї властивості в заданих одиницях виміру. Поняття «оцінка» означає результат, отриманий у результаті порівняння значення  $P_{ij}$  з відповідним йому «базовим» значенням  $P_{ij\text{баз}}$ , прийнятим за еталон.

Базовим значенням показників якості вважаються значення показників якості для базової моделі вітчизняного або закордонного виробництва, найвищий рівень якості, що існує на цей момент. Але в цьому випадку необхідно пам'ятати, що ці оцінки завжди будуть суб'єктивними, тому що вибір базової моделі найчастіше є необ'єктивним і прямо залежить від кваліфікації, поінформованості людини, що приймає рішення.

При порівнянні значень показників якості продукції з їх базовими значеннями отримуємо її відносну характеристику, тобто визначимо рівень якості продукції.

Для низки властивостей, які перебувають в ієрархічній структурі дерева властивостей якості, шляхом вимірів або обчислень можна отримати чисельні значення  $P_{ij}$ . Це абсолютні показники властивостей якості ( $j$  – кількість властивостей, що знаходяться на  $i$ -му рівні;  $j = 1, 2, \dots, n$ ). Відносний показник якості  $K_{ij}$  можна обчислити формулою порівняння абсолютного показника якості  $P_{ij}$  і його базового значення  $P_{ij\text{баз}}$ :

$$K_{ij} = f_1(P_{ij}, P_{ij\text{баз}}) \text{ або } K_{ij} = f_2\left(\frac{P_{ij}}{P_{ij\text{баз}}}\right). \quad (1)$$

Усі показники, що визначають якість і надійність, можна розділити на дві групи: показники з більшим і показники з меншим ступенем очевидності.

До неочевидних показників можна віднести ресурсні показники (показники довговічності). Порівнювати показники двигунів вітчизняного й іноземного виробництва складніше за все. Пов'язано це з тим, що кожна фірма просуває свій підхід до об'єму і трудомісткості технічного обслуговування й ремонту вироблених нею двигунів.

Одним із найголовніших складників якості є надійність двигунів, що виготовляються. Тема надійності суднових дизелів є невід'ємною частиною загальної теорії надійності двигунів [1].

Надійність – це властивість об'єкта зберігати в часі в установлених часових рамках значення всіх своїх показників, які характеризують здатність об'єкта виконувати необхідні функції в заданих режимах та умовах застосування, ремонтів, технічного обслуговування, зберігання й транспортування.

У цьому випадку, якщо прийняти в якості узагальненого показника надійності якийсь умовне число, допустиме в межах від 0 до нескінченності, визначальне надійність за його значенням, що наростає, і, позначивши його символом  $D$  (dependable – надійність), можна записати наявну функціональну залежність:

$$D = f_{\Sigma}(N_i, n_i, g_i, t_i, S, R, Y), \quad (2)$$

де  $f_{\Sigma}$  – сукупність показників, які характеризують роботу дизеля, при різних експлуатаційних режимах:  $i = 1 \dots k$ ;  $N$  – потужність двигуна;  $n$  – частота обертання колінчатого вала;  $g$  – питомі витрати палива й мастила;  $R$  – усі види ресурсів;  $t_i$  – регламентний час наробітку;  $S$  – кількість систем, механізмів і вузлів у складі двигуна з власним регламентом;  $Y$  – зовнішні експлуатаційні умови функціонування дизеля (вид навколишнього середовища, періодичність використання).

Показник надійності можна представити у вигляді більш явної залежності – як трансцендентне рівняння:

$$D = \Sigma K (g^y S^m t^z R^x N^r n^h Y^q)^{-1} \quad (3)$$

де  $x, y, z, m, k, r, h, q$  – показники ступеня, які характеризують вагомість кожного аргументу рівняння (2),  $K$  – коефіцієнт пропорційності [3].

При вивченні характеристик якості значну роль відіграє математичне моделювання [3]. Моделювання надійності проводиться з метою формалізації процесів, пов'язаних із виникненням відмов елементів у часі. Залежно від діючих навантажень і внутрішніх властивостей елементів моделювання надійності проводиться з метою формального опису з позиції надійності процесу функціонування системи як процесу взаємодії її елементів при виконанні поставленого завдання.

Насамперед якість і надійність поршневих двигунів, у тому числі суднових, визначаються набором функціональних характеристик, певних для того або іншого двигуна при проектуванні. Здатність конструкторів і безпосередніх виробників досягати необхідного набору характеристик шляхом високоякісної організації робочого процесу, використання якісних матеріалів, задіявши сучасні технологічні методи складання й обробки, методи діагностики та регламентувавши технічне обслуговування, задавши рекомендоване паливо й мастила для двигунів, а головне, урахувати реальні умови експлуатації, створює передумови для якісної й надійної роботи двигунів у всіх можливих потужнісних і швидкісних діапазонах роботи.

Зростання енергетичної ефективності (ЕЕ) ДВЗ може бути забезпечене шляхом збільшення питомої (літрової) потужності за рахунок форсування двигунів за середнім ефективним тиском ( $p_e$ ) або за частотою обертання колінчатого вала ( $n$ ). Форсування за  $p_e$  використовується частіше за все застосуванням газотурбінного або комбінованого наддування, є найпоширенішим способом форсування всіх типів дизелів – високооборотних (ВОД), середньооборотних (СОД) і малооборот-

них (МОД). Форсування за  $n$  характерно для двигунів з невеликими діаметрами циліндрів (80 ÷ 120 мм) у силу невеликих розмірів, що дає змогу в разі підвищення  $n$  мати прийнятні значення сил інерції та використовувати досить малогабаритні схеми механізмів зрівноважування.

Створення малорозмірних дизелів із прогресивними показниками, незалежно від того здійснюється воно на основі модернізації наявних моделей або на основі розробки нових двигунів, пов'язано з вирішенням низки технічних проблем. З одного боку, це – розробка конструкції, що забезпечує надійну роботу при заданих рівнях форсування та необхідних масогабаритних показниках. З іншого боку, відпрацювання робочого процесу для досягнення необхідної паливної економічності, динамічних показників, пускових властивостей.

Основними завданнями, що вимагають свого вирішення, є раціональна організація робочого процесу дизеля при форсуванні, що вимагає вирішення таких основних завдань (рис. 1).

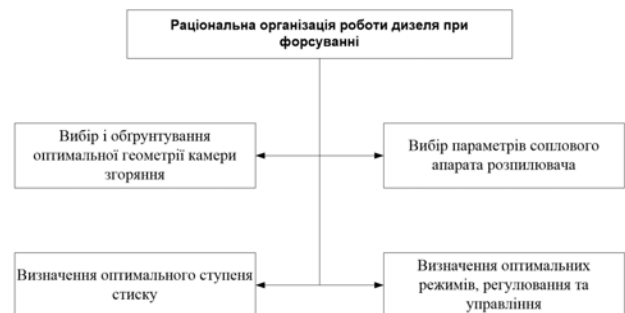


Рис. 1. Завдання, які вирішуються під час організації робіт із модернізації (форсування) двигунів

Стосовно малорозмірних дизелів повинен бути виконана низка досліджень щодо забезпечення якісного газообміну при більших частотах обертання колінчатого вала.

**Висновки.** Необхідний рівень економічності робочого циклу при заданих рівнях форсування двигуна досягається шляхом розумної комбінації обраного типу сумішоутворення, розмірів камери згоряння та її форми, установленими параметрами паливної апаратури й конструктивно-регульовальними показниками.

Найдоцільнішим варіантом попередньої оцінки рівня показників робочого циклу є розрахунково-теоретичне дослідження на базі різних математичних моделей. В основу статті покладено метод визначення показників робочого циклу, швидкості тепловиділення та інтенсивності згоряння на основі дійсних індикаторних діаграм.

## Список літератури:

1. Аддитивные технологии в машиностроении : учебное пособие. Санкт-Петербург, 2014. 324 с.
2. Баева Л.С., Маринин А.А. Современные технологии аддитивного изготовления объектов. *Вестник МГТУ*. 2014. Том 17. № 1. С.7–12.
3. Бисенов А.Р. Выбор основных эксплуатационных показателей перспективных форсированных малоразмерных судовых дизелей. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Морская техника и технология»*. Астрахань, 2011. № 1. С. 79–83.
4. Возницкий И.В., Пунда А.С. Судовые двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. Санкт-Петербург : Моркнига, 2010. Т. 1 : Теория и эксплуатация двигателей. 384 с.
5. Гаврилов В.В., Мащенко В.Ю. Автоматизированный расчёт рабочего цикла судового ДВС : учебное пособие. Санкт-Петербург : ГУВК, 2007. 58 с.
6. Дорохов А.Ф. Разработка методологии, принципов проектирования и модернизации производства судовых малоразмерных дизелей : дисс. ... докт. техн. наук. Санкт-Петербург : ГУВК, 1997. 361 с.
7. Дорохов А.Ф., Проватар А.Г., Воробьёв А.В. Качество и надёжность судовых дизелей. *Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия «Морская техника и технология»*. Астрахань : Издательство АГТУ, 2015. № 2. С. 48–55.
8. Исаев А.П. Рабочий процесс судового ДВС с комбинированным смесеобразованием и воспламенением от сжатия : дисс. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2012. 170 с.
9. Конкс Г.А., Лашко В.А. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта : учебное пособие. Москва : Машиностроение, 2005. 512 с.
10. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Голофастов Э.И. Технические характеристики современных дизелей : справочник. Одесса, 2008. 272 с.
11. Макарова В.И., Бобренева К.Л. Инновационно-инвестиционная деятельность стратегического развития предприятия. *Машиностроитель*. 2010. № 8. С. 45–52.
12. Фейгенбаум А. Контроль качества продукции / пер. с англ., автор предисловия и научн. редактор Н.В. Гличев. Москва : Экономика, 1996. С. 98.
13. Яхьяев Н.Я. Прогнозирование работоспособности судовых двигателей внутреннего сгорания по износу деталей в узлах трения : дисс. ... докт. техн. наук. Санкт-Петербург : Институт проблем машиноведения РАН, 2003. 304 с.
14. Diesel Progress International Ed. May – June 2000. P. 16–53.
15. Gusev A.I., Rempel A.A. Nanocrystalline Materials. Cambridge : Cambridge International Science Publishing, 2004. 351 p.

**Daki O.A., Shtrybets V.V., Trofymenko A.O., Lihanenko V.V., Tryshyn V.V. METHODS OF INCREASING THE FUNCTIONAL INDICATORS OF MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

*The main directions of economic development of Ukraine include improving all forms of quality, efficiency, reliability and environmental safety of engineering products. This fully applies to the prospects for the development of diesel engineering, including shipbuilding. Diesel engines are the main source of energy for water transport, multi-tonnage land vehicles and some types of stationary energy complexes. All this determines the relevance of research aimed at developing and implementing in the design and manufacture of diesel engines theoretical, experimental and calculation-analytical principles of substantiation of their quality indicators, based on their functional purpose.*

*At the present stage of creation of new progressive designs, taking into account the growing requirements for the quality of engines, it is necessary to reinterpret the scientific basis of progressive design, technological development and design of diesel engineering.*

*The main tasks that need to be solved are the rational organization of the diesel work process during forcing, assessment of the quality of manufactured products, relative and quantitative, is an important economic task that plays an important role and requires solving major problems.*

*The required level of cycle economy at given levels of engine boost is achieved by a reasonable combination of the selected type of mixture, the size of the combustion chamber and its shape, the set parameters of fuel equipment and design and control parameters. The most appropriate option for preliminary assessment of the level of performance indicators is a computational-theoretical study based on various mathematical models. In the framework of this work, the method of determining the indicators of the operating cycle, heat dissipation rate and combustion intensity on the basis of valid indicator diagrams was taken as a basis.*

**Key words:** diesel engine, qualimetry, shipbuilding, ship power plant, forcing.

**Кисельов В.Б.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Лановий О.Т.**

Національний транспортний університет

**Кошарний О.М.**

Національний транспортний університет

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ЕКОНОМІКУ УКРАЇНИ

*Мета статті полягає в розробці математичних моделей впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економіку України, визначенні напрямів макроекономічної ефективності функціонування мережі автомобільних доріг. Метою функціонування мережі автомобільних доріг загального користування є забезпечення рівномірного наземного доступу в усі регіони країни, а також безпечного й надійного переміщення людей і транспортування вантажів із належною ефективністю. Автомобільні дороги є однією з підсистем транспортної системи України, яка, у свою чергу, є елементом економічної системи країни. Вони є суспільним продуктом, мають вагоме значення, надаючи суспільству послугу, що приносить йому суттєву вигоду. Постійне недофінансування призводить до так названих «недоремонтів» доріг. У результаті виконання дослідження встановлено, що головними напрямками визначення ефективності макrorівня функціонування мережі автомобільних доріг є аналіз впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макродинаміку розвитку країни; установлення співвідношення валового внутрішнього продукту й чистого національного продукту залежно від впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макроекономічному рівні; аналіз залежності «інвестиції – функціонування мережі автомобільних доріг – чистий національний продукт»; розробка дискретної моделі макродинаміки розвитку мережі автомобільних доріг. Це дає змогу розробити основу для створення ефективної системи прогнозування й управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних доріг. Аналіз функціонування мережі автомобільних доріг дав можливість уявити його як частину суспільно-економічної системи відтворення макропоказників функціонування економічної системи країни – чистого національного продукту й національного доходу; це дає змогу зробити синтез моделей прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг, у тому числі проаналізувати темпи та пропорції суспільно-економічного відтворення; розробити основи прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг; визначити принципи та критерії оптимізації суспільно-економічної ефективності функціонування мережі автомобільних доріг як основу для створення ефективної системи прогнозування й управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних доріг.*

**Ключові слова:** математичне моделювання мережа автомобільних доріг загального користування, транспортна система України, макrorівень функціонування економічної системи країни, ефективність функціонування, валовий внутрішній продукт, чистий національний продукт, національний дохід, міжнародні транспортні коридори.

**Постановка проблеми.** Метою функціонування мережі автомобільних доріг загального користування є забезпечення рівномірного наземного доступу в усі регіони країни, а також безпечного й надійного переміщення людей і транспортування вантажів із належною ефективністю. Автомобільні дороги є однією з підсистем транспортної системи України, яка, у свою чергу, є елементом економічної системи країни. Вони є суспільним продуктом, мають вагоме значення, надаючи суспільству послугу, що приносить йому суттєву вигоду.

Існує непрямий ефект, тобто існує опосередкований вплив функціонування мережі автомобільних доріг на розвиток інших галузей та економіки країни в цілому. Отже, потрібно вміти прогнозувати макроекономічну ефективність функціонування мережі автомобільних доріг у транспортній системі України через оцінку впливу функціонування мережі доріг на економічну систему суспільства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням функціонування мережі автомобільних доріг, їх впливу на економічну систему суспільства

приділяла увагу вчена спільнота [1–10]. У роботі [1] визначено чинники, які визначають утрати транзитних вантажопотоків і потребують вирішення на загальнодержавному рівні та докорінного реформування транспортної сфери в цілому. Наведено потенційні можливості до залучення додаткових транзитних потоків. Розроблена методика до залучення додаткових транзитних потоків. У праці [2] розроблено комплексний показник оцінки якості, який включає агреговані, блочні й одиничні критерії, дає змогу оцінити якість транспортного обслуговування. У роботі [3] запропоновано використання нових моделей, методів та алгоритмів для безперервного підвищення якості проектів, розроблених на основі міжнародних стандартів. У праці [4] розроблена методика розміщення транзитного терміналу, яка забезпечує зниження транспортної роботи й підвищення ефективності при транзитних перевезеннях. Запропонована оцінка ресурсного забезпечення функціонування та необхідності розвитку мережі автомобільних доріг у транспортній системі регіону «автомобільні дороги державного та місцевого значення – національні та міжнародні транспортні потоки». У роботі [5] наведено методику проектного аналізу вибору проектів перевезення вантажів на проектно-орієнтованих підприємствах, основна діяльність яких зосереджена в галузі міжнародних перевезень, розроблена з урахуванням якості за критеріями. У праці [6] викладено рекомендації щодо подальшого розвитку інтеграції національних транспортно-логістичних кластерів у міжнародну транспортну систему з використанням міжнародних транспортних коридорів.

Розроблено модель прогнозування необхідних обсягів ресурсного забезпечення виконання дорожніх робіт на підставі визначеного попиту з боку користувачів автомобільних міжнародних транспортних коридорів. У роботі [7] показано модель N-критеріальних оцінок прийняття оптимального рішення, розроблену з урахуванням важливості набору критеріїв, якими визначається якість транспортного обслуговування як продукту проекту. Удосконалено N-модель прийняття оптимального рішення щодо важливості критеріїв з урахуванням експертної інформації. У праці [8] запропоновано методи математичного програмування для проектування транзитних транспортних мереж. Розроблено метод формування системи управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів на основі суспільно-економічного прогнозування у вигляді ієрархічної структури елементів і їх взаємозв'язків. У роботі [9] наве-

дено різноманітні методи вирішення проблем побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Розроблено методологію визначення ефективності функціонування мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів. У праці [10] надана характеристика різних видів транспортних систем, наведено основні напрями оптимізації транспортних систем без урахування проміжних транспортних пунктів.

**Формулювання цілей статті.** Цілями статті є проаналізувати вплив функціонування мережі автомобільних доріг на макродинаміку розвитку країни; визначити співвідношення валового внутрішнього продукту й чистого національного продукту залежно від впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макроекономічному рівні; зробити аналіз залежності «інвестиції – функціонування мережі автомобільних доріг – чистий національний продукт»; розробити дискретну модель макродинаміки розвитку мережі автомобільних доріг.

#### **Виклад основного матеріалу.**

*Аналіз впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макродинаміку розвитку країни.*

Функціонування мережі автомобільних доріг належить до процесів матеріально-речовинного відтворення, де об'єктом досліджень є суспільно-економічна система. Через це аналіз впливу функціонування мережі доріг на макродинаміку розвитку країни виявляє матеріально-речовинні зв'язки, що властиві цим процесам, які в загальному вигляді можуть бути описані такими рівняннями [11; 12]:

$$\bar{Q}(t) = \phi[Q(t), W(t)]; \quad (1)$$

$$Q(t) = F[Q(t), W(t)]. \quad (2)$$

де  $W(t)$  – вектор вхідних перемінних;  
 $Q(t)$  – вектор вихідних перемінних або вектор станів (залежно від постановки задачі).

Спочатку розглянемо методологічні питання, що пов'язані з визначенням вхідних (вихідних) перемінних і перемінних стану для економічної системи у цілому. Так як у цьому випадку внутрішня структура економічної системи, тобто галузеві, внутрішньогалузеві та територіальні зв'язки й пропорції, стає нецікавою, то рівняння (1) перетворюється так:

$$\bar{Q}(t) = f[Q(t), W(t)]. \quad (3)$$

Як вхідна змінна економічної системи прийнята інтенсивність суспільного споживання, це визначає цілі матеріального виробництва. У загальному випадку як вхід приймається інтенсивність національного доходу –  $W(t)$ .

Як вихідні змінні макромоделі можна обрати інтенсивності ВВП  $Z(t)$  або ЧНП  $V(t)$ , що пов'язані між собою співвідношенням:

$$Z(t) = X(t) + V(t), \quad (4)$$

де  $X(t)$  – інтенсивність проміжного (додаткового) продукту, що спрямовується на відшкодування спожитих при виробництві матеріальних благ (сировини, матеріалів, енергії).

ВВП  $Z(t)$  за матеріальним складом являє собою сукупність вироблених предметів праці, засобів праці та продуктів виробничого споживання. ЧНП  $V(t)$  являє собою сукупність засобів праці, що призначені для накопичення й відшкодування  $G_e(t)$ , а також продуктів невиробничого споживання (у тому числі, невиробничого користування мережею автомобільних доріг)  $C(t)$ :

$$V(t) = G_e(t) + C(t), \quad (5)$$

де  $G_e(t)$  – валові інвестиції, у тому числі реновація (видатки дорожнього фонду).

Валовими капітальними вкладеннями (виробничими інвестиціями) будемо вважати накопичені та відшкодовані засоби праці. Питання про співвідношення виробничих і невиробничих інвестицій розглянемо окремо.

Після визначення вхідних перемінних споживання  $C(t)$  або  $W(t)$  та вихідних змінних ВВП  $Z(t)$  або ЧНП  $V(t)$  напрямом подальшого аналізу є система:

$$\dot{Z}(t) = f_1(Z(t), C(t) \text{ або } W(t)) \quad (6)$$

або

$$\dot{V}(t) = f_2(Z(t), C(t) \text{ або } W(t)). \quad (7)$$

За умов динамічного аналізу економічної системи основним питанням є з'ясування джерел, чинників зростання виробництва, тобто змін ВВП або ЧНП, що в безперервному випадку описуються похідними:

$$\dot{Z}(t) \equiv \frac{dZ}{dt} \text{ та } \dot{V}(t) \equiv \frac{dV}{dt}.$$

Обсяг державних інвестицій і продуктивність визначає межу ефективного користування мережею автомобільних доріг. Тому, уважаючи фіксованою залежність між інвестиціями та додатковою транспортною роботою (продукцією функціонування мережі автомобільних доріг як мети її кінцевого споживання – користування нею), можна розрахувати, яким чином ці інвестиції позначаються на прирості ВВП або ЧНП. Ураховуючи припущення «за інших рівних умов», достатньо досліджувати лише динаміку ЧНП  $V(t)$  залежно від впливу функціонування мережі автомобільних доріг.

*Визначення співвідношення ВВП та ЧНП залежно від впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макrorівні.*

Припускається існування лінійної залежності відшкодування проміжного (додаткового) продукту, створюваного за рахунок транспортної роботи мережі автомобільних доріг, від ВВП:

$$X(t) = a(t) \cdot Z(t), \quad (8)$$

де  $a(t)$  – частка поточних витрат як співвідношення обсягу послуг автомобільного транспорту від ВВП або гранична схильність до користування мережею доріг.

За всілякої умовності такої гіпотези можна казати, що вона достатньо характеризує реальні залежності між відшкодуванням спожитих у транспортному процесі матеріальних благ (сировини, матеріалів, енергії) та обсягами транспортної роботи. Підставляючи (8) у (4) отримуємо:

$$Z(t) = a(t)Z(t) + V(t), \quad (9)$$

звідки  $Z(t) = [1 - a(t)]^{-1} V(t)$

$$\text{або } Z(t) = \bar{a}(t)V(t), \quad (10)$$

$$\text{де } \bar{a}(t) = [1 - a(t)]^{-1}. \quad (11)$$

Залежність (11) показує, що з точністю до коефіцієнта пропорційності  $a = a(t)$  можна замінити дослідження динаміки валового внутрішнього продукту динамікою чистого національного продукту.

Економічний сенс співвідношення (11) може бути пояснений таким чином.

Нехай:

$$a(t) = a = const,$$

тоді зі співвідношення  $Z(t) = \bar{a}V(t)$  (12)

походить, якщо ЧНП  $V(t)$  збільшується на одну одиницю, то відповідна зміна ВВП  $Z(t)$  має бути  $a = (1 - a)^{-1}$ . Таким чином, величина  $\bar{a}(t)$  є мультиплікатором, показує збільшення валових витрат, що викликається виробництвом додаткової одиниці ЧНП за рахунок збільшення відповідної транспортної роботи.

За економічним сенсом  $a(t)$  (гранична схильність до користування мережею) задовольняє умові

$$0 < a < 1, \quad (13)$$

тому що не може бути від'ємних витрат, поточні витрати завжди існують і завжди менші за ВВП (у супротивному випадку виробництво суспільного продукту було б безглуздом).

Визначення *мультиплікативного ефекту* утворення валових витрат на одиницю ЧНП. З урахуванням (13) для величини  $\bar{a}$  існує розкладання в ряд по ступенях  $a$ , тобто:

$$\bar{a} = (1 - a)^{-1} = \sum_{i=0}^{\infty} a^i, \quad (14)$$

через це має місце співвідношення:



$$Z(t) = (1 + a + a^2 + \dots)V(t), \quad (15)$$

яке описує процес утворення валових витрат (ВВП), необхідних для виробництва чистого національного продукту. Вираз (15) показує *мультиплікативний ефект* утворення валових витрат на одиницю чистого національного продукту. Співвідношення (15) характеризує статичні пропорції, що відбуваються в транспортному процесі, тому що не розкриває джерела зростання чистого національного продукту, а отже, і ВВП.

*Аналіз залежності «інвестиції – функціонування мережі автомобільних доріг – чистий національний продукт».*

Державні інвестиції  $G(t)$ , вкладені в мережу автомобільних доріг, є тим матеріальним чинником, що викликає подальше збільшення масштабів транспортного процесу, а отже, приріст ЧНП  $V(t)$ :

$$H_R(t) = \int_0^t D(\xi)d\xi + H_R(t) \quad (16)$$

або

$$\frac{dH_R}{dt} = D(t). \quad (17)$$

де  $H_R(t)$  – наявна вартість мережі автомобільних доріг, що функціонує на момент часу  $t$ ;  $D(t)$  – державні інвестиції в розвиток мережі автомобільних доріг.

Величини ЧНП  $V(t)$  і державних інвестицій  $D(t)$  є інтенсивностями, що характеризують потоки загального об'єму транспортної роботи (продукції функціонування мережі доріг як мети її кінцевого споживання – користування нею) та державних інвестицій у мережу автомобільних доріг. ЧНП є результатом перетворення в транспортному процесі виробництва різноманітних матеріальних чинників: будівництва й утримання автомобільних доріг, застосування відповідної дорожньої техніки, робочої сили, а також перевезень вантажів і пасажирів автомобільними дорогами як руху транспортних потоків.

Залежність, що моделює взаємозв'язок інтенсивностей використання матеріальних чинників із кінцевими результатами транспортного процесу:

$$V(t) = F[R(t), L(t)], \quad (18)$$

де  $R(t)$  – інтенсивність використання мережі автомобільних доріг;

$L(t)$  – інтенсивність використання автомобільного транспорту.

Визначення залежності інтенсивності використання мережі автомобільних доріг від її розмірів (довжини, кількості смуг, щільності мережі):

$$R(t) = 1 \cdot H_R(t), \quad (19)$$

Відзначимо, що, якщо розмірність  $H_R(t)$  – грошові одиниці, то розмірність  $R(t)$  – грошові одиниці/час, де символ «1» розмірності [1/час] узгоджує залишкову вартість мережі автомобільних доріг (ураховуючи довжину доріг, кількість смуг руху та їхній стан) з інтенсивністю її використання.

Швидкість зміни ЧНП (за рахунок прискорення транспортного процесу) дорівнює:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial R} \cdot \frac{dR}{dt} + \frac{\partial V}{\partial L} \cdot \frac{dL}{dt}$$

або

$$\frac{dV}{dt} = \left( \frac{\partial V}{\partial R} + \frac{\partial V}{\partial L} \cdot \frac{dL}{dR} \right) \frac{dR}{dt}, \quad (20)$$

де  $\frac{\partial V}{\partial R}$  – гранична ефективність використання мережі автомобільних доріг;

$\frac{\partial V}{\partial L}$  – продуктивність автомобільного транспорту;  
 $\frac{dL}{dR}$  – вплив умов зручного руху транспортних потоків автомобільними дорогами на зміну кінцевого обсягу виконаної транспортної роботи при зміні інтенсивності використання мережі автомобільних доріг  $\frac{dR}{dt}$ .

У більш компактному вигляді (20) може бути записане з урахуванням (19), уважаючи, що  $L$  залежить від  $R$ , так:

$$\frac{dV}{dt} = \phi[R(t)] \cdot \frac{dR}{dt}. \quad (21)$$

У залежності (21) як матеріальний чинник, що викликає зростання кінцевого обсягу виконаної транспортної роботи, виступають державні інвестиції, причому всі внутрішні структурні зміни функціонування мережі автомобільних доріг акумулюються у функції  $\phi[R(t)]$ .

Існують дві найпростіші гіпотези щодо функції  $\phi[R(t)]$ :

$$\phi[R(t)] = \chi^{-1}(t) \quad (22)$$

$$\phi[R(t)] = \chi^{-1} = const. \quad (23)$$

Перша гіпотеза припускає, що функція  $\phi$ , яка характеризує *ефективність використання державних інвестицій у мережу доріг*, змінюється в часі, друга – будується на припущенні допустимості її апроксимації в аналізованому інтервалі часу деяким середнім значенням.

Перетворюючи (17), (19) і (21), отримаємо:

$$\frac{dH_R}{dt} = \bar{\chi}(t) \frac{dV(t)}{dt} = D(t), \quad (24)$$

де  $\bar{\chi}(t)$  – коефіцієнт капіталомісткості мережі автомобільних доріг у прирості ЧНП.

При постійному значенні коефіцієнта  $\bar{\chi}$  диференціальне рівняння, що описує зміну інтенсивності зростання ЧНП:

$$\bar{\chi}(t) \frac{dV(t)}{dt} = D(t), \quad (25)$$

є аналогічним рівнянню руху матеріального тіла з постійною масою  $\bar{\chi}$ , що рухається з прискоренням  $\bar{U}(t)$  під впливом сили  $D(t)$ , яка залежить від часу. Таким чином, коефіцієнт  $\bar{\chi}$  характеризує «інерційність» суспільно-економічної системи відповідно до функціонування мережі автомобільних доріг, пов'язаної з рухом транспортних потоків автомобільними дорогами загального значення. Його розмірність – [час], це впливає з того, що розмірність  $\bar{U}$  у вартісному вираженні [грошова одиниця/час<sup>2</sup>], а державних інвестицій – [грошова одиниця/час]. Так, якщо  $\bar{\chi}$  дорівнює, наприклад, чотирьом рокам, то це означає, що інвестиції інтенсивністю 1 [грошова одиниця/рік] забезпечують річний приріст інтенсивності отримання чистого національного продукту на 0,25 [грошова одиниця/рік].

На підставі (11) співвідношення, аналогічне (24), може бути записане для приросту інтенсивності ВВП за рахунок впливу функціонування мережі доріг:

$$\chi(t) \frac{dZ(t)}{dt} = D(t), \quad (25)$$

$$\text{де } \chi(t) = \bar{a}^{-1}(t) \cdot \bar{\chi}(t), \quad (26)$$

де  $\chi(t)$  – коефіцієнт приросту фондомісткості мережі автомобільних доріг у ВВП.

За умови  $\chi = const$  приріст фондомісткості мережі автомобільних доріг у ВВП з точністю до постійного множника збігається з його середнім приростом. Дійсно, за визначенням, фондомісткість мережі автомобільних доріг у створенні чистого національного продукту (при дотриманні умови (19)):

$$\bar{h} = \frac{H_R(t)}{V(t)} \quad (28)$$

або

$$\frac{dH_R(t)}{dt} = \bar{h} \frac{dV(t)}{dt}, \quad (29)$$

звідки походить (див. 24), що  $\bar{h}$  є еквівалентним  $\bar{\chi}$ .

Через це надалі варто використовувати для позначення впливу мережі автомобільних доріг щодо формування ЧНП і ВВП один символ  $\chi$ , саме цим підкреслюється спільність методологічного підходу до аналізу зв'язків «державні інвестиції – чистий національний продукт» і «державні інвестиції – ВВП».

Державні інвестиції в мережу автомобільних доріг становлять частину створюваного чистого національного продукту, а саме формуються за рахунок збору акцизу з нафтопродуктів та інших

податкових надходжень. Вони є функцією залежності переходу до інвестування від схильності до споживання. Їх інтенсивність  $\epsilon$  (за умов відсутності запізнювання в їхньому формуванні):

$$D(t) = \rho(t) \cdot T(t), \quad (30)$$

$$0 < \rho(t) < 1,$$

де  $\rho(t)$  – схильність до інвестування держави в розвиток мережі доріг;

$T(t)$  – акциз із нафтопродуктів та інші податкові надходження до державного бюджету.

Зміна чистого національного продукту як функції часу походить із (24) і (30) у вигляді диференціального рівняння:

$$\frac{dV(t)}{dt} - \chi^{-1}(t)\rho(t)V(t) = 0 \quad (31)$$

або

$$\frac{dV(t)}{dt} - \omega(t)V(t) = 0, \quad (32)$$

де

$$\omega(t) = \frac{\rho(t)}{\chi(t)} \quad (33)$$

є темпом приросту чистого національного продукту.

Рішенням рівняння (33) є функція:

$$V(t) = \exp\left[\int_0^t \omega(\xi)d\xi\right] V(0), \quad (34)$$

що описує динаміку створення ЧНП на інтервалі  $[0, t]$  за умови, що для  $t = 0$  його інтенсивність дорівнює  $V(0)$ . З отриманого видно: зростання ЧНП відбувається по експоненті.

Визначення впливу запізнювань у бюджетному фінансуванні, що призводить до «недоремонту» автомобільних доріг.

Затримки в бюджетному фінансуванні, а отже, у реалізації державного інвестування, зменшують розмір темпу приросту чистого національного продукту. Завдяки ненульовим термінам виконання дорожніх робіт і впровадженням у дію заходів з удосконалення дорожніх умов інвестиції року  $t$  призводять до збільшення чистого національного продукту в році  $t + \tilde{T}$ , де  $\tilde{T}$  означає затримку (лаг) у реалізації державних інвестицій [13]:

$$D(t) = D^0(t - \tilde{T}) = \rho \cdot V(t - \tilde{T}), \quad (35)$$

а (24) модифікується у

$$\chi \frac{dV}{dt} = D(t - \tilde{T}) \quad (36)$$

$$\text{або } \chi \frac{dV}{dt} = \rho \cdot V(t - \tilde{T}). \quad (37)$$

$$\text{Темп приросту ЧНП: } \omega(t) = \left[ \frac{\rho}{\chi} \right] e^{-\omega \tilde{T}}. \quad (38)$$

З (38) походить, що якщо період освоєння затримується через бюджетне недофінансування,

то темп ЧНП зменшується. Якщо період освоєння дорівнює нулю ( $\bar{T} = 0$ ), то темп приросту ЧНП збігається з величиною, що визначається із (33).

Визначення необхідного бюджетного фінансування через оцінку впливу термінів функціонування мережі доріг на темп приросту ЧНП.

До цього моменту розглянуті лише «чисті» інвестиції, тобто та їх частина, що викликає збільшення чистого національного продукту. У дійсності обмежені строки сталого функціонування мережі автомобільних доріг через їх фізичне зношення (старіння) викликають витрати на їх поточний ремонт та утримання. Джерелом покриття має бути фінансування з державного бюджету в межах його доходів  $V_T$  (акцизи з нафтопродуктів, тощо). Ось чому на вдосконалення мережі автомобільних доріг спрямовуються валові інвестиції  $D_e(t)$ , які складаються з чистих інвестицій  $D(t)$ , та ресурсне забезпечення поточного ремонту й утримання автомобільних доріг  $D_r(t)$ :

$$D_e(t) = D(t) + D_r(t). \quad (39)$$

Припустимо, що дороги зношуються рівномірно протягом строку їх функціонування  $\theta$ , звідки фінансування автомобільних доріг  $A(t)$  має бути:

$$A(t) = \frac{H_R(t)}{\theta}. \quad (40)$$

Так як термін ефективного функціонування доріг дорівнює  $\theta$ , має місце співвідношення:

$$D_r(t) = D_e(t - \theta). \quad (41)$$

З урахуванням (39) і (41) рівняння (24) запишеться у вигляді:

$$\frac{dV}{dt} = \chi^{-1} [D_e(t) - D_e(t - \theta)]. \quad (42)$$

Якщо припустити, що автомобільні дороги мають відновлюватися в суворій відповідності до їх фізичного зносу (старіння), тобто  $D_r(t) = A(t)$ , то рівняння (30) при постійному  $\rho$  запишеться так:

$$D(t) = \rho \cdot [V_T(t) - A(t)], \quad (43)$$

при цьому (39) має вигляд:

$$D_e(t) = \rho \cdot V_T(t) + (1 - \rho) \cdot A(t). \quad (44)$$

Підставляючи (40) у (44) та використовуючи (24) у припущенні, що  $\chi = const$ , отримуємо:

$$D_e(t) = \left[ \rho + \frac{\chi}{\theta} \cdot (1 - \rho) \right] \cdot V_T(t). \quad (45)$$

Нехай валові інвестиції зростають із темпом  $\omega$ , тоді:

$$D_e(t) = D_e(0) \cdot e^{\omega t}$$

та

$$D_e(t - \theta) = D_e(0) \cdot e^{\omega(t - \theta)} \quad (46)$$

З урахуванням (42) і (46) отримаємо таку залежність між приростом ЧНП і валовими державними інвестиціями в мережу автомобільних доріг:

$$\frac{dV_T}{dt} = \chi^{-1} \cdot D_e(0) \cdot e^{\omega t} \cdot (1 - e^{-\omega\theta}), \quad (47)$$

рішенням якого є функція

$$V_T(t) = \frac{1}{\chi\omega} \cdot D_e(0) \cdot e^{-\omega t} \cdot (1 - e^{-\omega\theta}). \quad (48)$$

Підставляючи (44) у рівняння (41), знаходимо співвідношення, що визначає темп приросту  $\omega$ :

$$\omega = \left[ \frac{\rho}{\chi} + \frac{(1 - \rho)}{\theta} \right] \cdot (1 - e^{-\omega\theta}). \quad (49)$$

Визначення впливу роботи автомобільного транспорту як елемента транспортної системи на темпи приросту чистого національного продукту.

Найважливішим матеріальним фактором, що обумовлює транспортний процес, є саме автомобільні перевезення. Визначимо вплив саме цих перевезень автомобільними дорогами на темпи приросту чистого національного продукту. Доповнимо рівняння (5) рівняннями зв'язку:

$$L(t) = b(t) \cdot V(t); \quad (50)$$

$$S(t) = \gamma(t) \cdot L(t) = \gamma(t) \cdot b(t) \cdot V(t); \quad (51)$$

де  $L(t)$  – інтенсивність використання автотранспорту на автомобільних дорогах загального користування;

$b(t)$  – ризик виникнення аварійності автотранспорту в одиниці ЧНП;

$\gamma(t)$  – об'єми дорожнього руху.

Підставимо (51) у (5) і, приймаючи  $D_e(t) \equiv D(t)$ , отримаємо:

$$\frac{dV(t)}{dt} - \chi^{-1}(t) \cdot [1 - \gamma(t) \cdot b(t)] \cdot V(t) = 0$$

або при постійних коефіцієнтах:

$$\frac{dV}{dt} - \chi^{-1} \cdot [1 - \gamma \cdot b] \cdot V(t) = 0. \quad (52)$$

Рішення рівняння (52) знаходиться аналогічно рішенням (32). Оцінюючи параметр рівняння, робимо висновок, що він є значенням темпу приросту ЧНП:

$$\omega = \frac{(1 - \gamma \cdot b)}{\chi}. \quad (53)$$

Залежність (53) указує на необхідність узгодження капіталомісткості мережі автомобільних доріг та об'ємів дорожнього руху, тобто конкретизує зв'язок темпів приросту й основних пропорцій у суспільно-економічній системі.

Визначивши *вигоди від заходів щодо покращення безпеки руху для суспільства* (зниження аварійності), можна довести необхідність збільшення обсягів ресурсного забезпечення дорожнього господарства, у тому числі ресурсне забезпе-

чення заходів із підвищення безпеки дорожнього руху на рівні держави та її окремих регіонів.

Таким чином, проведене математичне моделювання функціонування мережі доріг дає змогу перейти до синтезу моделей прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг загального користування в транспортній системі України.

**Висновки.** Установлено, що головними напрямками визначення ефективності макrorівня функціонування мережі автомобільних доріг є:

- аналіз впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макродинаміку розвитку країни; визначення співвідношення валового внутрішнього продукту й чистого національного продукту залежно від впливу функціонування мережі автомобільних доріг на макроекономічному рівні;

- аналіз залежності «інвестиції – функціонування мережі автомобільних доріг – чистий національний продукт»;

- розробка дискретної моделі макродинаміки розвитку мережі автомобільних доріг.

Напрямами наступних досліджень є синтез моделей прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг, у тому числі:

- аналіз темпів і пропорцій суспільно-економічного відтворення;

- розробка основ прогнозування розвитку мережі автомобільних доріг;

- визначення принципів і критеріїв оптимізації суспільно-економічної ефективності функціонування мережі автомобільних доріг як складника економічної системи суспільства.

#### Список літератури:

1. Мазуренко О.О., Кудряшов А.В. Перспективи подальшого розвитку міжнародних транспортних коридорів України. *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2016. № 2. С. 25–30.
2. Концева В.В., Макарова Т.В. До питання вибору магістралей для аналізу транспортних потоків. *Збірник наукових праць ДААТ*. 2015. № 4. С. 8–12.
3. Прейгер Д.К., Собкевич О.В., Ємельянова О.Ю. Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку. Київ : НІСД, 2014. С. 37–40.
4. Чернявська Т.А. Стратегічні напрями розвитку транспортно-комунікативної системи України в контексті забезпечення національної безпеки і самодостатності. *Вісник Нац. гірн. ун-ту*. 2015. № 3. С. 68–76.
5. Брагінський В.В. Розвиток транспортно-логістичної системи як форма реалізації транзитного потенціалу України. *Державне управління: теорія і практика*. 2014. № 2. URL: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>.
6. Михайличенко К.М. Відновлення транзитного потенціалу як чинник підвищення конкурентоспроможності України. *Стратегічні пріоритети*. 2015. № 4. С. 59–65.
7. Собкевич О.В., Михайличенко К.М., Ємельянова О.Ю. Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України : аналітична доповідь. Київ : НІСД, 2014. 60 с.
8. Cancela H., Mauttone M., María E. Mathematical programming formulations for transit network design. *Transportation Research. Part B: Methodological*. 2015. V. 77. P. 17–37.
9. Sung S., Dubey G.C., Shrivastava R. Various Method to Solve the Optimality for the Transportation Problem. *Statistical Mechanics and its Applications*. 2016. V.12. P. 161–169.
10. Teodorovic D., Janic M. Transportation Systems. *Transportation Engineering*. 2016. № 2. P. 5–62.
11. Системологія на транспорті / Е.В. Гаврилов, В.К. Доля, О.Т. Лановий та ін. ; під ред. М.Ф. Дмитриченка. Київ : Знання України, 2005. Кн. 1 : Основи теорії систем і управління. 344 с.
12. Кобринский Н.Е., Майминас Е.З., Смирнов А.Д. Введение в экономическую кибернетику : учебное пособие. Москва : Экономика, 1975. 343 с.
13. Кудина Л.И. Методические основы оценки эффективности инвестиционных проектов. Киев : Изд-во КМУГА, 1997. 18 с.

#### **Kyselov V.B., Lanovyi A.T., Kosharnyi O.M. MATHEMATICAL MODELING OF THE INFLUENCE OF THE FUNCTIONING OF THE ROAD NETWORK ON THE ECONOMY OF UKRAINE**

*The purpose of the article is to develop mathematical models of the impact of the functioning of the road network on the economy of Ukraine, to determine the directions of macroeconomic efficiency of the functioning of the road network. The purpose of the network of public roads is to ensure uniform land access to all regions of the country, as well as safe and secure movement of people and transportation of goods with appropriate efficiency. Highways are one of the subsystems of the transport system of Ukraine, which, in turn, is an element of the economic system of the country. They are a social product, important, providing society with a service that*

*brings it significant benefits. Constant underfunding leads to so-called “road failures”. As a result of the study it was found that the main areas of determining the effectiveness of the macro level of the road network are: analysis of the impact of the road network on the macrodynamics of the country; determine the ratio of gross domestic product and net national product depending on the impact of the functioning of the road network at the macroeconomic level; dependence analysis “Investments – Operation of the road network – Net national product”; development of a discrete model of macrodynamics of road network development. – it allows to develop a basis for creation of effective system of forecasting and management of functioning and development of a network of highways. Analysis of the functioning of the road network allowed to present it as part of the socio-economic system of reproduction of macro indicators of the functioning of the economic system of the country - net national product and national income; it allows to make synthesis of models of forecasting of development of a network of highways, including: to analyze rates and proportions of social and economic reproduction; to develop bases of forecasting of development of a network of highways; to determine the principles and criteria for optimizing the socio-economic efficiency of the road network as a basis for creating an effective system for forecasting and managing the functioning and development of the road network.*

**Key words:** *mathematical modeling of public roads network, transport system of Ukraine, macro level of functioning of the economic system of the country, efficiency of functioning, gross domestic product, net national product, national income, international transport corridors.*

**Кужелович В.І.**

Національна академія Національної гвардії України

**Мельніков С.М.**

Національна академія Національної гвардії України

## **ЕКОНОМІЯ ПАЛИВА У РАЗІ ВИКОРИСТАННЯ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ В ПІДРОЗДІЛАХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ ЗА РАХУНОК ВІДТВОРЕННЯ «ІДЕАЛЬНОГО» ВОДІЯ**

*Зменшення витрати палива під час експлуатації автобронетанкової техніки – важливий елемент ресурсозбереження та екології. Проблема навчання водіїв прийомів економного водіння досі достатньо не висвітлена. У разі використання автомобільної техніки в умовах інтенсивного транспортного потоку водій піддається значній кількості зорових і слухових впливів, частота яких суттєво зростає у ситуаціях, які здатні викликати непередбачені збої в управлінні технікою. Автомобільна є об'єктом управління у системі «водій–автомобіль–дорога–середовище». У зв'язку з цим економна експлуатація сучасної техніки вимагає застосування прогресивних педагогічних засобів і методів навчання водіїв.*

*Робота присвячена створенню методики відтворення «ідеального» економного водія. Спираючись на математичну модель «ідеального» водія, автори пропонують використовувати критерії оцінки майстерності водіння як елемента ресурсозбереження, а також кількісну міру майстерності економного водіння. Підготовлені рекомендації з навчання економічного водіння можна використовувати в учбових підрозділах у додатковому навчанні водіїв.*

**Ключові слова:** «ідеальний» водій, безпека дорожнього руху, майстерність водіння автомобіля, безперервна підготовка водіїв, навчання водіїв автомобілів, витрата палива, ресурсозбереження, технічний стан автомобіля, економія палива, експлуатація автомобілів, екологія, енергоефективність.

**Постановка проблеми.** Наявні методи та технічні засоби навчання не дають можливості об'єктивно оцінювати рівень економного управління АБТ у реальних дорожніх умовах і не дозволяють виробляти обґрунтовані рекомендації щодо роботи з водієм у напрямі підвищення цього рівня. Навчання водіїв навичок економного управління автомобілем через відсутність необхідної методичної та технічної оснащеності процесу навчання є не досить ефективним [3].

Виконання завдань підрозділами НГУ – складний виробничий процес за участю особового складу, автомобілів, дорожніх споруд та облаштувань, доріг та бездоріжжя, він вносить низку істотних недоліків у використанні АБТ [12]:

– керувати технікою значно складніше в колоні, по польових дорогах і бездоріжжю;

– маневреність автопоїздів, засобів рухомості озброєння, бронетранспортерів гірша, ніж у одиночного автомобіля внаслідок того, що водій керує дуже масивним снарядом, який на швидкості пручається повороту, але головне – швидко не зупиняється;

– виконання СБЗ вимагає від водіїв великої витрати часу, моральних і фізичних сил, що приводить до швидкої втоми водіїв.

Одним із напрямів вирішення проблеми є вдосконалення методів та засобів навчання водіїв АБТ і створення методики відтворення «ідеального» економного водія. Однак наведені показники і характеристики не дозволяють оцінити кваліфікацію водія у разі використання АБТ у підрозділах НГУ, а у відомій науково-технічній літературі відсутні показники оцінки якостей водія. Тому виникла проблема у необхідності розробки показника, що дозволить оцінити модель «ідеального» водія.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Питанням економії палива присвячено безліч наукових робіт, більшість з яких пропонують заходи на стадіях проектування і виробництва автомобілів, а також стосуються впливу технічного стану автомобіля на витрату палива.

Якщо питання впливу технічного стану автомобіля на витрату палива в галузевій літературі докладно і всебічно розглянуто [2; 5; 8; 9; 11; 12], то проблема навчання водія прийомів еко-

номічного водіння досі достатньо не висвітлена. Вивчення водійської майстерності і виявлення ролі водія у забезпеченні економного водіння показано у роботах [3; 4; 6; 7; 10].

Об'єктивні чинники, для яких передбачено нормативне підвищення витрати палива, наводяться в керівних документах [1]. У рамках цієї роботи пропонуються рішення, що дозволяють знизити витрату палива у разі планування заходів з навчання водіїв та організації роботи технічної служби.

**Мета статті** – розробка комплексного показника оцінки «ідеального» водія.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Головними факторами, що впливають на якість «ідеального» водія, будемо вважати: безпеку керування АБТ; ступінь помилкового виконання розгонів та гальмувань АБТ; ступінь помилкового виконання поворотів; рівень профмайстерності водія з погляду ефективності перевезень; рівень економічності керування транспортним засобом.

З урахуванням розглянутого визначення і умов використання АБТ у частинах і підрозділах НГУ пропонується оцінювати кваліфікацію водія комплексним показником – узагальненим коефіцієнтом «ідеального» водія  $K_{ив}$ , який визначається таким чином:

$$K_{ив} = K_{БК} \cdot K_{ПРГ} \cdot K_{ПП} \cdot K_n \cdot K_{ЕК} \quad (1)$$

де  $K_{БК}$  – коефіцієнт безпеки керування АБТ;

$K_{ПРГ}$  – коефіцієнт оцінки ступеня помилкового виконання розгонів та гальмувань АБТ;

$K_{ПП}$  – коефіцієнт помилкового виконання поворотів;

$K_n$  – коефіцієнт оцінки рівня профмайстерності водія з погляду ефективності перевезень;

$K_{ЕК}$  – коефіцієнт оцінки рівня економічності АБТ.

Виконання вимог безпеки руху передбачає високу надійність та точність виконання водієм прийомів керування АБТ. Іншими словами, оцінити майстерність водіння з погляду безпеки можна за ступенем безпомилкового виконання водієм окремих операцій з керування АБТ. При цьому слід оцінювати діяльність водія у звичайних некритичних ситуаціях. Така установка вибрана тільки тому, що в реальних умовах руху практично неможливо без ризику для життя відтворити критичні дорожньо-транспортні ситуації, але й тому, що всяка помилкова дія водія якщо і не тягне за собою безпосередньо ДТП, завжди є його непрямою причиною.

Оцінюючи профмайстерність з погляду надійності, доцільно враховувати як кількість вчинених водієм помилкових дій, так і ступінь їх небезпеки, що характеризується рівнем самої помилки та обсягом її дії. Безпеку керування АБТ можна оцінювати коефіцієнтом безпеки керування АБТ  $K_{БК}$ , який визначається за виразом:

$$K_{БК} = \frac{K_n + K_{ра_x} + K_{ра_y}}{3}, \quad (2)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, який характеризує надійність (безпомилковість) роботи водія;

$K_{ра_x}$ ,  $K_{ра_y}$  – коефіцієнт, який характеризує ступінь рівномірності руху по поздовжній та поперечній осях АБТ.

Розгін та гальмування АБТ – процеси, що особливо важливі з погляду безпеки руху. Різке виконання цих маневрів створює навантаження для організму, що викликає неприємні відчуття у водія. Тому майстерність виконання водієм розгонів та гальмування доцільно оцінювати за кінцевим результатом їхніх дій, тобто за величиною прискорень (позитивних чи негативних). Оцінка проводиться за обсягом помилкових дій, тобто розгонів та гальмування, у разі виконання яких величина прискорень перевищує допустимі межі. З метою виключення надмірно жорстких умов у разі оцінки майстерності водіння водіїв встановлена гранична з погляду безпеки та комфортабельності перевезень величина поздовжніх прискорень –  $2,0 \text{ м/с}^2$ .

Пропонується формула визначення коефіцієнта оцінки ступеня помилкового виконання розгонів та гальмування АБТ –  $K_{ПРГ}$ :

$$K_{ПРГ} = \left(1 + \frac{O_{ПРГ}}{S}\right) \cdot \frac{O_{ПРГ}}{T_{ПРГ}^2 \cdot I_{прин}}, \quad (3)$$

де  $O_{ПРГ}$  – обсяг помилкових дій у разі виконання розгонів та гальмувань (з граничними прискореннями, що перевищують  $2,0 \text{ м/с}^2$ );

$T_{ПРГ} = \sum_{i=1}^{N_{ПРГ}} T_{ПРГ_i}$  – загальна тривалість руху АБТ з поздовжніми прискореннями, що перевищують  $2,0 \text{ м/с}^2$ ;

$N_{ПРГ}$  – кількість неправильно виконаних розгонів та гальмувань;

$S$  – протяжність випробувального маршруту, м;

$I_{прин} = 2,0 \text{ м/с}^2$  – встановлена припустима величина лінійних прискорень;

Обсяг помилкових розгонів-гальмувань визначається за виразом:

$$O_{ПРГ} = \sum_{i=1}^{N_{ПРГ}} \int_0^{T_{ПРГ_i}} I_{ПРГ_i,dt} \cdot \sum_{i=1}^{N_{ПРГ}} T_{ПРГ_i}, \quad (4)$$

де  $I_{ПРГ_i,dt}$  – миттєве значення поздовжнього прискорення, що перевищує  $2,0 \text{ м/с}^2$ ;

$T_{ПРГ_i}$  – тривалість і-го розгону (гальмування) з прискоренням, що перевищує  $2,0 \text{ м/с}^2$ ;

$\sum_{i=1}^{N_{ПРГ}} \int_0^{T_{ПРГ_i}} I_{ПРГ_i,dt}$  – сума інтегралів від кривих  $I_{ПРГ_i}$  за часом.

Різке виконання поперечних маневрів призводить до підвищеного зносу шин, підвищення витрати палива, створює аварійні ситуації, оскільки нерідко водій не в змозі впоратися з

керуванням, що викликає виїзд АБТ на зустрічну смугу, а за недостатніх зчпних якостей дороги – занесення і навіть перекидання. Кваліфікованого водія відрізняє вміння плавно здійснювати поперечні маневри відповідно до дорожніх умов і транспортної ситуації, що склалася. Величина поперечних (відцентрових) прискорень при цьому не повинна перевищувати  $3,0 \text{ м/с}^2$ . За аналогією з поздовжніми прискореннями коефіцієнт оцінки ступеня помилкового виконання поворотів пропонується оцінювати за формулою:

$$K_{\text{пп}} = \left(1 + \frac{O_{\text{ппм}}}{S}\right) \cdot \frac{O_{\text{ппм}}}{T_{\text{п}}^2 \cdot I_{\text{пріпп}}}, \quad (5)$$

де  $O_{\text{ппм}}$  – обсяг помилкових дій у разі виконання поперечних маневрів;

$$T_{\text{п}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} T_{\text{п}i}$$

– загальна тривалість руху транспортного засобу, коли поперечне прискорення перевищує  $3,0 \text{ м/с}^2$ ;  $I_{\text{пріпп}} = 3,0 \text{ м/с}^2$  – встановлена допустима величина поперечних прискорень.

$N_{\text{п}}$  – кількість неправильно виконаних поворотів.

Обсяг помилкових дій у разі здійснення поперечних маневрів визначається за виразом:

$$O_{\text{ппм}} = \sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} \int_0^{T_{\text{п}i}} I_{\text{пріпп},dt} \cdot \sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} T_{\text{п}i}, \quad (6)$$

де  $I_{\text{пріпп},dt}$  – миттєве значення поперечного прискорення, що перевищує  $3,0 \text{ м/с}^2$ ;

$T_{\text{п}i}$  – тривалість  $i$ -го поперечного маневру, виконаного з прискоренням, що перевищує  $3,0 \text{ м/с}^2$ ;

$\sum_{i=1}^{N_{\text{п}}} \int_0^{T_{\text{п}i}} I_{\text{пріпп},dt}$  – сума інтегралів від кривих  $I_{\text{пріпп}}$  за часом

Загальновідомим параметром оцінки продуктивності є робота, виконана в одиницю часу. Відповідно, продуктивність перевезень слід оцінювати корисною роботою, здійсненою АБТ за одиницю часу. Однак завдання оцінки профмайстерності водія з точки зору продуктивності перевезень значно спрощується, якщо як параметр, що характеризує продуктивність, прийняти середню швидкість руху АБТ. Очевидно, що за рівності інших показників АБТ зробить тим більшу корисну роботу, чим вища середня швидкість руху. Встановивши базове значення середньої швидкості руху для випробувального маршруту (на підставі його попереднього обстеження), можна оцінити продуктивність перевезень безрозмірною величиною:

$$K_n = \frac{v_{cp}}{v_{cp_0}}, \quad (7)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт оцінки профмайстерності водія з погляду продуктивності перевезень;

$v_{cp}$  – величина середньої швидкості руху, що досягнута на маршруті водієм, якого випробуємо;  $v_{cp_0}$  – базова величина середньої швидкості руху.

Величина середньої швидкості руху визначається за виразом

$$v_{cp} = \frac{S}{T_{\text{рух}}}, \quad (8)$$

де  $S$  – протяжність маршруту, пройденого автомобілем, м;

$T_{\text{рух}}$  – час руху по маршруту, с.

Економічність керування АБТ визначається витратою технічного ресурсу його агрегатів та витратою палива. Витрата технічного ресурсу (знос) агрегатів машин залежить від цілої низки факторів. Великий вплив має режим роботи двигуна. У разі руху техніки по випробувальному маршруту професійна майстерність водія багато в чому визначає режим роботи двигуна: зміни в його роботі будуть тим плавнішими, чим вищою буде кваліфікація водія. Різко змінний режим роботи двигуна значно прискорює і зношування деталей трансмісії АБТ. Однак тут дається взнаки і вміння водія користуватися коробкою передач. Тому економічність керування АБТ з погляду витрати технічного ресурсу його агрегатів доцільно оцінювати за двома показниками: ступенем рівномірності роботи двигуна та ступенем правильності користування коробкою передач [6]. Ступінь рівномірності роботи двигуна є ступенем відхилення миттєвої частоти обертання колінчастого валу від її середнього значення. Ступінь правильності користування коробкою передач оцінюється ступенем відхилення середньозваженого передавального числа коробки від базового (для такого маршруту) його значення.

Величина витрати палива є одним із найважливіших показників ефективності транспортної роботи, вона також залежить від низки факторів. Проте за рівності факторів, що визначаються умовами перевезень, експлуатаційними якостями АБТ та дорожніми характеристиками, витрата палива визначатиметься профмайстерністю водія. Водій, у якого знання та навички з економічного керування АБТ недостатні або зовсім відсутні, не зможе досягти оптимальних показників витрати палива навіть на АБТ, що має найдосконаліше регулювання системи живлення. Для оцінки економічності керування АБТ з витрат палива пропонується коефіцієнт оцінки рівня економічності АБТ –  $K_{\text{ЕК}}$ .

$$K_{\text{ЕК}} = \frac{\sigma_{\text{н}}}{\sigma}, \quad (9)$$

де  $\sigma_{\text{н}}$  – норма витрати палива для цього маршруту, величина,  $\text{см}^3$ ;



Б – фактична витрата палива, досягнута водієм, якого випробують, під час проїзду по маршруту, см<sup>3</sup>.

Витрата палива визначається об'ємним методом за допомогою мірного бака малої ємності.

**Висновки.** На підставі теоретичних досліджень з урахуванням особливості роботи водія запропоновано оцінювати кваліфікацію водія комплексним показником – узагальненим коефіцієнтом «ідеального» водія. Витрата палива на одиницю транспортної роботи у водіїв з узагальненим коефіцієнтом «ідеального» водія 0,94–1 на 10–14%, а у водіїв з коефіцієнтом «ідеального»

водія 0,82–0,94 на 3–6% менша, ніж у водіїв з коефіцієнтом менше ніж 0,82. В абсолютних показниках водіїв з коефіцієнтом «ідеального» водія вище 0,94 на вантажному автомобілі середньої вантажопідйомності витрачає на 100 км шляху палива на 4–5 л менше, ніж водіїв з коефіцієнтом менше ніж 0,82. Висновок про рівень надійності водія давався на підставі подальшої обробки результатів обстеження. Якщо оцінка рівня надійності не досить висока, на підставі результатів обстеження надаються конкретні рекомендації щодо подальшої роботи з цим водієм.

#### Список літератури:

1. Наказ КНГУ № 900 від 27. 12. 2016 «Про затвердження Порядку організації та експлуатації автомобільної техніки, іншого майна номенклатури автомобільної служби Національної гвардії України».
2. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навчальний посібник / Форнальчик Є.Ю., Олісевич і ін. Львів : Афіша, 2004. 492 с.
3. Фоменко О.Я., Сахно В.П., Ковальчук Г.О. та ін. Підручник водія. Київ : Літера ЛТД, 2013. 240 с.
4. Козаков Е.А. Підручник з водіння автомобіля та безпеки дорожнього руху. Видавництво «Моноліт», 2018. 330 с.
5. Разумний Ю.Т., Рухлов А.В., Прокуда В.М., Рухлова Н.Ю. Ефективне використання електроенергії та палива : навчальний посібник. М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. Донецьк : НГУ, 2014. 223 с.
6. Орієнтовна програма професійної підготовки водіїв транспортних засобів категорії «В». Затверджена наказом Міністерства освіти і науки Російської Федерації від 26 грудня 2013 р № 1408.
7. Безсмертний В.О., Дерех З.Д., Іщенко В.В. Основи керування автомобілем. Київ : Вища школа, 1996. 202 с.
8. Ногін Б.А., Бутков П.П. Економія паливно-мастильних матеріалів. Москва : Вузівська книга, 2004. 220 с.
9. Зеркалов Д.В. Використання палива та теплоенергії : довідник. Київ : Основа, 2009. 192 с.
10. Циганков Е.С. Вища школа водійської майстерності. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2008. 400 с.
11. Смирнов О.П. Розрахунок еквівалентної витрати палива електромобілями у різних країнах / О.П. Смирнов, О.Б. Богаєвський, А.О. Смирнова. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія «Автомобіле- та тракторобудування». Харків : НТУ «ХПІ». 2013. № 29 (1002). С. 114–119.
12. Кайдалов Р.О. Шляхи удосконалення діючої системи нормування витрат пального автомобілями під час виконання службово-бойових завдань / Р.О. Кайдалов, О.П. Марценяк. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2011. Вип. 1 (17). С. 93–97.

#### **Kuzhelovich V.I., Melnikov S.M. FUEL ECONOMY WHEN USING ARMORED VEHICLES IN UNITS AND SUBDIVISIONS OF THE NATIONAL GUARD OF UKRAINE GUE TO THE REPRODUCTION OF THE “IDEAL” DRIVER**

*Reduction of fuel consumption in the operation of armored vehicles (ABT) is an important element of resource conservation and ecology. The relevance of the chosen topic is that the problem of training drivers in the techniques of economical driving is still not sufficiently covered. The study substantiates the importance of training drivers in economical driving. An algorithm for increasing fuel economy when using ABT is described. The way of realization of this algorithm which consists in informing the driver about economical driving of equipment during the period of the conditional task is offered. When using ABT in conditions of heavy traffic, the driver is exposed to a significant amount of visual and auditory influences, the frequency of which increases significantly in situations that can cause unforeseen failures in the management of equipment. ABT is the object of management in the system “driver–car–road–environment”. In recent years, there has been a continuous increase in the number of equipment and improve its speed characteristics. In this regard, the economical operation of modern technology requires the use of advanced pedagogical tools and methods of training drivers.*

*The work is devoted to the creation of a method of reproduction of the “ideal” economical driver. Based on the mathematical model of the “ideal” driver, the authors propose to use the criteria for assessing driving skills as an element of resource conservation, as well as a quantitative measure of economical driving skills. Prepared recommendations for training in economic driving can be used in training units for additional training of drivers.*

**Key words:** “ideal” driver, road safety, driving skills, continuous driver training, driver training, fuel consumption, resource saving, technical condition of the car, fuel economy, car operation, ecology, energy efficiency.

**Урум Н.С.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Трофименко І.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Іваненко В.М.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Федунов В.М.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Бажак О.В.**

Дунайський інститут водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ХВИЛЬОВИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

*Загальним підходом у розвитку океанічних прогностичних систем натеper є інтегрування гідродинамічних моделей атмосфери, циркуляції океану, вітрового хвилювання та інших. У хвильових моделях глибокого моря розвиток хвиль переважно контролюється вітром. Вихідна інформація про вітри у розрахунках властивостей хвиль представляється як послідовності діагностичних і прогностичних полів векторів вітру. Більшість хвильових моделей, що застосовуються натеper для глибокого моря, засновані на чисельному вирішенні рівняння радіаційного балансу для двовимірного хвильового спектра. Важливу роль для підвищення якості хвильових моделей відіграє підвищення точності прогнозування швидкості підвищення вітру над водною поверхнею в рамках відповідних ансамблевих моделей. Одним з підходів до ефективного застосування на сучасному рівні оперативних прогностичних систем океану загалом та хвильових моделей зокрема є залучення надвеликих обсягів даних з використанням як прогностичних методів методів машинного навчання. У статті досліджуються напрями підвищення якості хвильових моделей з використанням метеорологічних моделей на основі методів машинного навчання. Однією із центральних проблем моделювання вітрового хвилювання є вивчення механізмів, що формують спектр підвищення якості хвильових моделей, та своєю чергою підвищення точності прогнозування швидкості підвищення вітру над водною поверхнею в рамках відповідних ансамблевих моделей. Результати досліджень показують, що ефективне застосування супутникових даних в оперативному прогнозі з допомогою методів машинного навчання має величезний потенціал. Своєю чергою підвищення точності прогнозування гідродинамічних моделей атмосфери на основі машинного навчання дозволить забезпечити підвищення точності прогнозування моделей вітрового хвилювання у рамках відповідних ансамблевих моделей у сучасних оперативних прогностичних системах океану.*

**Ключові слова:** океан, хвильова модель, вітрове хвилювання, прогнозування хвилювання, метеорологічна модель, тропічний циклон, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** У сучасних оперативних прогностичних системах океану реалізовано інтегрування технології математичної моделі спільно з процедурним засвоєнням даних спостережень, обробкою та поданням прогностичної інформації у зручній для користувачів формі у разі передачі їх у режимі реального часу. Загальним підходом у розвитку океанічних прогностичних систем натеper є інтегрування гідродинамічних

моделей атмосфери, циркуляції океану, вітрового хвилювання та інших.

Прогнозування хвилювання – це процес оцінки того, як змінюватимуться параметри хвилювання під впливом вітру на водну поверхню [1; 2]. Залежність полів хвилювання від полів вітру визначає тісний зв'язок між хвильовими та метеорологічними моделями. Тому за розвитком атмосферних моделей розвиваються і хвильові

моделі. З поліпшенням якості атмосферних моделей покращувалася якість хвильових моделей і, як наслідок, точність прогнозів, що випускаються. Крім того, у міру поглиблення розуміння фізичних процесів, що відбуваються в океані та атмосфері, які визначають механізми взаємодії хвиль з приводним шаром атмосфери, стає все більш зрозумілим, що ці взаємодії є складнішими та глибшими, ніж уявлялося досі. У хвильових моделях глибокого моря розвиток хвиль переважно контролюється вітром. Вихідна інформація про вітри у розрахунках властивостей хвиль представляється як послідовності діагностичних і прогностичних полів векторів вітру.

Більшість хвильових моделей, що застосовуються нині для глибокого моря, засновані на чисельному вирішенні рівняння радіаційного балансу для двовимірного хвильового спектра. Рівняння перенесення визначає поширення різних компонент хвиль у спектрі з різними частотами та напрямками поширення з відповідними груповими швидкостями. Зміна енергії цих компонентів відбувається під дією вітру, дисипації та нелінійних взаємодій високого порядку. За допомогою хвильових моделей розраховується повний двовимірний спектр хвиль на кожному тимчасовому кроці та у кожному вузлі сіткової області. Рівняння перенесення енергії має вигляд [2]:

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla(C_g E) = S, \quad (1)$$

де  $E = E(f, \theta, x, t)$  – двовимірний спектр хвилювання (спектр коливань поверхні), що залежить від частоти  $f$  та напрямку хвиль  $\theta$ ;

$C_g = C_g(f, \theta)$  – групова швидкість на глибокій воді;  
 $S$  – функція джерела, що включає різні процеси, такі як  $S_{in}$  – надходження енергії за рахунок вітру,  $S_{nl}$  – нелінійна передача енергії внаслідок взаємодії хвиль,  $S_{ds}$  – дисипація енергії за рахунок обвалення гребенів хвиль та внутрішнього турбулентного тертя.

Оцінки різних компонентів у правій частині рівняння (1) показують їх різні просторово-часові масштаби, в яких виявляються ті чи інші еволюційні механізми, що визначають поведінку поля вітрового хвилювання. Вивчення механізмів, що формують спектр, натепер є однією із центральних проблем моделювання вітрового хвилювання. У зв'язку з цим важливу роль для підвищення якості хвильових моделей відіграє підвищення точності прогнозування швидкості підвищення вітру над водною поверхнею в рамках відповідних ансамблевих моделей.

Одним з підходів до ефективного застосування на сучасному рівні оперативних прогностичних

систем океану загалом та хвильових моделей зокрема є залучення надвеликих обсягів даних з використанням як прогностичних методів методів машинного навчання.

**Аналіз літературних джерел.** У роботах [1; 2; 4; 6–8] розглядаються десятки різних моделей відтворення вітрового хвилювання. Їх можна поділити на чотири групи: спектральні дискретні; спектральні параметричні; інтегральні параметричні; інші (емпіричні, енергетичні, монохроматичні та різні їх комбінації). Але питання підвищення якості хвильових моделей з використанням метеорологічних моделей на основі методів машинного навчання в наявних роботах не розкриті, тому потребують додаткових досліджень.

**Метою статті** є дослідження напрямів підвищення якості хвильових моделей з використанням метеорологічних моделей на основі методів машинного навчання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Машинне навчання (machine learning (ML)) – клас методів штучного інтелекту, характерною рисою яких є не пряме розв'язання задачі, а навчання за рахунок застосування рішень множини подібних задач. Для побудови таких методів використовуються засоби математичної статистики, чисельних методів, математичного аналізу, методів оптимізації, теорії ймовірностей, теорії графів, різноманітної техніки роботи з даними у цифровій формі [3].

У роботі [4] запропоновано алгоритм ML, що передбачає можливість швидкого посилення тропічного циклону.

Тропічний циклон – тип циклону, або погодної системи низького тиску, що виникає над теплою морською поверхнею та супроводжується потужними грозами, випаданням зливових опадів та вітрами штормової сили. Тропічні циклони здатні викликати як надзвичайної сили зливи, так і великі хвилі на поверхні моря, штормові припливи і смерчі. Тропічні циклони можуть виникати та підтримувати свою силу лише над поверхнею великих водойм [5].

Передбачити, чи тропічний циклон почне різко посилюватися, тобто чи збільшиться швидкість вітру більше ніж наприклад на 30 вузлів (або 55 кілометрів за годину) за добу, дуже складно. Багато в чому це пов'язане з тим, що зростання швидкості вітру залежить від умов навколишнього середовища, а також від процесів, що відбуваються всередині циклону.

На основі аналізу супутникових даних, зібраних у рамках проекту NASA та JAXA Tropical Rainfall Measuring Mission, який проводився з 1997 по

2015 рік, у роботі виділено кілька основних факторів, пов'язаних зі зміною швидкості руху вітру. Так, зафіксовано, що ефективним індикатором того, що сила циклону зросте протягом наступних 24 годин, є кількість опадів усередині ядра циклону – кільця гроз радіусом до 100 кілометрів, що оточує так зване око бурі. Чим сильніший дощ усередині цієї області, тим більша ймовірність того, що циклон посилиться. Крім того, зміна сили вітру також пов'язана з вмістом крижин у хмарах і температурою повітря, що піднімається з ока бурі.

Ці індикатори були додані до тих, що використовує програма Національного центру ураганів (National Hurricane Center (NHC)). Зокрема, до їх числа входить попередня 12-годинна зміна інтенсивності циклону, відсоток площі із загальною кількістю опадів менше 45 міліметрів та інші.

Щоб перевірити передбачувану ефективність різних вимірювань структурних елементів циклону, використовуються методи машинного навчання для прогнозу RI (Rapid Intensification) із предикторами SHIPS RII (Statistical Hurricane Intensity Prediction Scheme Rapid Intensification Index) та параметрами, що становлять внутрішні структурні елементи циклону. Щоб порівняти прогнози ML з моделями NHC, у моделі ML були включені лише випадки з Атлантики та ЕРАС. Моделі ML навчалися для басейнів Атлантики та ЕРАС окремо з використанням бази даних розвитку SHIPS, яка ґрунтується на даних повторного аналізу системи кліматичних прогнозів (CFSR) та даних GOES IR за період з 1998 по 2008 рр. Потім модель тестувалася у прогнозуванні RI з використанням архівних даних Національного центру екологічного прогнозування (NCEP) за період з 2009 по 2014 роки.

Результати прогнозу для детермінованого прогнозу RI оцінюються за допомогою трьох показників [4]:

– ймовірності виявлення (probability of detection (POD)):

$$POD = \frac{a}{a + c}; \quad (2)$$

– коефіцієнта хибних тривог (false alarm ratio (FAR)):

$$FAR = \frac{b}{a + b}; \quad (3)$$

– оцінки Пірса (Peirce Skill Score (PSS)):

$$PSS = \frac{ad - bc}{(a + c)(b + d)}, \quad (4)$$

де a, b, stad – відповідно позначення кількості істинно позитивних, хибнопозитивних, хибнонегативних, істинно негативних значень;

1, 0 та 1 – кращі оцінки відповідно до виразів (2–4).

Для ймовірнісних прогнозів використовувався також оцінка Брієра (Brier Skill Score (BSS)), яка є показником, що зазвичай використовується в ННС. Оцінка Брієра для моделі прогнозу визначається як:

$$BSM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - O_i), \quad (5)$$

де  $f_i$  – ймовірність прогнозу;

$O_i$  – параметр, який набуває значення 1 або 0, якщо подія відповідно спостерігається чи ні.

BSS щодо кліматології визначається як:

$$BSS = \left(1 - \frac{BSM}{BSC}\right), \quad (6)$$

де BSC – оцінка кліматологічного прогнозу.

Позитивне значення BSS вказує на кращий прогноз ніж кліматологічний прогноз, а BSS, рівне 1, відповідає ідеальній моделі. У цьому дослідженні кліматологічна ймовірність RI у кожному басейні заснована на значеннях, перелічених у наборі даних прогнозу SHIPS RII для цунамі у 2009–2014 рр.

У роботі використовується ряд схем машинного навчання, включаючи логістичну регресію, випадковий прогноз, дерево рішень та додаткове дерево, доступні у стандартному пакеті Pythonscikit-learn та IBM Watson Studio, для побудови нашої схеми ML прогнозування інтенсивності циклонів (ML Hurricane Intensity Forecast Scheme (ML) HIFS)). Середньозважене значення ймовірностей RI із чотирьох схем ML будується для остаточної моделі, що забезпечує дихотомічний класифікатор RI та відповідну ймовірність RI.

На рис. 1 показано порівняльний аналіз результатів моделювання (сірі стовпці являють собою оцінки прогнозу на основі використання моделі NHC, а сині та червоні стовпці представляють результати прогнозування з використанням запропонованої моделі ML на основі предикторів SHIPS RII без та з урахуванням надлишкових опадів) [4]:

1. Рисунки 1a та 1e – результати оцінки за метрикою BSS для даних навчання з 1998 по 2008 рік для трьох порогових значень RI (25, 30 та 35 вузлів).

2. Рисунки 1b та 1f – результати оцінки за метрикою PSS для даних навчання з 2009 по 2014 роки.

3. Рисунки 1c та 1g – результати оцінки за метрикою POD для даних навчання з 2009 по 2014 роки.

4. Рисунки 1d та 1h – результати оцінки за метрикою FAR для даних навчання з 2009 по 2014 роки.

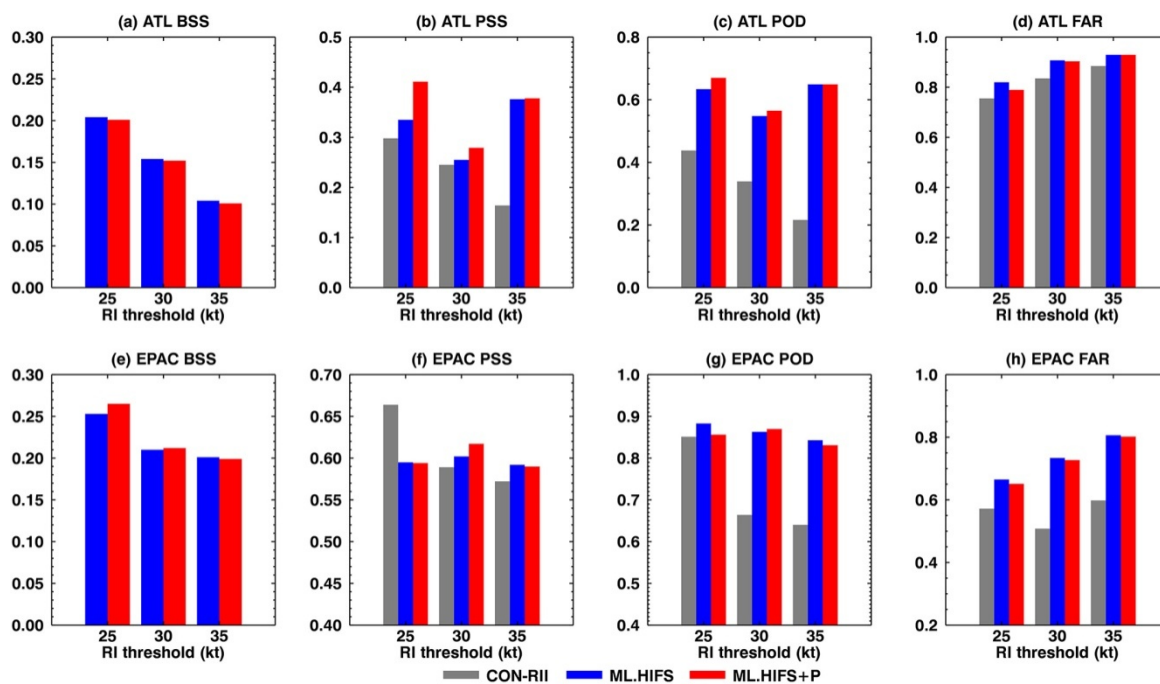


Рис. 1. Порівняльний аналіз результатів моделювання

При цьому тести показали, що у випадку із цунами, швидкість вітру яких збільшилася як мінімум на 56 кілометрів на годину протягом 24 годин, нова модель на основі використання ML показала на 60 відсотків найкращий результат порівняно з поточною. Для сильніших цунами, де швидкість вітру зростала не менше ніж на 64 кілометри на годину за добу, зростання прогнозованої точності становило понад 100 відсотків [4].

**Висновки.** Результати досліджень показують, що ефективне застосування супутникових даних у оперативному прогнозі з допомогою методів машинного навчання має величезний потенціал. У міру того, як на орбіту виходить усе більше і

більше угруповань мініатюрних супутників, стане можливим часте взяття зразків значень внутрішніх структурних елементів циклону та навколишнього середовища. Заснована на ML структура статистичного моделювання буде ефективна для переведення цих спостережень на оперативне використання та значно покращить прогнози інтенсивності тропічних циклонів. Своєю чергою підвищення точності прогнозування гідродинамічних моделей атмосфери на основі ML дозволить забезпечити підвищення точності прогнозування моделей вітрового хвилювання у рамках відповідних ансамблевих моделей у сучасних оперативних прогностичних системах океану.

#### Список літератури:

1. Абузаров З.К., Думанская И.О., Нестеров Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание. Москва; Обнинск : Изд. «ИГ-СОЦИН», 2009. 288 с.
2. Ерёміна Т.Р., Софьина Е.В., Дайлидиене И. Оперативная океанография : учебное пособие. Санкт-Петербург : изд. РГГМУ, 2014. 99 с.
3. Contributors to Wikimedia projects. Машинное обучение. *Википедия: свободная энциклопедия*. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Машинное\\_обучение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Машинное_обучение) (дата звернення: 22.12.2021).
4. Hui Su, Longtao Wu, Jonathan H. Jiang, Raksha Pai, Alex Liu, Albert J. Zhai, Peyman Tavallali, Mark De Maria. Applying Satellite Observations of Tropical Cyclone Internal Structures to Rapid Intensification Forecast With Machine Learning. *AGU Journals*. URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2020GL089102> (дата звернення: 25.12.2021).
5. Contributors to Wikimedia projects. Тропический циклон. *Википедия: свободная энциклопедия*. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тропический\\_циклон](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тропический_циклон) (дата звернення: 15.12.2021).
6. Пустовойтенко В.В., Запелалов А.С. Оперативная океанография: современное состояние, перспективы и проблемы спутниковой альтиметрии. *Морской гидрофизический институт НАН Украины*. Севастополь, 2012. 218 с.
7. Schiller A., Brassington G.B. Operational Oceanography in the 21st Century. Springer, 2011. 450 p.

8. European Operational Oceanography: Present and Future : Proceedings of the Fourth International Conference on EuroGOOS (Brest, France, 6–9 June 2005). Norrköping, Sweden : EuroGOOS Office SVHI, 2006. 856 p.

**Urum N.S., Trofymenko I.V., Ivanenko V.M., Fedunov V.M., Bazhak O.V. RESEARCH OF DIRECTIONS OF IMPROVEMENT OF QUALITY OF WAVE MODELS USING METEOROLOGICAL MODELS ON THE BASIS OF MACHINE LEARNING METHODS**

*The general approach in the development of ocean forecasting systems at present is the integration of hydrodynamic models of the atmosphere, ocean circulation, wind waves and others. In deep sea wave models, the development of waves is mostly controlled by wind. The initial information about the winds in the calculations of the properties of the waves is presented as a sequence of diagnostic and prognostic fields of wind vectors. Most of the wave models currently used for the deep sea are based on the numerical solution of the radiation balance equation for the two-dimensional wave spectrum. An important role in improving the quality of wave models is to increase the accuracy of predicting the rate of wind rise above the water surface in the relevant ensemble models. One of the approaches to the effective application at the current level of operational forecasting systems of the ocean in general and wave models, in particular, is to attract large amounts of data using as forecasting methods – machine learning methods. The aim of the article is to study the directions of improving the quality of wave models using meteorological models based on machine learning methods. One of the central problems of modeling wind waves is the study of mechanisms that form the spectrum of improving the quality of wave models, and, in turn, plays an increase in the accuracy of predicting wind speed above the water surface in the relevant ensemble models. The results of research show that the effective use of satellite data in operational forecasting using machine learning methods has great potential. In turn, improving the accuracy of forecasting hydrodynamic models of the atmosphere based on machine learning will improve the accuracy of forecasting models of wind waves in the relevant ensemble models in modern operational forecasting systems of the ocean.*

**Key words:** ocean, wave model, wind wave, wave forecasting, meteorological model, tropical cyclone, machine learning.

УДК 629.463.62  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/49>

**Фомін О.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Ловська А.О.**

Український державний університет залізничного транспорту

**Фоміна А.М.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

**Литвиненко А.С.**

Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ З КОМПОЗИТНИМИ СТІЙКАМИ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЛІСУ У ХЛИСТАХ

*Ефективність функціонування транспортної галузі зумовлює необхідність впровадження в експлуатацію сучасних транспортних засобів з покращеними техніко-економічними показниками. Для підвищення ефективності використання залізничного транспорту також є доцільним здійснення модернізації наявного рухомого складу.*

*У матеріалах статті запропоновані рішення щодо адаптації універсальної несучої конструкції вагона-платформи до перевезення лісу у хлистах. Така модернізація полягає у монтажі вертикальних стійок на основні поздовжні балки рами. Особливістю стійок є те, що вони виготовлені з композитного матеріалу. Встановлення стійок здійснюється у металеві стакани, розміщені на поворотних секторах, які мають можливість обертатися відносно вертикальної осі для зручності завантаження вагона-платформи.*

*З урахуванням запропонованих рішень можна зменшити тару модернізованої конструкції вагона-платформи на 4,6% порівняно з використанням сталевих стійок.*

*Для визначення основних показників міцності модернізованої несучої конструкції вагона-платформи проведено розрахунок за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation.*

*У разі складання скінчено-елементної моделі враховані ізопараметричні тетраедри. Оскільки сталь є ізотропним матеріалом, а композит – анізотропним, то розрахунок здійснений за двома критеріями – Мізеса та максимальних нормальних напружень.*

*Встановлено, що максимальні напруження в несучій конструкції вагона-платформи не перевищують допустимих значень. Також проведено розрахунок на міцність модернізованої несучої конструкції вагона-платформи і стосовно інших розрахункових схем. Результати розрахунків показали, що міцність несучої конструкції забезпечується.*

*Проведені дослідження сприятимуть створенню напрацювань щодо проектування інноваційних конструкцій рухомого складу та підвищенню ефективності його функціонування.*

**Ключові слова:** транспортна механіка, вагон-платформа, несуча конструкція, модернізація конструкції, міцність.

**Постановка проблеми.** З метою адаптації наявного парку вагонів до перевезень завданої номенклатури вантажів здійснюється їх модернізація. Важливим фактором у разі здійснення подібних модернізацій є мінімальне збільшення підресореної маси несучої конструкції вагона. Досягти цього можна шляхом використання матеріалів, які мають полегшену масу порівняно зі сталлю як основного конструкційного матеріалу у

вагонобудуванні, для забезпечення умов міцності в експлуатації. Одним з таких матеріалів є композити. Тому для обґрунтування використання їх як матеріалу складників несучих конструкцій вагонів доцільним є проведення відповідних досліджень у цьому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження міцності вагона-платформи нового покоління з поворотною рамою наведені в роботі

[1]. Розрахунок на міцність несучої конструкції вагона-платформи проведений за методом скінчених елементів у середовищі програмного комплексу Nastran.

Визначення показників міцності вагона-платформи проводиться в роботі [2]. При цьому розрахунок на міцність проведений у статиці. Чисельні значення розрахункових навантажень, які діють на вагон-платформу, прийняті у відповідності до нормативів PNEN12663 та BN – 77/3532 – 40. Міцність вагона-платформи визначалася з урахуванням чотирьох схем навантажень її конструкції:

- стискуючих зусиль у 2 МН за осями буферів;
- стискуючих зусиль у 0,4 МН, прикладених за діагоналлю на рівні буферів;
- зусилля розтягування у 1 МН за осями буферів;
- вертикального інерційного навантаження, що діє на несучу конструкцію вагона-платформи з урахуванням прискорення 1,95 g.

При цьому питання адаптації несучої конструкції вагона-платформи під перевезення завданої номенклатури вантажів у роботі не розглянуті.

Перспективи експлуатації вагона-платформи нового покоління наведені у публікації [3]. У разі виготовлення моделі було поставлене завдання зменшення опору повітря під час руху, яке вирішене шляхом оптимізації розміщення контейнерів за довжиною вагона-платформи. Модель такого вагона-платформи виготовлена у Німеччині та пройшла експериментальні дослідження у Великобританії.

Доцільність експлуатації вагонів-платформ для перевезення контейнерів, у тому числі контейнерів-цистерн побудови заводу «Трансмаш» (Росія), зазначена у публікації [4]. Конструкція вагона-платформи має вантажопідйомність 73 тонни та може здійснювати перевезення контейнерів типорозміру 1СС, 1С, а також 1СХ.

Разом із тим у разі проектування таких конструкцій вагонів-платформ не розглянуто можливість використання як їхніх складників перспективних матеріалів для зменшення тари.

Конструкційні особливості вагона-платформи для інтермодальних перевезень наведені у статті [5]. Описані загальні вимоги щодо організації технології інтермодальних перевезень, а також визначені їхні переваги. При цьому в роботі не оговорюється, чи є можливою модернізація такої конструкції вагона-платформи під перевезення завданої номенклатури вантажів.

Дослідження динаміки залізничного вагона з відкритою завантажувальною платформою наведені в роботі [6]. Розрахунок проведений у середовищі

програмного комплексу MSC Adams. При цьому дослідження стійкості проти перекидання вагона здійснювалося у разі його вписування у криву радіусом 250 м з урахуванням різної швидкості руху.

Експериментальне дослідження дослідного зразка шарнірно-з'єднаного вагона-платформи моделі 13-1839 для перевезення великовантажних контейнерів наводиться у публікації [7]. Особливістю зазначеної конструкції вагона-платформи є використання двох секцій із загальною завантажувальною довжиною 80 футів, що встановлені на двох візках. У процесі здійснення випробувань дослідного зразка вагона-платформи проводилися: статичні випробування на міцність, випробування на співударення, стаціонарні гальмівні випробування, випробування на проходження кривих малого радіусу та випробування щодо проходження сортувальних гірок.

Важливо зазначити, що авторами таких робіт не розглянуті питання можливості впровадження перспективних матеріалів у складники несучих конструкцій вагонів-платформ.

**Постановка завдання.** Метою статті є визначення показників міцності модернізованої несучої конструкції вагона-платформи з композитними стійками для перевезення лісу у хлистах, що сприятиме підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Для підвищення ефективності використання універсальної конструкції вагона-платформи пропонується його модернізація для можливості перевезення лісу у хлистах. Дослідження проведені на прикладі несучої конструкції вагона-платформи моделі 13-401 побудови Дніпродзержинського вагонобудівного заводу (рис. 1).

Модернізація полягає у монтажі вертикальних стійок на основні повздовжні балки рами (рис. 2). Особливістю стійок є те, що вони виготовлені з композитного матеріалу. Встановлення стійок здійснюється у металеві стакани, розміщені на поворотних секторах, які мають можливість обертатися відносно вертикальної осі для зручності завантаження вагона-платформи.

З урахуванням запропонованих рішень можна зменшити тару модернізованої конструкції вагона-платформи на 4,6% порівняно з використанням сталевих стійок.

Для визначення основних показників міцності модернізованої несучої конструкції вагона-платформи проведено розрахунок за методом скінчених елементів, який реалізовано в програмному комплексі SolidWorks Simulation.





Рис. 1. Вагон-платформа моделі 13-401

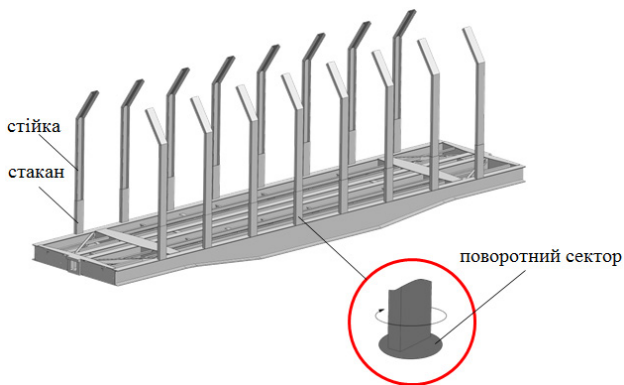


Рис. 2. Несуча конструкція вагона-платформи

У разі складання скінчено-елементної моделі враховані ізопараметричні тетраедри [8–10]. Оптимальна кількість елементів моделі визначена за графоаналітичним методом [11–13]. Кількість вузлів моделі становила 263362, елементів – 768396. Максимальний розмір елементу становив 100 мм, а мінімальний – 20 мм. Відсоток елементів зі співвідношенням боків більше

десяти – 13,5, менше трьох – 13,5. Мінімальна кількість елементів у колі становила 9, співвідношення збільшення розміру елементів – 1,7. Закріплення моделі здійснювалося в зонах обпирання її на візки. Матеріал несучої конструкції вагона-платформи – сталь марки 09Г2С, а стійок – композит з межею міцності 1500 МПа та щільністю 2200 кг/м<sup>3</sup>.

Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи наведена на рис. 3.

На початковому етапі проведено розрахунок несучої конструкції вагона-платформи у разі I режиму [14; 15]. Враховано, що на несучу конструкцію вагона-платформи діє вертикальне навантаження  $P_v$ , яке розподілене за хребтовою та повздовжніми балками у пропорціях 5/8 та 3/8 відповідно. На несучу конструкцію вагона-платформи діє повздовжнє навантаження  $P_n$ , яке прикладалося до заднього упору автозчепу та дорівнює 3,5 МН, а також поперечні навантаження на стійки  $P_c$ . При цьому прийнято, що висота стійок дорівнює 3,169 м [16].

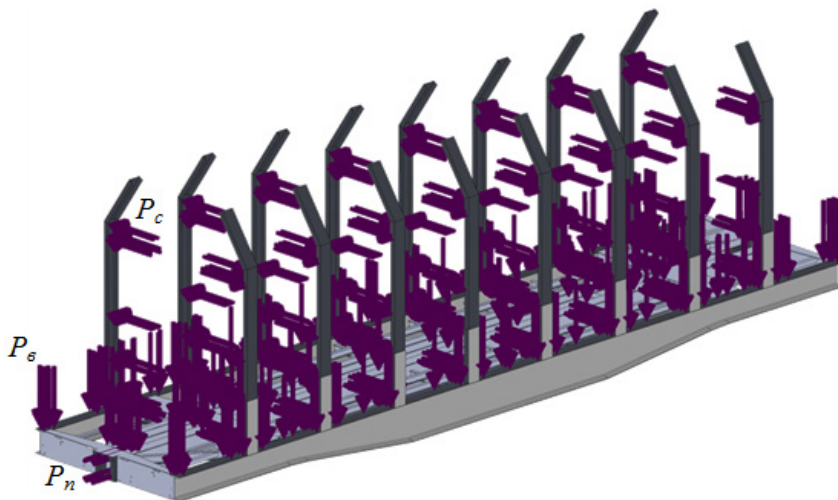


Рис. 3. Розрахункова схема несучої конструкції вагона-платформи

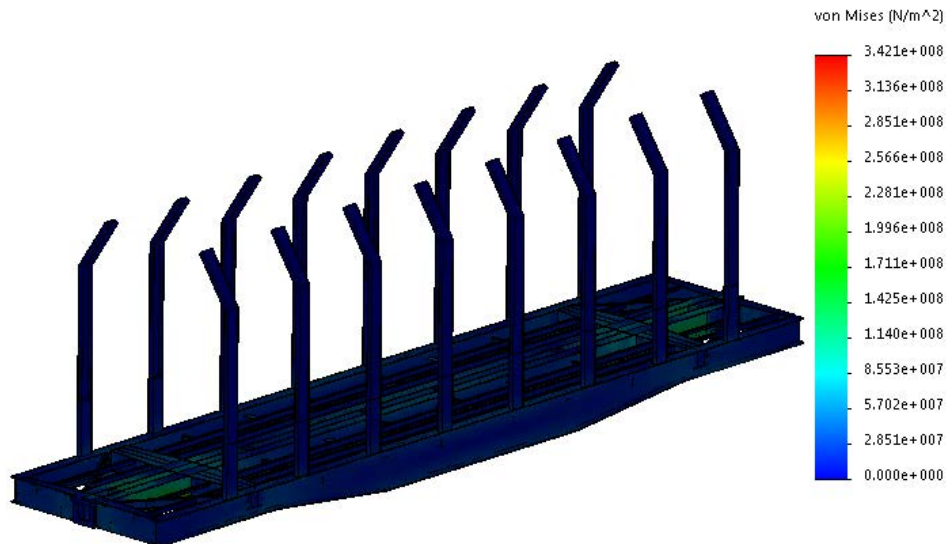


Рис. 4. Напружений стан несучої конструкції вагона-платформи

Величина рівномірно-розподіленого за висо-  
тою стійки поперечного навантаження для кож-  
ного штабеля визначалася [16]

$$P_c = \frac{\Delta F_n}{L_{cm}}, \quad (1)$$

$\Delta F_n$  – поперечна інерційна сила від маси штабеля з  
урахуванням розміщення за довжиною вагона, кН.

При цьому

$$\Delta F_n = n \cdot (F_n + W) - F_{mp}^n, \quad (2)$$

$n$  – коефіцієнт, який розраховується у разі ство-  
рення ТУ на вагон-платформу;  $F_n$  – поперечне  
інерційне навантаження від маси штабеля ван-  
тажу з урахуванням розміщення його за довжи-  
ною вагона та дії відцентрової сили;  $W$  – вітрове  
навантаження, яке діє на вантаж;  $F_{mp}^n$  – сила тертя,  
що діє на штабель вантажу з урахуванням роз-  
міщення його за довжиною вагона у поперечному  
напрямку.

Під час проведення розрахунків враховано, що  
вагон-платформа завантажений штабелем у 6 м.  
Оскільки сталь є ізотропним матеріалом, а компо-  
зит – анізотропним, то розрахунок здійснений за  
двома критеріями – Мізеса та максимальних нор-  
мальних напружень [9; 10].

Встановлено, що максимальні еквівалентні  
напруження в несучій конструкції вагона-плат-  
форми виникають у зонах взаємодії шворневих  
балок з хребтовою та становлять близько 342 МПа  
і не перевищують допустимих [14; 15] (рис. 4).

Розрахунок за критерієм максимальних нор-  
мальних напружень встановив, що максимальні  
нормальні напруження в повздовжньому напрямку

становлять 237,5 МПа, поперечному – 151,7 МПа  
та вертикальному – 174,8 МПа. Отже, отримані  
значення напружень не перевищують допустимих  
[14; 15].

Також проведено розрахунок на міцність  
модернізованої несучої конструкції вагона-плат-  
форми і стосовно інших розрахункових схем.  
Результати розрахунків показали, що міцність  
несучої конструкції забезпечується.

#### Висновки.

1. Запропоновано модернізацію несучої кон-  
струкції вагона-платформи для перевезення лісу  
у хлистах шляхом монтажу вертикальних стій-  
жок із композиту на основні повздовжні балки  
рами. З урахуванням запропонованих рішень  
можна зменшити тару модернізованої конструкції  
вагона-платформи на 4,6% порівняно з викорис-  
танням сталевих стійок.

2. Проведено розрахунок на міцність модер-  
нізованої несучої конструкції вагона-платформи  
для перевезення лісу у хлистах. Максимальні  
еквівалентні напруження в несучій конструкції  
вагона-платформи за критерієм Мізеса виникають  
у зонах взаємодії шворневих балок з хребтовою  
та становлять близько 342 МПа і не перевищують  
допустимих.

Розрахунок за критерієм максимальних  
нормальних напружень встановив, що макси-  
мальні нормальні напруження в повздовжньому  
напрямку становлять 237,5 МПа, поперечному –  
151,7 МПа та вертикальному – 174,8 МПа. Отже,  
отримані значення напружень не перевищують  
допустимих.

## Список літератури:

1. Karol Chlus, Wieslaw Krason. Dynamic analysis of railway platform chassis model. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2011, Vol. 18, No. 2. P. 93–100.
2. Karol Chlus, Wieslaw Krason. Numerical standard tests of railway carriage platform. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2012, Vol. 19, No. 3. P. 59–64.
3. New livery for tarmac wagons. Online. 2011, Issue 17 summer. P. 1.
4. Switching over to the home platform. *Journal for partners Transmashholding*. 2015, No. 3, 09. P. 22–23.
5. Mirosław Nader, Marian Sala, Jarosław Korzeb, Arkadiusz Kostrzewski. Kolejowy wagon transportowy jako nowatorskie, innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne do przewozu naczeł siodłowych i zestawów drogowych dla transportu intermodalnego. *Logistyka*. 2014, No. 4. P. 2272–2279.
6. Tadeusz Niezgodą, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 2012, Vol. 19, No. 4. P. 495–502.
7. Бубнов В.М., Мямлин С.В., Гуржи Н.Л. Экспериментальные исследования шарнирно соединенного вагона-платформы для крупнотоннажных контейнеров модели 13–1839. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2009, Вип. 28. С. 12–16.
8. Fomin O., Lovska A., Pištěk V., Kučera P. Dynamic load effect on the transportation safety of tank containers as part of combined trains on railway ferries. *VIBROENGINEERING PROCEDIA*. 2019, Vol. 29, P. 12–129.
9. Алямовский А. А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006–2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. Москва, 2007. 784 с.
10. Алямовский А.А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций в среде SolidWorks. Москва, 2010. 784 с.
11. Fomin O., Gorbunov M., Lovska A., Gerlici J., Kravchenko K. Dynamics and strength of circular tube open wagons with aluminum foam filled center sills. *Materials*. 2021, Vol. 14(8). 1915. URL: <https://doi.org/10.3390/ma14081915>.
12. Фомін О.В., Ловська А.О. Дослідження динамічної навантаженості вагона-платформи зчленованого типу з круглих труб, завантаженого контейнерами-цистернами. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2021, Вип. 37. С. 31–40.
13. Vatulia G., Falendysh A., Orel Y., Pavliuchenkov M. Structural Improvements in a Tank Wagon with Modern Software Packages. *Procedia Engineering*. 2017, Vol. 187. P. 301–307. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.379.
14. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проєктування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
15. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. Москва, 2016. 54 с.
16. Местные технические условия размещения и крепления круглых лесоматериалов длиной 3,0, 4,0, 6,0 на специализированной платформе модели 13-9997. 2014. 16 с.

**Fomin O.V., Lovska A.O., Fomina A.M., Lytvynenko A.S. DETERMINATION OF STRENGTH INDICATORS OF THE MODERNIZED LOAD-BEARING STRUCTURE OF A FLATCAR WITH COMPOSITE STRUTS FOR THE TRANSPORTATION OF TIMBER IN SOLID WOOD**

*Efficiency of functioning of the transport sector necessitates the introduction into operation of modern transport vehicles with improved technical and economic indicators. To increase the efficiency of railway transport is also appropriate to carry out the modernization of the current rolling stock.*

*The article offers solutions for adaptation of universal load-bearing structure of a flat car to the transportation of timber in pieces of wood. This modernization consists in installation of vertical struts on the main beams of the frame. The particularity of the struts is that they are made of composite material. Frames are installed in metal cages placed on swivel sectors that can be rotated relative to the vertical axis for easy loading of the flat car.*

*Taking into account the proposed solutions it is possible to reduce the tare of the modernized design of the flat car by 4.6% in comparison with the use of steel columns.*

*To determine the main indicators of strength of the modernized load-bearing structure of the flat car, the calculation was carried out by the method of joined elements, which was implemented in the SolidWorks Simulation software package.*

*When creating the bonded-element model, the isoparametric tetrahedrons were taken into account. Since steel is an isotropic material and composite is anisotropic, the calculation was carried out according to two criteria – Mises and maximum normal loads.*

*It was found that the maximum loads in the load-bearing structure of the flat wagon do not exceed the permissible values. The strength of the modernized load-bearing structure of the flatcar was also calculated according to other design schemes. The results of the calculations showed that the strength of the load-bearing structure is ensured.*

*The conducted research will contribute to the creation of guidelines for the design of innovative structures of the rolling stock and increasing the efficiency of its functioning.*

**Key words:** transport mechanics, flatcar, load-bearing structure, modernization of structure, strength.

**Шевчук Д.О.**

Національний авіаційний університет

**Маляренко Д.Л.**

Національний авіаційний університет

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ НА РЕСУРСИ АЕРОПОРТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

*Останні 10 років аеропорти України перебувають у скрутному стані через вплив унікальних факторів на їхню діяльність. До цих факторів насамперед належать: воєнний конфлікт на Сході країни та пандемія COVID-19. Якщо перший фактор торкнувся суттєво аеропортової діяльності України, то COVID-19 сколихнув усі аеропорти світу. Багато країн закрили свої повітряні кордони, перевезення пасажирів призупинилися на невідомий термін, усе задля зупинення нових спалахів пандемії. Показники аеропортової діяльності України за 2019 рік різко впали порівняно з 2014 роком, і перед керівництвом постало завдання розподілення ресурсів в умовах невизначеності. Тому що ніякі прогнози вчених-медиків не можуть передбачити поведінку вірусу SARS-CoV-2. Вимушена пауза, яку взяли українські аеропорти задля збереження нормального епідеміологічного стану в країні, стала викликом для нових дій у кризовому стані. Перший ресурс, котрий відчув на собі вплив пандемії, – це трудовий. За оцінками Міжнародної організації праці, повні чи часткові обмежувальні заходи у зв'язку з пандемією коронавірусної інфекції зачіпають 2,7 млрд робітників, або 81% від усієї робочої сили в усьому світі, що призводить до вимушеного скорочення зайнятості як у формі звільнень працівників, так і скорочення оплачуваного робочого дня. Оскільки аеропортовий працівник – це працівник вузького профілю, на навчання якого витрачається багато часу та коштів, втрата таких спеціалістів для аеропорту не допустима навіть у пандемію. Пандемія COVID-19 мала значний вплив на здоров'я працівників аеропорту, а також на можливість незбереження робочого місця за працівником, тобто його звільнення, та невиплати заробітної плати через критичний фінансовий стан аеропорту. Однак за рахунок впровадження комплексу протиепідеміологічних заходів та антикризових заходів більшість трудових ресурсів залишилася при робочих місцях.*

**Ключові слова:** COVID-19, аеропорт, ресурси, умова невизначеності, управління, фактор, аналіз.

**Постановка проблеми.** Всесвітня пандемія, викликана коронавірусною інфекцією, в 2019 році вплинула на розвиток та перспективи галузі транспорту. Різке зниження попиту на товари і послуги у зв'язку з домашнім карантинном призвели до великого скорочення обсягу надання транспортних послуг у світі, в тому числі і авіаційних. COVID-19 вказав на важливість авіаційного транспорту для соціуму та економіки країн. Адже «нова реальність» в авіаційній галузі вплинула на скорочення ресурсів в аеропорту, де виникла проблема збереження діяльності на плаву. Тому необхідно дослідити ресурсозабезпеченість аеропорту на випадок нової хвилі коронавірусної інфекції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах таких українських дослідників, як К.В. Маринцева, М.В. Харченко, О.М. Іванова, В.Ю. Павелко та інші, досліджуються різні теоретико-методологічні аспекти щодо формування ресурсів аеропорту в нормальних умовах. Ці автори приділили багато

уваги ресурсозабезпеченості та її впливу на діяльність аеропорту, в багатьох роботах запропоновані науково-методичні підходи до розподілення ресурсів, як вони формують потоки, які ланки беруть на себе найбільше витрат і т.д. Стислий аналіз публікацій за напрямом дослідження вказує на необхідність проведення детальнішого аналізу щодо ресурсів в аеропорту в умовах невизначеності, а саме збереження трудових ресурсів під час COVID-19.

**Постановка завдання.** Мета статті – проаналізувати фактори, які впливають на діяльність аеропорту в умовах невизначеності та яким чином вони відображаються на трудових ресурсах; знайти оптимальне рішення щодо витрат аеропорту в період пандемії задля збереження професійних кадрів в умовах урядових заходів із запровадження карантину.

**Виклад основного матеріалу.** Напрями розвитку та реформування аеропортів України представлені в документі «Державна цільова програма розвитку

аеропортів на період до 2023 року» [1, с. 1–3]. В програмі прописані напрями реконструкції, модернізації та вдосконалення елементів системи аеропорту, де в результаті виконання програми передбачається:

- збільшення загального пасажиропотоку до рівня 24,3 млн пасажирів до 2023 року (більш як удвічі порівняно з 2015 роком);
- збільшення пропускної спроможності аеропортів удвічі, а також приведення рівня надання послуг в аеропортах у відповідність до міжнародних стандартів;
- зменшення часу на наземне обслуговування кожного повітряного судна до 35–40 хвилин;
- підвищення вдвічі транзитного потенціалу головного міжнародного авіаційного транспортного вузла держави як запоруки успішного розвитку аеропортів;
- створення не менш як 1000 додаткових робочих місць та ін.

Загалом програма розвитку аеропортів спрямована на підвищення ефективності функціонування аеропортів, створення умов для оновлення основних виробничих фондів і інфраструктури, впровадження сучасних технологій з обслуговування пасажирів, клієнтів, вантажовідправників та підвищення конкурентоспроможності аеропортів на міжнародному ринку авіаперевезень.

Державну цільову програму з розвитку аеропортів було затверджено постановою Кабінетів Міністрів України від 24 лютого 2016 року № 126, після того як у 2014 році Україна втратила великі аеропорти через воєнний конфлікт на Сході країни та анексію Кримського півострова. Як результат, зменшена аеропортова мережа країни та вплив на загальні аеропортові показники.

У 2019 році світ сколихнула коронавірусна пандемія, спричинена гострим респіраторним

вірусом SARS-CoV-2. Інфекція поширювалася дуже стрімко, що довелося зупинити механізм, який частково допомагав її поширювати, – транспорт. Саме зупинення міжнародних та внутрішніх авіасполучень і закриття кордонів вплинули на авіаційну галузь країни.

За статистичними даними Державної служби статистики України [2] та підсумками Державної авіаційної служби України [3], анексія Криму, знищення та захоплення українських аеропортів, боєві дії на Луганщині, Донеччині так не вплинули на пасажиропотік, вантажопотік і діяльність аеропортів, як COVID-19.

За підсумками 2020 року діяльність аеропортів України показала малі результати порівняно з 2019 роком. За рік аеропортами було прийнято всього 94 тисячі повітряних суден, аеропортові пасажиропотоки скоротились на 64,4%, поштові та вантажні потоки – на 13,3%.

Кількість обслуговуваних пасажирів зменшилась в основних аеропортах України:

- Міжнародний аеропорт Бориспіль – на 66,2%;
- Міжнародний аеропорт Жуляни – на 73,1%
- Міжнародний аеропорт Львів – на 60,4%
- Міжнародний аеропорт Одеса – на 58,8%
- Міжнародний аеропорт Харків – на 50,8%
- Міжнародний аеропорт Запоріжжя – на 24,9%.

Аналізуючи результати діяльності українських аеропортів (рис. 1.), бачимо різке зниження за 2014–2015 роки. Але показники за 2020 рік більш катастрофічні для діяльності аеропортів, тому що пасажиропотік зменшився більш ніж на половину. Причина тому – неоднозначний вплив факторів на аеропортову діяльність.

Аеропортова мережа України за два десятиліття відчула на собі унікальні фактори (табл. 1), які суттєво впливають на її діяльність.

З аналізу цих факторів можна зробити висновок, що аеропорти та авіаційна галузь України функціонують в умовах невизначеності останні 10 років. Тому що кожна подія в країні, яка стосується економічного, соціального, політичного та інших станів відразу впливає на аеропортову діяльність.

Нині Україна перебуває на перехідному етапі, де в авіаційній галузі спостерігається адаптація до нових умов діяльності, але, як і раніше,



**Рис. 1. Пасажиропотік аеропортів України**

зберігається ціла низка ризиків. Очікування третьої хвилі пандемії – штаму «Дельта», зростання кількості хворих COVID-19 у деяких регіонах світу, часткове відновлення раніше знятих обмежень і інші фактори створюють подальшу невизначеність щодо діяльності українських авіакомпаній та аеропортів. При цьому невизначеність стосується не тільки термінів повернення до докризових показників, а й майбутнього образу транспортної сфери в посткоронавірусному світі загалом. Тому перед управлінцями транспортної галузі та директорами аеропортів постає головне питання – розподілення ресурсів аеропорту в умовах невизначеності.

Умови невизначеності в аеропорту – це неповнота або недостовірність інформації про умови реалізації рішення, наявність фактора випадковості або протидії. Таким чином, прийняття рішення в умовах невизначеності означає вибір варіанта рішення, коли одна або кілька дій мають своїм

наслідком безліч результатів, але їхні ймовірності абсолютно не відомі або не мають сенсу [12].

Аеропорт як складна система функціонує за допомогою ресурсів, а ресурси забезпечують його діяльність – надання послуг споживачам. Надання послуг аеропортом є дуже складним технологічним процесом і супроводжується великими витратами. Тобто діяльність аеропорту передбачає виникнення витрат і більшість з них завчасно запланована, що вказує на вміння ефективно ними управляти.

Але під час всесвітнього карантину більшість аеропортів світу і українські в тому числі зіткнулися з проблемою простою трудових ресурсів та витратами на них, які не перекивалися доходами. Тому що на діяльність аеропорту постійно впливають об'єктивні та суб'єктивні фактори. До об'єктивних факторів впливу відносять: кількість авіакомпаній, що обслуговуються, їхню льотну активність, інтенсивність пасажиропотоку та

Таблиця 1

**Фактори, що впливають на українську аеропортову мережу**

№	Фактор	Восний конфлікт 2014 – по сьогодні [5; 6; 7; 8; 9; 10; 11]	Пандемія 2019 – по сьогодні [4]
1.	Закриття аеропорту	Міжнародний аеропорт Донецьк імені Сергія Прокоф'єва (повністю зруйнований)	Тимчасове припинення діяльності пасажирських терміналів українських аеропортів.
		Міжнародний аеропорт Луганськ (повністю зруйнований)	
2.	Втрата аеропорту	Міжнародний аеропорт «Маріуполь» (з 2014 року пасажирські рейси не здійснюються)	Тимчасове припинення діяльності пасажирських терміналів українських аеропортів
		Міжнародний аеропорт «Сімферополь» імені Султана Амет-Хана (де-юре закритий, де-факто обслуговує рейси із/в Росію)	
3.	Відміна рейсів	Міжнародний аеропорт Бельбек	Тимчасове скасування рейсів міжнародними та українськими авіакомпаніями.
		– Скасування рейсів через території збройного конфлікту та анексованого Криму, акваторію Чорного моря. – Часткова відміна міжнародних рейсів зарубіжними авіакомпаніями (АК). – Закриття повітряного простору України російським АК. – Скасування рейсів українських АК у Російську Федерацію (РФ).	
4.	В'їзд пасажирів на територію України	– Заборонено особам, що входять до Переліку осіб, які створюють загрозу національній безпеці України. – Заборона громадянам РФ, які не підтвердили мету поїздки.	Іноземцям, які прибувають в Україну (незалежно з якої країни), необхідно мати страховку, яка покриває витрати, пов'язані з лікуванням COVID-19, обсервацією, а також негативний результат ПЛР чи експрес-тестування, яке проведено не більш як за 72 години до перетину кордону, або документа, що підтверджує отримання повного курсу вакцинації від COVID-19 вакцинами, включеними ВООЗ до переліку дозволених для використання в надзвичайних ситуаціях.

потоків вантажів, потоків повітряних суден, які проходять через аеропорт. Зниження обсягів таких факторів призводить до зменшення дохідної частини аеропорту та результатів його діяльності. До суб'єктивних факторів впливу відносять: якість наданих послуг, тарифну політику, систему лояльності тощо [13].

Коли авіаційна діяльність призупинилася, перший аеропортовий ресурс, який відчув жорсткий вплив об'єктивних та суб'єктивних факторів, – це трудовий. Складність управління трудовими ресурсами в умовах невизначеності полягає в їх збереженості. Адже авіаційний працівник (спеціаліст) – це робітник вузького профілю, на формування якого як спеціаліста компанія витрачає багато часу та коштів. Такий спеціаліст – одна із головних і високо витратних ланок, які забезпечують діяльність аеропорту. Тому збереження за спеціалістом робочого місця з виплатою зарплати під час пандемії для керівників стало головним завданням.

З вищенаведених даних бачимо, що найбільше від COVID-19 постраждала діяльність Міжнародного аеропорту Жуляни (на 73,1%) – другого за величиною пасажирського аеропорту країни, третього за пасажиропотоком. У 2019 році аеропортом «Жуляни» було отримано 257 867 тис. грн доходів, але порівняно з показниками 2018 року відбулося зменшення доходу на 13%.

Структура витрат аеропорту «Жуляни» [14] на період 2019 року складалася з:

- матеріальних витрат (7,7%);
- ЄСВ (8,7%);
- амортизації (10,8%);
- інших операційних витрат (32,8%);
- оплати праці (40,5%).

Структура витрат аеропорту «Жуляни» на період 2020 року складалася з:

- матеріальних витрат (7%);
- ЄСВ (7,7%);
- амортизації (15,5%);
- інших операційних витрат (34%);
- оплати праці (35,7).

Зі структури витрат аеропорту бачимо, що на аеропорт «Жуляни» суттєво вплинули зовнішні, об'єктивні та суб'єктивні фактори, і основне завдання для керівництва полягає в управлінні витратами аеропорту.

Основними аспектами процесу управління витратами є: встановлення шляхів та напрямів економії ресурсів; встановлення норм використання ресурсів; виконання планування витрат за їх типами та видами; повний та ефективний облік і аналіз витрат; реалізація заходів зі стиму-

лювання економічного використання ресурсів та скорочення витрат.

Як бачимо, загальна сума витрат за 2020 рік суттєво змінилася в оплаті праці, тобто керівництво прийняло рішення економії фінансових ресурсів задля збереження трудових. Тобто жорстка економія на виплатах зарплат дала можливість протриматися аеропорту на плаву та не допустила різкого скорочення персоналу. Не обійшлося без звільнень, 90% працівників відправилися у відпустку за власний рахунок, а деякого поставили в режим простою, але такий вихід із критичної ситуації виявився найкращим для обох сторін: аеропорт зберіг фінансові та трудові ресурси, а працівники – здоров'я та роботу.

Звичайно, такі антикризові рішення не покращать фінансове становище аеропорту відразу. За підсумками 2020 року аеропорт «Жуляни» має 32 189 тис. грн чистого прибутку. Але завдяки частковому зменшенню витрат на трудові ресурси загальна сума витрат зменшилася на 28%.

Можна зробити висновок, що найбільше від COVID-19 постраждали трудові ресурси аеропорту, а керівництво аеропорту, яке також належить до цих ресурсів, постало перед великими проблемами:

- перша – це збереження спеціалістам трудового місця, не піддаючи ризику їхнє здоров'я;
- друга – розподілення та зменшення витрат на оплату праці;
- третя – тримання аеропорту на плаву в умовах невизначеності.

Отже, оптимальним рішенням стало знаходження балансу трудових ресурсів і зменшення витрат на оплату праці працівників.

**Висновки.** Узагальнюючи вищезазначене, можна зробити висновок, що прийняття управлінського рішення стосовно трудових та інших ресурсів в умовах невизначеності є складним завданням.

Аналіз фінансових показників аеропорту «Київ» свідчить про те, що українські аеропорти та їхні керівники опинилися у скрутному становищі вже не вперше. Державна цільова програма з розвитку аеропортів можливо до 2023 року буде виконана, але в умовах дефіцитного розподілення ресурсів. Тому вихід з такої ситуації – це жорстка економія на виплатах зарплат. Збереження робочих місць насамперед для кваліфікованого персоналу, на підготовку якого потрібен час та кошти, є пріоритетним завданням в умовах невизначеності. Адже заробітна плата – це єдине джерело доходів працівників аеропорту.

Список літератури:

1. Державна цільова програма розвитку аеропортів на період до 2023 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 24 лютого 2016 р. № 126. URL: <https://mtu.gov.ua/files/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B6%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B0%20%D1%86%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D1%96%D0%B2%20%D0%B4%D0%BE%202023%20%D1%80%D0%BE%D0%BA%D1%83.pdf> (дата звернення: 10.11.2021).
2. Державна служба статистики України. *Офіційний сайт*. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 10.11.2021).
3. Державна авіаційна служба України. *Офіційний сайт*. URL: <https://avia.gov.ua/pro-nas/statistika/> (дата звернення: 10.11.2021).
4. Про встановлення карантину та запровадження обмежувальних протиепідемічних заходів з метою запобігання поширенню на території України гострої респіраторної хвороби COVID-19, спричиненої коронавірусом SARS-CoV-2 : Постанова Кабінету Міністрів України від 9 грудня 2020 р. № 1236. *Офіційний сайт Верховної Ради України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1236-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 12.11.2021).
5. Міжнародний аеропорт «Донецьк» імені Сергія Прокоф'єва. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\\_%C2%AB%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%BA%C2%BB\\_%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%96\\_%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D1%8F\\_%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%84%27%D1%94%D0%B2%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82_%C2%AB%D0%94%D0%BE%D0%BD%D0%B5%D1%86%D1%8C%D0%BA%C2%BB_%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%96_%D0%A1%D0%B5%D1%80%D0%B3%D1%96%D1%8F_%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%84%27%D1%94%D0%B2%D0%B0) (дата звернення: 12.11.2021).
6. Міжнародний аеропорт «Луганськ». *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA\\_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82) (дата звернення: 12.11.2021).
7. Міжнародний аеропорт «Маріуполь». *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%96%D1%83%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C\\_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%96%D1%83%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82) (дата звернення: 12.11.2021).
8. Міжнародний аеропорт «Сімферополь» імені Султана Амет-Хана. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9\\_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82\\_%C2%AB%D0%A1%D1%96%D0%BC%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%C2%BB\\_%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%96\\_%D0%A1%D1%83%D0%BB%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B0\\_%D0%90%D0%BC%D0%B5%D1%82-%D0%A5%D0%B0%D0%BD%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D1%96%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82_%C2%AB%D0%A1%D1%96%D0%BC%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%8C%C2%BB_%D1%96%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%96_%D0%A1%D1%83%D0%BB%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B0_%D0%90%D0%BC%D0%B5%D1%82-%D0%A5%D0%B0%D0%BD%D0%B0) (дата звернення: 12.11.2021).
9. Міжнародний аеропорт Бельбек. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B5%D0%BA\\_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B1%D0%B5%D0%BA_%D0%B0%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82) (дата звернення: 12.11.2021).
10. Мінінфраструктури: Україна повністю припиняє авіасполучення з Росією. *Finbalance*. URL: <https://finbalance.com.ua/news/mininfrastrukturi-ukrana-povnistyu-privinya-aviaspoluchennya-z-rosiyu> (дата звернення: 12.11.2021).
11. Перелік осіб, які створюють загрозу нацбезпеці України. *Вікіпедія: вільна енциклопедія*. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA\\_%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1\\_%D1%8F%D0%BA%D1%96\\_%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D1%8E%D1%82%D1%8C\\_%D0%B7%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%83\\_%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%86%D1%96\\_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BB%D1%96%D0%BA_%D0%BE%D1%81%D1%96%D0%B1_%D1%8F%D0%BA%D1%96_%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D1%8E%D1%82%D1%8C_%D0%B7%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%BE%D0%B7%D1%83_%D0%BD%D0%B0%D1%86%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BF%D0%B5%D1%86%D1%96_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8) (дата звернення: 12.11.2021).
12. Іванова О.М. Характеристика та класифікація інформаційних потоків підприємств. *Інвестиції: практика та досвід*. 2016. № 13. С. 18–22.
13. Харченко М.В. Управління логістичними витратами аеропорту : дис. ... канд. наук : 08.00.04. Київ, 2018. 275 с.
14. Фінансова звітність. *Kyiv Sikorsky Airport*. URL: <https://iev.aero/press-centre/financial-report> (дата звернення: 14.11.2021).

**Shevchuk D.O., Maliarenko D.L. ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MAIN FACTORS ON AIRPORT RESOURCES UNDER UNCERTAINTY**

*For the last 10 years, ukrainian airports have been in a difficult state due to the influence of unique factors on their activities. These factors include, first of all, the military conflict in the East of the country and the COVID-19 pandemic. If the first factor significantly affected ukrainian airport activities, COVID-19 shook all airports in the world. Many countries have closed their air borders, passenger traffic has been suspended for an unknown period, all to stop new outbreaks of the pandemic. Ukrainian airport performance indicators in*



---

*2019 fell sharply compared to 2014, and the management faced the task of allocating resources in conditions of uncertainty. Because no predictions of medical scientists can predict the behavior of the SARS-CoV-2 virus. The forced pause taken by ukrainian airports to maintain the normal epidemiological situation in the country has become a challenge for new actions in a state of crisis. The first resource to be affected by the pandemic was labor. The International Labor Organization estimates that full or partial restrictions on the coronavirus pandemic affect 2.7 billion workers, or 81% of the world's workforce, forcing forced reductions in both layoffs and reduction of paid working day. Since an airport worker is a narrow-minded worker who spends a lot of time and money on training, the loss of such specialists for the airport is not acceptable even in a pandemic. The COVID-19 pandemic had a significant impact on the health of airport employees, as well as on the possibility of not preserving the employee's job, i.e. his dismissal and non-payment of wages due to the critical financial condition of the airport. However, due to the introduction of a complex against epidemiological measures and anti-crisis measures, most of the labor resources remained in the workplace.*

**Key words:** *COVID-19, airport, resources, uncertainty condition, management, factor, analysis.*

## **БУДІВНИЦТВО**

УДК 614.841

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/51>

**Ніжник В.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Савченко О.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Добряк Д.О.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Кравченко Н.В.**

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

### **АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ УПРАВЛІННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИМ ПОЖЕЖНИМ РИЗИКОМ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ**

*За результатами наукових досліджень проаналізовано сучасний стан управління індивідуальним пожежним ризиком із використанням систем протипожежного захисту. Показано необхідність удосконалення системи протипожежного захисту та методології з управління індивідуальним пожежним ризиком шляхом виявлення коефіцієнтів ефективності функціонування систем протипожежного захисту як підґрунтя такого удосконалення. На підставі статистичних даних про пожежі й аналізу літературних джерел запропоновано алгоритм реалізації ризик-орієнтованого підходу. Розглянуто питання щодо особливостей оцінювання індивідуального пожежного ризику для різних об'єктів і ролі систем протипожежного захисту у цьому процесі. Проаналізовано методичні підходи до оцінювання систем протипожежного захисту для об'єктів різного функціонального призначення. Показано недосконалість методичних підходів щодо оцінювання індивідуального пожежного ризику, зокрема у частині врахування ефективності функціонування систем протипожежного захисту. Проведено аналіз систем протипожежного захисту та їх основних функцій на предмет боротьби з пожежею та її небезпечними чинниками. Запропоновано структурну блок-схему систем протипожежного захисту з урахуванням рівнів впливу на кількісне значення індивідуального пожежного ризику. Сформульовано мету подальших досліджень, наукові завдання, об'єкт і предмет досліджень, визначено подальші напрями роботи. Наукові дослідження проведено з використанням аналітичних методів, зокрема комплексного аналізу й узагальнення раніше виконаних робіт щодо оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту та впливу їх функціонування на розрахункове значення індивідуального пожежного ризику. Як дослідницький інструмент використано статистичні дані про пожежі, чинні сьогодні вимоги нормативних документів, наукові досягнення із досліджуваного питання інших вчених, методи оцінювання індивідуального пожежного ризику.*

**Ключові слова:** пожежна безпека, протипожежний захист, індивідуальний пожежний ризик, системи протипожежного захисту, ефективність функціонування систем протипожежного захисту, оцінювання ефективності.

**Постановка проблеми.** За 12 місяців 2022 року в Україні зареєстровано 79 457 пожежі. Загинуло внаслідок пожеж 1 853 людини, у тому числі 25 дітей, 1 383 людей отримали травми, з них 90 дітей. Прямі збитки від пожеж становили понад 3,2 млрд грн, побічні збитки – понад

10,2 млрд грн. Знищено та пошкоджено будівель і споруд 23 061 одиниць [1].

Актуальність роботи зумовлена необхідністю удосконалення системи протипожежного захисту та методології з управління індивідуальними пожежними ризиками, враховуючи статистичні

дані про пожежі та надзвичайні ситуації в Україні та провідних європейських країнах.

Якщо статистичні дані про кількість загиблих внаслідок пожеж порівняти із кількістю населення [2], то можна отримати середній по Україні індивідуальний пожежний ризик із використанням методичних підходів, викладених у роботі [3] і він становить  $3,3 \cdot 10^{-5}$ . У цьому разі його значення перевищує допустиме значення згідно із [4], що є не прийнятним за для належного рівня безпеки людей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням досліджень щодо оцінювання індивідуального пожежного ризику та використання систем протипожежного захисту присвячено низку праць [1–19]. У них розглянуто та визначено поняття про оцінювання пожежного ризику, особливості застосування принципів пожежно-технічного аналізу під час проектування будинків, оцінювання природного, техногенного й екологічного ризиків тощо.

У роботі [1] наведено інформацію про статистичні дані з пожежами в Україні за 2021 рік. Зазначену інформацію слід використовувати для прийняття управлінських рішень із мінімізації кількості пожеж і надзвичайних ситуацій у державі.

У статті [3] визначено питання щодо управління безпекою складних систем. Загалом у публікаціях зазначається, що ризик – це усвідомлена величина небезпеки, і залежно від діяльності людини вона може настати або не настати. Поняття ризику пов'язується з усвідомленням небезпеки, загрози ненадійності, невизначеності, непевності, випадковості, збитку [20]. Управління ризиками – це діяльність, пов'язана з ідентифікацією, оцінкою аналізом ризиків і прийняття рішень, спрямованих на мінімізацію негативних наслідків подій (явищ) і/чи зменшення імовірності їхньої реалізації до прийнятних значень [21].

У стандарті [22] зазначено, що ризик – це загальний процес аналізу ризику та його оцінка. Аналіз ризику – це систематичне використання інформації для визначення джерел небезпеки та кількісної оцінки ризику.

Враховуючи вищенаведене та стан щодо пожеж і надзвичайних ситуацій у державі одним із ефективних механізмів із їх мінімізації є запровадження науково-обґрунтованих заходів з управління індивідуальними пожежними ризиками на підставі оцінки ефективності систем протипожежного захисту об'єктів різного функціонального призначення.

**Постановка завдання.** Метою роботи є проведення аналізу сучасного стану кількісного впливу систем протипожежного захисту на розрахункові параметри індивідуального пожежного ризику.

Для досягнення поставленої мети сформувані такі задачі:

- провести аналіз статистичних даних про пожежі;
- провести аналіз методичних підходів щодо оцінювання індивідуального пожежного ризику та ролі систем протипожежного захисту у цьому процесі. Розробити схему алгоритму процесу реалізації ризик-орієнтованого підходу;
- провести аналіз систем протипожежного захисту та їх основних функцій на предмет боротьби з пожежею та її небезпечними чинниками. Розробити структурну блок-схему систем протипожежного захисту з урахуванням рівнів впливу на кількісне значення індивідуального пожежного ризику;
- сформулювати мету подальших досліджень, наукові завдання, об'єкт і предмет досліджень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У роботі використано аналітичні методи, зокрема комплексний аналіз і узагальнення раніше виконаних робіт щодо оцінювання ефективності функціонування систем протипожежного захисту та впливу їх функціонування на розрахункове значення індивідуального пожежного ризику.

Як дослідницький інструмент використані статистичні дані про пожежі, чинні сьогодні вимоги нормативних документів, наукові досягнення із досліджуваного питання інших вчених, методи оцінювання індивідуального пожежного ризику.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Якщо статистичні дані про кількість загиблих внаслідок пожеж порівняти із кількістю населення [2], то можна отримати середній по Україні індивідуальний пожежний ризик із використанням методичних підходів, викладених у роботі [3], і він становить  $3,3 \cdot 10^{-5}$ . Його значення перевищує допустиме значення згідно із [4], що є не прийнятним за для належного рівня безпеки людей.

Методологія аналізу, оцінювання й управління ризиками останніми роками активно розвивається в усьому світі та слугує основою для прийняття рішень щодо забезпечення прийнятного рівня безпеки, в тому числі пожежної [5]. Так, в основу ризик-орієнтованого підходу закладено 3 основні складові частини – це аналізування стану рівня безпеки об'єкта, оцінювання ризику та власне управління ризиком. Якісне проведення аналізу стану рівня безпеки об'єкта й оцінювання

ризиків дає можливість реалізувати різні технології управління ризиком. Узагальнюючи дані джерел [6–11], можна схематично представити алгоритм процесу реалізації ризик-орієнтованого підходу, наведений на рис. 1.

Одним із технічних заходів, що може знижувати пожежні ризики, є обладнання об'єктів системами протипожежного захисту (далі – СПЗ). Зазначене підтверджується у наукових роботах [12–14].

Згідно із [4] пожежна безпека об'єкта захисту повинна забезпечуватися системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та системою управління пожежною безпекою об'єкта. Цим документом встановлений прийнятний рівень пожежної безпеки, який повинен бути не менше ніж 0,99999 на рік у розрахунку на кожну людину, якщо представити це значення як прийнятний рівень індивідуального пожежного ризику, то воно становить  $10^{-5}$ .

Розрахункове значення рівня пожежної безпеки  $P_g$  (можливо визначити із рівняння:

$$P_g = 1 - R_i \quad (1)$$

де:  $P_g$  – рівень пожежної безпеки людей на об'єктах;  $R_i$  – розрахункове значення індивідуального пожежного ризику на окрему людину в рік.

Відповідно розрахункове значення індивідуального пожежного ризику на окрему людину в рік  $R_i$  (означається з рівняння:

$$P_{i,i} = 1 - (Q_{п,i} \cdot P_{пр,i} \cdot (1 - P_{е,i}) \cdot (1 - K_{спз,i}) \cdot (1 - K_{о.з.}) \cdot (1 - K_{п.ф.})) \quad (2)$$

де  $Q_{п,i}$  – частота виникнення пожежі у будівлі чи споруді впродовж року, що визначається на підставі статистичних даних;

$P_{пр,i}$  – імовірність перебування людей у будівлі чи споруді, що визначається співвідношенням:

$P_{пр,i} = t_{функц,i} / 24$ , де  $t_{функц,i}$  – термін перебування людей у будівлі у годинах. Значення параметра  $P_{пр,i}$  приймається рівним  $P_{пр,i} = 0,33$  при функціонуванні будівлі впродовж 8 годин і п'ятиденному робочому тижні та  $P_{пр,i} = 1,0$  при цілодобовому функціонуванні будівлі впродовж тижня;

$P_{е,i}$  – імовірність евакуації людей із будівлі чи споруди;

$K_{спз,i}$  – коефіцієнт, ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту;

$K_{о.з.}$  – коефіцієнт запровадження організаційних заходів протипожежного захисту. Значення при-

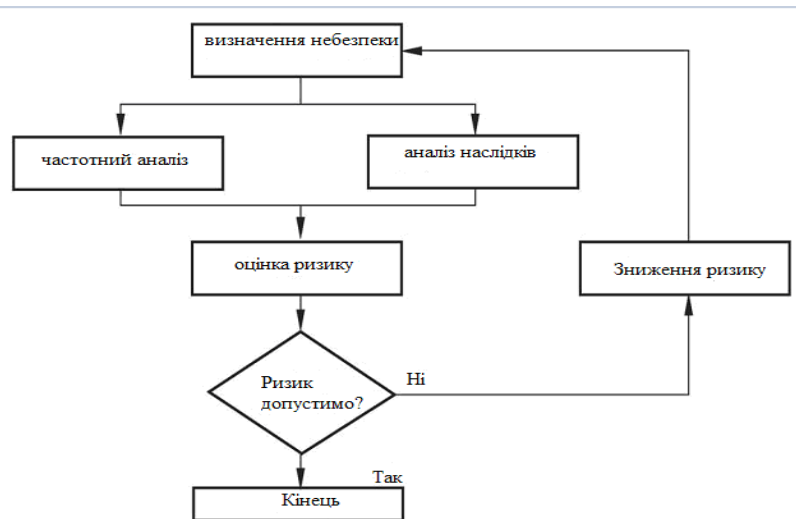


Рис. 1. Схема алгоритму процесу реалізації ризик-орієнтованого підходу

Джерело: [6–11]

ймається 0,8 за умови виконання організаційних заходів, визначених у [19];

$K_{п.ф.}$  – коефіцієнт наявності протипожежних формувань. Значення  $K_{п.ф.}$  приймається 0,8 за умови, якщо на об'єкті функціонує протипожежне формування.

Аналізуючи вихідні параметри, які впливають на значення індивідуального пожежного ризику, ми бачимо, що одним із таких параметрів є коефіцієнт ймовірної ефективності спрацювання систем протипожежного захисту ( $K_{спз,i}$ ). Визначено, що значення такого коефіцієнту отримується за даними технічної документації щодо вірогідності безвідмовної роботи, а у разі відсутності таких даних допускається приймати значення ймовірності ефективного спрацювання кожної системи протипожежного захисту рівним «0,5». Аналіз літературних джерел і наукових робіт [3–16] показав відсутність наукових обґрунтувань такого параметру, а його значення «0,5», прийняте у [4], визначено із використанням експертного методу та не має відповідного наукового обґрунтування. Крім того, таке значення однакове для всіх систем протипожежного захисту, що не дозволяє враховувати специфіку функціонування кожної окремої системи й оцінювати різні можливі комбінації їх застосування і, як наслідок, обґрунтувати необхідність використання таких систем на об'єктах із використанням параметричного методу нормування у будівництві.

Документом [17] встановлено, що до систем СПЗ належать:

- системи пожежної сигналізації;
- системи пожежогасіння;

– системи керування евакуюванням (у частині систем оповіщення про пожежу і показчиків напрямку евакуювання);

- системи протидимного захисту;
- системи централізованого пожежного спостереження.

Кожний тип системи протипожежного захисту має своє призначення, наприклад, система пожежної сигналізації виявляє ознаки пожежі та надає відповідні сигнали іншим системам, система пожежогасіння локалізує та ліквідує пожежу, система протидимного захисту створює безпечні умови для евакуації людей і роботи пожежно-рятувальних підрозділів в умовах пожежі, система оповіщення – сповіщає людей про пожежу та дає інформацію про напрямки безпечної евакуації тощо.

Оскільки призначення кожного типу системи протипожежного захисту різне і їхні функції призначенні різним етапам проходження пожежі, то і коефіцієнт ймовірності ефективності спрацювання системи СПЗ, який впливає на значення індивідуального пожежного ризику для кожного типу системи, повинен бути різним. Це означає, що вплив кожного типу системи протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику має бути науково обґрунтований для кожної системи протипожежного захисту індивідуально. Структурна блок-схема системи протипожежного захисту згідно із [18] та із запропонованими на основі аналізу статистичних даних

про пожежі та наслідків від них рівнями впливу на кількісне значення індивідуального пожежного ризику наведена на рис. 2.

Таким чином, аналізуючи кожну окрему систему, що входить до складу систем протипожежного захисту, за її основним призначенням і завданнями, запропоновано відповідні рівні впливу таких систем на кількісну величину індивідуального пожежного ризику, на основі чого розроблено нову структурну блок-схему систем протипожежного захисту з урахуванням зазначених рівнів впливу.

Тобто найбільш впливовими на рівень пожежної безпеки є:

- системи пожежної сигналізації;
- системи пожежогасіння;
- системи внутрішнього та зовнішнього водопостачання;
- системи керування евакуюванням;
- системи протипожежного захисту.

Таким чином, процеси впливу відповідних систем протипожежного захисту на величину індивідуального пожежного ризику досліджені не повною мірою. Зокрема, не мають належного наукового обґрунтування та не досліджені закономірності впливу ефективного спрацювання систем протипожежного ризику на наслідки від пожеж, що зумовлює актуальність досліджень у визначеному напрямку.

Надалі є актуальним удосконалення методів оцінювання індивідуального пожежного ризику

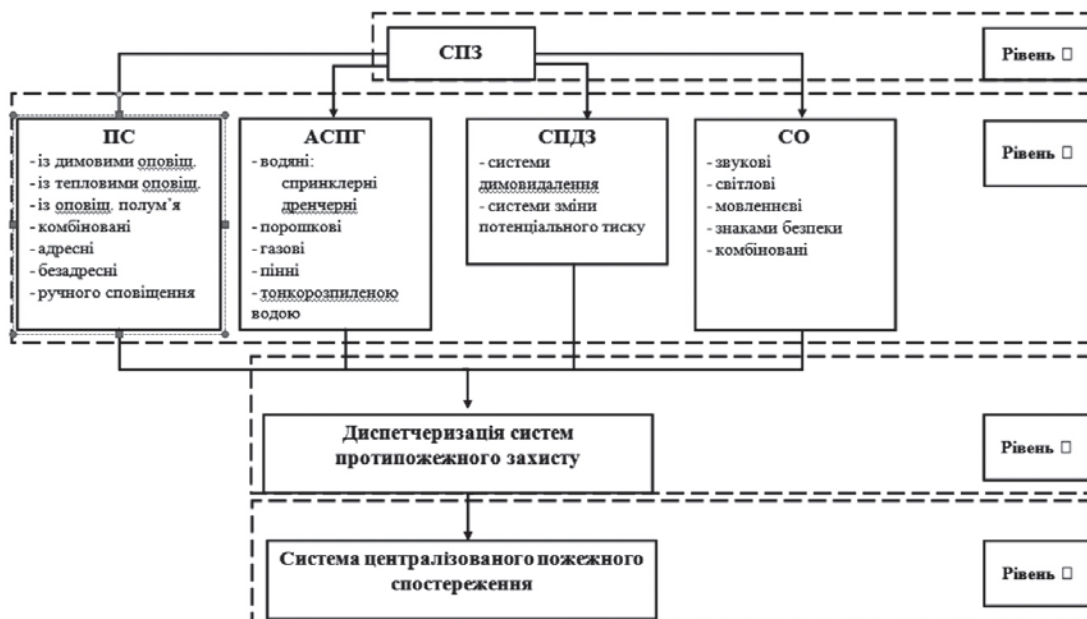


Рис. 2. Структурна схема систем протипожежного захисту з урахуванням рівнів впливу на кількісне значення індивідуального пожежного ризику

Джерело: розроблено авторами

шляхом обґрунтування впливу систем протипожежного захисту на наслідки від пожежі.

Об'єктом досліджень є функціонування систем протипожежного захисту в умовах пожежі.

Предметом досліджень є вплив ефективності спрацювання систем протипожежного захисту на наслідки від пожежі.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати надалі такі наукові задачі:

- проаналізувати сучасний стан кількісного впливу систем протипожежного захисту на розрахункові параметри індивідуального пожежного ризику;
- обґрунтувати критерії впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику;
- обґрунтувати математичні моделі для дослідження закономірності впливу ефективності функціонування систем протипожежного захисту на наслідки від пожежі та здійснити їх перевірку;
- дослідити закономірності впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику;
- обґрунтувати коефіцієнти впливу систем протипожежного захисту на рівень індивідуального пожежного ризику;

– розробити пропозиції щодо удосконалення методу оцінювання індивідуального пожежного ризику.

**Висновки.** 1. У роботі показана необхідність, на підставі наукового обґрунтування, удосконалення системи протипожежного захисту та методології з управління індивідуальним пожежним ризиком шляхом виявлення коефіцієнтів ефективності функціонування систем протипожежного захисту як підґрунтя такого удосконалення.

2. Показано недосконалість методичних підходів до оцінювання індивідуального пожежного ризику, зокрема у частині врахування ефективності функціонування систем протипожежного захисту. Розроблено схему алгоритму процесу реалізації ризик-орієнтованого підходу під час оцінювання індивідуальної безпеки людини в умовах пожежі.

3. Показано наявність індивідуального та синергічного впливу систем протипожежного захисту на значення індивідуального пожежного ризику. Розроблено структурну блок-схему систем протипожежного захисту з урахуванням рівнів впливу на кількісне значення індивідуального пожежного ризику.

4. Показана актуальність нових наукових досліджень, сформульовано їх мету, об'єкт і предмет, поставлені наукові завдання.

#### Список літератури:

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2021 року ІДУНДЦЗ. Київ, 2021. URL: [https://idundcz.dsns.gov.ua/files/2021/Ctatuctuka/Analitychna%20dovidka%20pro%20pojeji\\_12.2021.pdf](https://idundcz.dsns.gov.ua/files/2021/Ctatuctuka/Analitychna%20dovidka%20pro%20pojeji_12.2021.pdf) (дата звернення: 10.01.2022).
2. Статистичні дані про кількість населення в Україні за 2021 рік. URL: [https://index.minfin.com.ua/reference/people/Міністерство\\_Фінансів\\_України](https://index.minfin.com.ua/reference/people/Міністерство_Фінансів_України) (дата звернення: 10.01.2022).
3. Брушлинський Н.Н. Снова о рисках и управлении безопасностью систем. *Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях ВИНТИ*. 2002, № 4. С. 230–234.
4. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. Національний стандарт України (видання офіційне). Київ, 2020. ДП «УкрНДНЦ».
5. Лисиченко Г.В., Забулонов Ю.Л., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління. Київ: Наукова думка, 2008. 544 с.
6. NFPA 551 «Керівництво з аналізу оцінки пожежного ризику». URL: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=551> (дата звернення: 07.02.2022).
7. BS 7974 «Застосування принципів пожежно-технічного аналізу під час проектування будинків. Звід правил». URL: <https://www.bsigroup.com/en-GB/our-services/product-certification/industry-sector-schemes/fire-testing-and-certification/bs-7974-fire-safety> (дата звернення: 07.02.2022).
8. ISO 16732 «Інжиніринг пожежної безпеки. Оцінювання пожежного ризику». URL: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=78554](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=78554) (дата звернення: 10.01.2022).
9. Технічне керівництво SFPE з оцінки пожежного ризику. URL: <https://www.sfpe.org/contactus> (дата звернення: 10.01.2022).
10. Рекомендації європейської організації страхування та пенсійного забезпечення, 2013 рік. URL: <https://www.eiopa.europa.eu/sites/default/files/publications/administrative/budgets-accounts/fs13-eiopa-v2-2014-06-04-final.pdf> (дата звернення: 10.01.2022).
11. Звіт міжнародної фінансової корпорації IFC. URL: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/ad852ab8-8aee-4d5f-9aca-29ecef5b695/IFC-AR19-Highlights-Brochure-Russian.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m-5Crjz> (дата звернення: 10.01.2022).

12. Холщевников В.В., Серков Б.Б. Значимость автоматических систем протиповоженной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях. *Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 9. С. 44–49.
13. Васильев М.А., Демехин Ф.В. Проблемы обеспечения эффективности пожарной автоматики. *Системы безопасности* : сб. матер. 14-й науч.-техн. конф. Академия ГПС МЧС России, 2005.
14. Самошин Д.А. К вопросу о защите людей техническими средствами пожарной автоматики. *Пожаровзрывобезопасность*. 2015. Т.24, № 12. С. 53–59. DOI:10.18322/PVB.2015.24/12/53-59.
15. Климась Р.В., Михайлова А.В. Визначення методології оцінювання ризиків у сфері пожежної безпеки. *Безпека життєдіяльності особистості – підґрунтя сталого розвитку суспільства* : Тези доповіді на Всеукраїнській науково-методичній конференції з міжнародною участю. (Миколаїв, 2009 р.). НУК. 2009. С. 117–119.
16. Бегун В.В., Науменко І.М. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник. Київ : УАННП «Фенікс», 2004. С. 328.
17. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015.
18. ДСТУ SEN/TS 54-14:2021 (CEN/TS 54-14:2018, IDT). Системи пожежної сигналізації та оповіщення. Частина 14. Настанови щодо побудови, проектування, монтування, пусконаладжування, введення в експлуатацію, експлуатування та технічного обслуговування.
19. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : Наказ МВС від 30.12.2014 № 1417.
20. Хом'як Я.І., Якименко О.П., Климась Р.В. Застосування ризик-орієнтовних підходів у здійсненні наглядової діяльності. *Пожежна безпека* 2009. № 14. С. 25–30.
21. Бегун В.В., Науменко І.М. Безпека життєдіяльності : навчальний посібник. Київ, 2004. 328 с.
22. ГОСТ Р 51897 – 2002 Менеджмент риска. Термины и определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030150> (дата звернення: 07.02.2022).

#### **Nizhnyk V.V., Savchenko O.V., Dobriak D.O., Kravchenko N.V. ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF MANAGEMENT OF INDIVIDUAL FIRE RISK WITH THE USE OF FIRE PROTECTION SYSTEMS**

*According to the results of scientific research, the current state of management of individual fire risk with the use of fire protection systems is analyzed. The necessity of improving the fire protection system and methodology for individual fire risk management by identifying the coefficients of efficiency of fire protection systems as a basis for such improvement is shown. Based on statistical data on fires and analysis of literature sources, an algorithm for implementing a risk-oriented approach is proposed. The question of the peculiarities of individual fire risk assessment for different objects and the role of fire protection systems in this process is considered. Methodical approaches to the assessment of fire protection systems for objects of different functional purposes are analyzed. The imperfection of the existing methodological approaches to the assessment of individual fire risk is shown, in particular in terms of taking into account the effectiveness of fire protection systems. The analysis of fire protection systems and their main functions in the fight against fire and its dangerous factors is carried out. The structural block diagram of fire protection systems is offered taking into account the levels of influence on the quantitative value of individual fire risk. The purpose of further research, scientific tasks, object and subject of research are formulated and further directions of work are determined. Research has been conducted using analytical methods, including comprehensive analysis and generalization of previously performed work to assess the effectiveness of fire protection systems and the impact of their operation on the estimated value of individual fire risk. As a research tool, statistical data on fires, the current requirements of regulatory documents, scientific advances in the research of other scientists, existing methods of assessing individual fire risk are used.*

**Key words:** fire safety, fire protection, individual fire risk, fire protection systems, efficiency of fire protection systems, efficiency evaluation.

## ГЕОДЕЗІЯ

УДК 502.2 (47/751.2)

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2022.1/52>

**Язлюк Б.О.**

Західноукраїнський національний університет

**Бузіна І.М.**

Державний біотехнологічний університет

**Вітровий А.О.**

Західноукраїнський національний університет

**Гуменний М.І.**

Західноукраїнський національний університет

### ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ ЯК ДІЄВИЙ МЕХАНІЗМ ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ НПП «ГОМІЛЬШАНСЬКІ ЛІСИ»

*Одним із найголовніших принципів ефективного використання природно-заповідного фонду є функціональне зонування. Основним завданням, що вирішуються у разі функціонального зонування території, є вивчення особливостей просторового розподілу природних комплексів та антропогенного навантаження.*

*У ході проведених досліджень авторами статті запропоновано перспективну схему функціонального зонування НПП «Гомільшанські ліси». У разі планування функціонального зонування території НПП і встановлення меж функціональних зон пріоритетним критерієм було збереження фітоценотичного різноманіття рослинного покриву території й особливо наявність і поширення типових та рідкісних рослинних угруповань, які занесені до Зеленої книги України. Аналіз синтаксономічного складу рослинності НПП показав, що у рослинному покриві цієї території поширені рідкісні фітоценози, включені до Зеленої книги України.*

*Це унікальний лісовий масив, у якому представлені різновікова нагірна діброва на підвищеному правому березі р. Сів. Донець з ярами та балками, заплавної діброва та луки, бори та субори на надзаплавній терасі лівого берега річки. Ліси є одним із краєвих старих дібровних масивів Лівобережжя України. Особливий рельєф корінного правого берега р. Сів. Донець, який сформувався завдяки рисс-в'юрмській ерозії, став одним із рефугіумів для рослин під час льодовикового періоду. Тому ця територія вважається однією із реліктових в Україні і вирізняється значним флористичним і ценотичним різноманіттям та високою концентрацією рідкісних видів, зокрема реліктів пліоценової флори.*

*Сучасні антропогенні зміни ценозів нагірної діброви спричинені рубками санітарного догляду, випасанням, значним рекреаційним навантаженням вздовж правого корінного берега р. Сів. Донець. Ці фактори спричиняють зміну флористичного складу лісових угруповань, спрощують їх будову, погіршують відновлення деревостану.*

*Граничне положення території зумовило надзвичайне різноманіття природно-територіальних комплексів. Тут на невеликій протяжності в межах двох ландшафтів – лісостепового вододільного та степового долинного – змінюється п'ять місцевостей: вододільна, схилова, заплавна, піщано-борова. Кожна з місцевостей розчленовується на велику кількість простих та складних урочищ і сотні фацій.*

**Ключові слова:** національні природні парки, функціональне зонування, рекреація, природокористування, охорона й раціональне природокористування.

**Постановка проблеми.** Національні природні парки являють собою складні екологічні системи, що складаються із комплексів різноманітних територій з диференційованими режи-

мами охорони, використання й відновлення природи [1; 13].

На НПП покладається виконання таких основних завдань: збереження цінних природних та



історико-культурних комплексів і об'єктів; створення умов для організованого туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах з дотриманням режиму охорони заповідних природних комплексів та об'єктів; проведення наукових досліджень природних комплексів та їх змін в умовах рекреаційного використання, розробка наукових рекомендацій з питань охорони навколишнього природного середовища й ефективного використання природних ресурсів; проведення екологічної освітньо-виховної роботи [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Внаслідок стрімкої урбанізації і розвитку промислових підприємств спостерігається значне погіршення навколишнього природного середовища (забруднення повітря, води, ґрунтів), що значною мірою несе негативний вплив на формування сучасних національних природних парків.

Недосконалість внутрішньої структури, відсутність раціональної архітектурно-планувальної організації, недостатність заходів щодо облаштування НПП привели не тільки до погіршення їх стану, а й здебільшого до втрати унікальних природних ландшафтів [3].

У зв'язку зі зменшенням останніми роками кількості національних парків в Україні виникла необхідність розробки наукових досліджень цих об'єктів у сферах містобудування, екології, географії, зоології, ботаніки, тобто на міждисциплінарному рівні [1].

Територія Гомільшанського національного парку є одним із мальовничих куточків Лівобережної України. Територія розташована на південній окраїні Лівобережного Лісостепу (підзона Південного Лісостепу), де Лісостеп вклинюється в Степ. Стик двох природних зон зумовлює багатство та різноманітність рослинного покриву. До моменту створення НПП «Гомільшанські ліси» деякі фітоценози зазнали досить значних змін, порушилась флористична і фітоценологічна структура деяких рослинних угруповань, що спричинило процес збіднення аборигенної флори. Однак загалом НПП ще являє територію з добре збереженим фіторізноманіттям. Тому можна говорити про унікальність цього природного комплексу, який потребує термінових заходів для збереження [4–6].

**Формулювання цілей статті.** Для вивчення предмета та об'єкта дослідження використано методи аналізу та синтезу, що допомогло виявити основні чинники, які впливають на комплексне вирішення питань ефективного використання

природно-заповідного фонду та функціонального зонування територій національних природних парків.

**Виклад основного матеріалу.** НПП «Гомільшанські ліси» знаходиться в межах Задонецької, Великогомільшанської, Нижньобишкінської, Лиманської сільрад Зміївського району та Верхньобишкінської сільради Первомайського району.

У геоморфологічному відношенні територія НПП знаходиться в межах двох крупних елементів рельєфу – так званого Придонецького плато, або ж підвищеної розчленованої рівнини на нижньо-середньоміоценовій основі, та Донецької терасової рівнини. Межею між ними служить р. Сіверський Донець, що протікає через територію в майже меридіональному напрямку, трохи відхиляючись у південній частині на схід.

Територія НПП відрізняється значною строкатістю ґрунтового покриву. Для правого берега р. Сіверський Донець типовими ґрунтами є сірі, темно-сірі лісові, а на окремих невеликих ділянках – опідзолені чорноземи на лесовидних суглинках. Крутий схил правого берега сильно розчленований ярами і балками зі змитими ґрунтами (різного ступеня змитості) [4].

Територія НПП знаходиться на півдні Лівобережного Лісостепу на межі лісостепової та степової зон і лежить у межах Європейсько-Сибірської лісостепової області Східноєвропейської провінції Середньоросійської лісостепової підпровінції Харківського округу [5].

Сучасні антропогенні зміни ценозів нагірної діброви спричинені рубками санітарного догляду, випасанням, значним рекреаційним навантаженням вздовж правого корінного берега р. Сів. Донець. Ці фактори спричинюють зміну флористичного складу лісових угруповань, спрощують їх будову, погіршують відновлення деревостану [14].

Фауна НПП включає різноманітні зоогеографічні групи тварин переважно з широкими ареалами. Саме в межах цього лісового масиву багато тварин із лісових мезофілів знаходять південну межу свого поширення.

Граничне положення території зумовило надзвичайне різноманіття природно-територіальних комплексів. Тут на невеликій протяжності в межах двох ландшафтів – лісостепового вододільного та степового долинного – змінюється п'ять місцевостей: вододільна, схилова, заплавна, піщано-борова. Кожна з місцевостей розчленовується на велику кількість простих та складних урочищ і сотні фацій [6].

Одним із найголовніших принципів ефективного використання природно-заповідного фонду є функціональне зонування. Основним завданням, що вирішується у разі функціонального зонування території, є вивчення особливостей просторового розподілу природних комплексів та антропогенного навантаження [7; 20].

В Україні зонування є обов'язковим під час створення природоохоронної території і передбачене законодавством. Зонування є досить цікавим питанням, адже кожний національний природний парк чи біосферний заповідник, чи регіонально-ландшафтний парк є особливим як за своєю природою, так і за історією. Саме тому різні види екосистем вимагають різних режимів збереження [8; 17; 18].

Функціональне зонування території НПП здійснюється згідно із Законом України «Про природно-заповідний фонд України» на підставі проведених польових обстежень території парку, матеріалів обґрунтування його створення, затвердженого «Положення про НПП» та інших даних. Беруться до уваги природні, наукові, рекреаційні, оздоровчі, історико-культурні та інші цінності території, можливості для відновлення екосистем тощо [4].

Пріоритетне і визначальне значення у функціональному зонуванні має заповідна зона. Найефективнішим методом функціонального зонування є розробка схеми розташування зон концентричними колами, де центральне коло становить заповідна зона. У разі неможливості це зробити запроваджуються інші модифікації функціонального зонування – крупномозаїчне, кластерне, паліативне та ін.

У разі виділення заповідної зони особлива увага має надаватися збереженню корінних і найбільш збережених природних комплексів, особливо пралісів та водно-болотних угідь, ареалів видів рослин і тварин Червоної книги України, рідкісних рослинних угруповань Зеленої книги України, видів рослин та тварин і типів природних середовищ, що перебувають під загрозою зникнення в Європі та у світовому масштабі [9].

Заповідна зона створюється з метою довгострокового зберігання екосистем у режимі якнайменшого втручання у природні процеси. Тут можуть визначатися ділянки для виконання відновлювальних робіт на землях з порушеними корінними природними комплексами, а також здійснення заходів щодо запобігання змінам природних комплексів зони внаслідок антропогенного впливу – відновлення гідрологічного режиму, збереження та відновлення рослинних угруповань, що історично склалися, видів рослин і тварин, які зни-

кають, тощо. Межі заповідної зони проводяться здебільшого за природними контурами екосистем (басейни верхів'їв рік, їх русла, вододіли, лісові виділи тощо), рідше – за штучно створеними контурами (квартальні просіки, лінії електропередач, трубопроводи, старі ґрунтові дороги тощо). До неї мають належати по можливості всі особливо цінні природні комплекси, насамперед ті, які до організації території НПП мали статус заказників, пам'яток природи (як загальнодержавного, так і місцевого значення) та заповідних урочищ.

Заповідна зона, як правило, оточується зоною регульованої рекреації, зрідка зоною стаціонарної рекреації, якщо вона на межі із заповідною зоною представлена природними територіями. Зона регульованої рекреації має включати лише ті природні території, що мають рекреаційне, еколого-освітнє, культурно-виховне та науково-пізнавальне значення. Ця зона створюється також для запобігання негативному впливу природних чи антропогенних чинників на екосистеми заповідної зони, тому вона має знаходитись навколо заповідної зони.

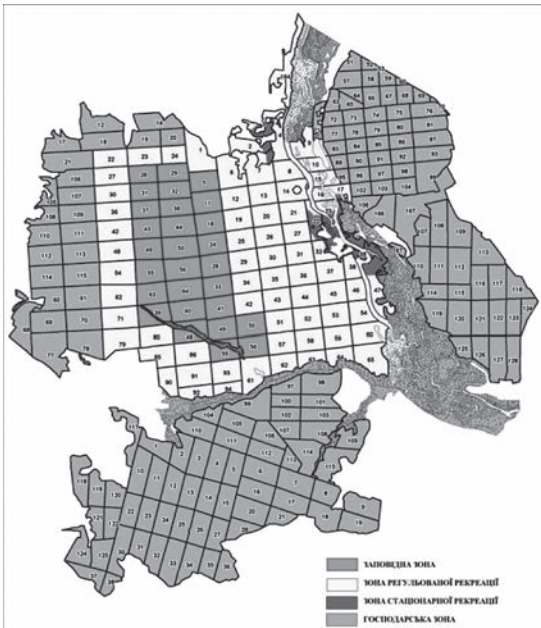
Господарська зона створюється насамперед для забезпечення потреб НПП, а також з метою сталого природокористування з якомога найменшим впливом на навколишні природні екосистеми та процеси. Ця зона може оточувати зони стаціонарної та регульованої рекреації, а її розміри можуть змінюватися у зв'язку з проблемами, що виникають. До господарської зони належать також землі, які знаходяться в охоронних зонах суворого режиму, джерел водопостачання, небезпечних зонах газопроводів, компресорних і газорозподільчих станцій, прогону тварин, ліній електропередач, нафто-, продуктопроводів, інших землекористувачів тощо.

Зона стаціонарної рекреації межує із зоною регульованої рекреації та господарською зоною. У межах цієї зони розміщуються об'єкти рекреаційної інфраструктури (готелі, кемпінги, будівлі торгового та культурного призначення, оздоровчі заклади, спортивні майданчики та поля тощо). Тут також можуть знаходитися об'єкти історико-культурної спадщини, населені пункти (їхні землі) та об'єкти будівництва (землі, де передбачено будівництво), що передбачені на перспективу [10].

Зокрема, визначаючи межі заповідної зони НПП «Гомільшанські ліси», прагнули до збереження типових і раритетних природних комплексів та їхніх екосистем як еталонів рослинності й ландшафтів з їхнім генофондом і різноманіттям біоти.

Для функціонального зонування парку має першочергове значення: по-перше, виділення заповідної зони, навколо якої концентричними колами формуються інші зони. Для вирішення цього завдання був запропонований аналіз ландшафтних та ботаничних особливостей території парку [11; 15].

З метою забезпечення охорони, відтворення та рекреаційного використання природних комплексів і об'єктів НПП «Гомільшанські ліси» його територія поділяється на такі функціональні зони, як: заповідна зона; зона регульованої рекреації; зона стаціонарної рекреації; господарська зона (рис. 1). Навколо території НПП у встановленому законодавством порядку створюється охоронна зона.

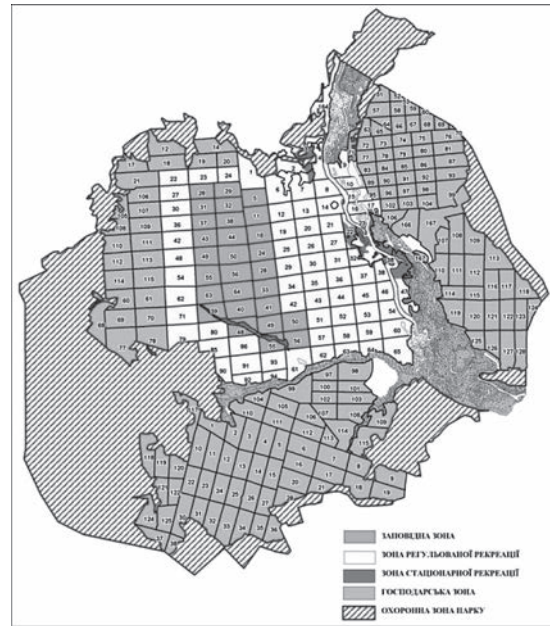


**Рис. 1. Перспективна схема функціонального зонування НПП «Гомільшанські ліси»**

Загальна площа охоронної зони становить близько 6 700 га.

У межах охоронної зони виділені декілька ділянок, які завершують формування площі парку в межах вододілів навколо парку, що забезпечить міграції речовин із поверхневим стоком, напрямком міграції, який залежить від напрямку схилів та особливостей водозборів і вододілів (рис. 2).

Для забезпечення необхідного режиму охорони природних комплексів та об'єктів НПП, запобігання негативному впливу господарської діяльності на прилеглих до нього територіях не допускається будівництво промислових та інших об'єктів, розвиток господарської діяльності, які можуть призвести до негативного впливу. Природоохоронні заходи здійснюються на основі екологічної експертизи, що проводиться в порядку, установленому законодавством України [19].



**Рис. 2. Схема охоронної зони НПП «Гомільшанські ліси»**

*Созологічна характеристика функціональних зон парку.* У рослинному покриві НПП «Гомільшанські ліси» переважають лісові синтаксони, що свідчить про високу наукову цінність цієї території. Особливого созологічного значення надають їй наявність і значне поширення корінних лісів. Ці угруповання сформувались в оптимальних для цих ценозів умовах і розвиваються тривалий час майже без впливу людини.

Для з'ясування вікової структури корінних деревостанів дубового лісу в межах пропонує функціональних зон парку встановлено такі вікові категорії цих деревостанів: I категорія – вік деревостанів 100–120 років; II категорія – вік деревостанів 121–140 років; III категорія – вік деревостанів 141–150 років; IV категорія – вік деревостанів понад 150 років (табл. 1).

Спектр вікових категорій переконає в тому, що більшість найцінніших деревостанів зосереджена в межах заповідної зони. Це ліси IV категорії (вік понад 150 років), майже половина їх площ знаходиться у заповідній зоні. Ліси III категорії (вік 141–150 років) займають у заповідній зоні площу 194,7 га, або 12,8% від загальної площі під корінними лісами цієї зони. 32,4% деревостанів II категорії (вік 121–140 років) і понад 38% лісів I категорії (вік 100–120 років) зростають на території заповідної зони.

Дані табл. 1 і гістограма (рис. 3) свідчать, що в межах зон заповідної, регульованої і стаціонарної рекреації та господарської близько половини площ (49,37%) вкриті корінними деревостанами. На території проєктованої заповідної зони корінні

Вікові категорії корінних деревостанів дубового лісу в рослинному покриві функціональних зон НПП «Гомільшанські ліси» [4]

Функціональні зони	Вікові категорії корінних деревостанів									
	I – 100–120 р.		II – 121–140 р.		III – 141–150 р.		IV – понад 150 р.		Разом	
	Площа		Площа		Площа		Площа		Площа	
	га	%	га	%	га	%	га	%	га	%
Заповідна	485,3	31,90	261,6	17,19	194,7	12,8	27,3	1,79	968,9	63,7
Регульованої рекреації	604,4	46,08	615,2	46,90	20,3	1,54	71,6	5,45	1311,5	61,38
Стационарної рекреації	89,0	40,19							89,0	40,19
Господарська	94	28,06	192,1	57,36	48,8	14,57			334,9	20,95
Разом	1272,7	56,95	807,3	28,11	212,4	10,07	98,9	4,85	2704,3	49,37

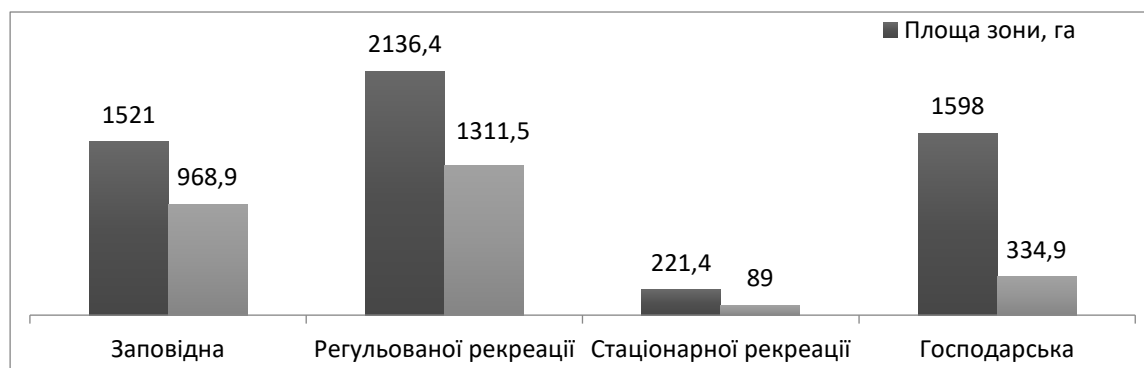


Рис. 4. Співвідношення площі корінних лісів у межах функціональних зон НПП «Гомільшанські ліси»

деревостани зростають на 968,9 га, що становить 63,7% загальної площі цієї зони. А на територіях проєктованих зон регульованої і стаціонарної рекреації корінні деревостани вкривають відповідно 61,38% і 40,19% їхньої загальної площі.

У разі планування функціонального зонування території НПП і встановлення меж функціональних зон одним із важливих критеріїв є збереження фітоценотичного різноманіття рослинного покриву території й особливо наявність і поширення типових та рідкісних рослинних угруповань, які занесені до Зеленої книги України [16].

*Охоронна зона парку.* Спроєктовані межі парку не збігаються з природними межами, тобто з межами водозборів, які існують навколо парку, тому спроєктована територія парку не може забезпечити максимальні можливості для самостійного саморегулювання стану природних комплексів, що включені до парку.

Мета створення охоронної зони – сприяння самостійному саморегулюванню стану природних комплексів і об'єктів як навколо парку, так і у самому парку як єдиному цілому та запобігання негативному впливу господарської діяльності на прилеглих до парку територіях.

Територія парку з усіх боків оточена землями сільськогосподарського використання, переважно розораними, під сільськогосподарськими культурами, з пасовищами та сіножатями на схилах балок.

**Висновки.** Функціональне зонування НПП «Гомільшанські ліси» є важливою передумовою його подальшого розвитку, збереження біорізноманіття та раціонального природокористування. З огляду на сучасний стан лісів та характер і рівень рекреаційного використання екосистем НПП зонування його території потрібно спрямувати на оптимізацію господарювання, а надалі провідним поступово ставатиме рекреаційний напрям. Перевагою запропонованої схеми є суттєві відмінності співвідношення площ функціональних зон відповідно до міжнародних вимог, а їхні межі узгоджуються з межами ПТК, що дає можливість їх цілісно охороняти і раціонально використовувати.

Дані, які отримано під час досліджень, будуть використані у майбутньому для оцінювання стану та динаміки біопродуктивності у функціональних зонах лісів парку, що стане вагомим внеском як у збереження унікального біорізноманіття краю, так і вирішення екологічних проблем регіону.

**Список літератури:**

1. Брусак В. Географічні дослідження природно-заповідних територій: методологія і структура. *Вісник Львів університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 31–42.
2. Бузіна І.М. Комплексне екологічне картографування. 2016. URL: <http://dspace.knau.kharkov.ua/jspui/bitstream/123456789/897/1/КОМПЛЕКСНЕ%20ЕКОЛОГІЧНЕ%20КАРТОГРАФУВАННЯ.pdf>.
3. Бузіна І.М., Коломієць С.М., Леженкін І.О. Геоінформаційні технології для оцінки стану земельних ресурсів та управління на рівні адміністративного району. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2020. Том 31 (70). № 6.
4. Бузіна І.М., Головань Л.В., Чуприна Ю.Ю. Оцінка стану та ефективність сучасної системи моніторингу довкілля НПП «Гомільшанські ліси». *Сучасні проблеми екологічного контролю та аудиту*. 2021 № 13. С. 13–15.
5. Бузіна І.М., Хайнус Д.Д., Винограденко С.О. Реконструкція та благоустрій території дендрологічного парку ХНАУ із застосуванням геоінформаційного моделювання. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія «Технічні науки»*. 2020. Т. 31 (70). № 3, Херсон.
6. Чорний М.Г. Особливості наукової діяльності на природно-заповідних територіях України : науково-методичний посібник. Київ. 2009. 1998 с.
7. Голуб А.А. Аналіз наукових досліджень проблеми формування національних природних парків. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. Вип. 36. Київ. 2014. С. 249–302.
8. Гомільшанські ліси. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Гомільшанські\\_ліси](https://uk.wikipedia.org/wiki/Гомільшанські_ліси).
9. Горохов В.А., Лунц Л.Б. Парки мира. Москва : Стройиздат, 1985. 328 с.
10. Гродзинський Д.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р. та ін. Проблеми збереження та відновлення біорізноманіття в Україні. Київ : Академперіодика, 2001. 104 с.
11. Гром М.М. Таксація насаджень : навчальний посібник. Львів : Вид-во УкрДЛТУ, 2012. 187 с.
12. Національний природний парк «Гомільшанські ліси». URL: <https://www.nationalparks.in.ua/pryrodni-parku/harkiv/homilshanski-lisy/>.
13. Opara V.M., Buzina I.M., Bosenko O.G. Cartographic modelling of agroecosystems ecological state. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University*, 2016. Vol. 45. Pp. 166–171.
14. Опара В.М., Бузіна І.М., Хайнус Д.Д. Ландшафтно-екологічні дослідження екосистем сучасними методами. *Проблеми безперервної географічної освіти і картографії* : збірник наукових праць. Вип. 29. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2019. С. 55–63.
15. Опара В.М., Бузіна І.М., Хайнус Д.Д. Mapping of landscape-ecological investigations of the dendrological park territory of KHNAU named after V.V. Dokuchayev. *Вісник ХНУ ім. Каразіна* : зб. наук. праць. Серія «Геологія, Географія, Екологія». 2019. № 50. Харків.
16. Пересадько В.А. Картографічне забезпечення екологічних досліджень і охорони природи : монографія. Харківський національний ун-т імені В.Н. Каразіна. 2009. 242 с.
17. Проект організації території національного природного парку «Гомільшанські ліси», охорони, відтворення та рекреаційного використання його природних комплексів і об'єктів. Харків. 2018. 392 с.
18. Томахін М. Формування екологічної мережі та розвиток природно-заповідної справи в Україні. *Землепорядний вісник*. 2012. № 3. С. 23–29.
19. Яценко П.Т., Гребенюк Е.М., Тасенкевич Л.А. и др. Природные национальные парки Украины. Львов : Вища школа, 1988. 201 с.
20. Закон України «Про природно-заповідний фонд України» № 2456-XII від 19.04.2018. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12>.

**Yazlyuk B.O., Buzina I.M., Vitrovyu A.O., Humennyi M.I. FUNCTIONAL ZONING OF TERRITORIES AS AN EFFECTIVE MECHANISM OF STUDY OF FEATURES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF NATURAL COMPLEXES OF NPP “GOMILSHANSKY FORESTS”**

*One of the most important principles of effective use of nature reserves is functional zoning. The main task to be solved in the functional zoning of the territory is to study the features of the spatial distribution of natural complexes and anthropogenic load.*

*In the course of the research, the authors of the article proposed a promising scheme of functional zoning of the Gomilshansky Forests National Park. When planning the functional zoning of the NNP territory and establishing the boundaries of functional zones, the priority criterion was the preservation of phytocenotic diversity of vegetation and especially the presence and distribution of typical and rare plant groups listed in the Green Book of Ukraine. Analysis of the syntaxonomic composition of NPP vegetation showed that rare phytocenoses included in the Green Book of Ukraine are widespread in the vegetation cover of this territory.*

*This is a unique forest massif, which presents a mountain oak grove of different ages on the elevated right*

*bank of the Siv. Donets River with ravines and beams, floodplain oak groves and meadows, forests and groves on the floodplain terrace of the left bank of the river. Forests are one of the best old oak groves on the Left Bank of Ukraine. Special relief of the native right bank of the Siv. Donets River, formed by Rhys-Wurm erosion, became one of the refugiums for plants during the ice age. Therefore, this area is considered one of the relics in Ukraine and is characterized by significant floristic and coenotic diversity and a high concentration of rare species, including relics of the Pliocene flora.*

*Modern anthropogenic changes in the cenoses of the upland oak are caused by logging of sanitary care, grazing, significant recreational load along the right root bank of the Siv. Donets River. These factors cause a change in the floristic composition of forest groups, simplify their structure, worsen the restoration of the stand.*

*The extreme position of the territory has led to an extraordinary variety of natural and territorial complexes. Here, in a short distance within two landscapes – Forest-Steppe watershed and steppe valley – five localities change: watershed, slope, floodplain, sand-pine. Each of the areas is divided into a large number of simple and complex tracts and hundreds of facies.*

**Key words:** *national nature parks, functional zoning, recreation, nature management, protection and rational nature management.*

**Відомості про авторів**

- Абгарян Ю.С.** – розробник програмного забезпечення SoftServe
- Адаменко В.С.** – магістр кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій
- Антоненко Н.С.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії
- Бабчинська Т.В.** – кандидат юридичних наук, асистентка кафедри кримінального процесу, детективної та оперативно-розшукової діяльності Національного університету «Одеська юридична академія»
- Баган Т.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Бажак О.В.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій
- Байбуз О.Г.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеса Гончара
- Бакалінська О.М.** – кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник Інституту хімії поверхні Національної академії наук України імені О.О. Чуйка
- Баклан І.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та програмної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Беднарська І.С.** – аспірант, асистент кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Безуглий Р.О.** – магістр кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Берневек Т.І.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського університету
- Беляновська О.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
- Бичковський Ю.В.** – старший викладач кафедри навігації і керування судном Одеського національного морського університету, капітан далекого плавання
- Борисенко В.Д.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних технологій Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського
- Бунь В.П.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Бура О.М.** – аспірантка кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету
- Валківський Ю.І.** – старший лаборант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки
- Валуйський С.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
- Валявська Н.О.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри бізнес-логістики та транспортних технологій Державного університету інфраструктури та технологій
- Вдовичин Т.Я.** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка
- Волковська Г.Г.** – старший викладач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету
- Воскресенський В.Б.** – старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України
- Головіна К.П.** – магістр Національного університету «Запорізька політехніка»
- Головіна О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобільного транспорту та транспортних технологій Філії Класичного приватного університету у м. Кременчук
- Гончаров О.В.** – магістрант кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Гринько А.М.** – провідний інженер інституту хімії поверхні Національної академії наук України імені О.О. Чуйка

**Грищук О.К.** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри туризму Національного транспортного університету

**Губар Б.П.** – магістрант кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Гуйда О.Г.** – кандидат наук з державного управління, старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Гулей О.Б.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії

**Дакі О.А.** – доктор технічних наук, професор, директор Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Демська Н.П.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки

**Дика А.І.** – асистентка кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

**Добряк Д.О.** – науковий співробітник сектору пожежної безпеки об'єктів та технологій Науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Долгіх А.О.** – доктор філософії за спеціальністю 121 – Інженерія програмного забезпечення, асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

**Дороговцев Є.В.** – магістр кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Євсєєв В.В.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки

**Єрємін О.О.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології, теплотехніки та охорони праці Національної металургійної академії України

**Єфімова В.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Жукова С.О.** – старший викладач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

**Жученко А.І.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Завгородній В.В.** – доктор 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

**Залужний Т.В.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Іваненко В.М.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Іщенко К.С.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу геомеханічних основ відкритої розробки родовищ Інституту геотехнічної механіки імені М.С. Полякова Національної академії наук України

**Кан Ю.Є.** – магістр кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету

**Карпенко Л.М.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Касьян К.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Касьян М.М.** – кандидат технічних наук, доцент, декан факультету комп'ютерних наук і технологій Національного університету «Запорізька політехніка»

**Кваша Ю.В.** – студентка VI курсу групи ТК-1614 кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій Інституту штучного інтелекту та робототехніки Національного університету «Одеська політехніка»



**Кирийчук Д.Л.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету

**Киричек Г.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Кисельов В.Б.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Климчук І.О.** – магістрант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ковальова О.А.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Козлов А.К.** – доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

**Коновал В.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри цивільного та промислового будівництва Черкаського державного технологічного університету

**Корчак О.В.** – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**Кошарний О.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

**Кравченко Н.В.** – молодший науковий співробітник відділу нормативно-технічного забезпечення Науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Крутинь Я.В.** – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**Кужелович В.І.** – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України

**Кузьма К.Т.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського

**Кузьменко Т.М.** – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

**Кулаков Ю.О.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Кунгурцев О.Б.** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Одеська політехніка»

**Ладженський О.В.** – аспірант кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Лановий О.Т.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету

**Латанська Л.О.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Левкін Д.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізики та вищої математики Державного біотехнологічного університету

**Лисенко О.І.** – доктор технічних наук, професор кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Литвиненко А.С.** – аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

**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

**Ловська А.О.** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії вагонів та якості продукції Українського державного університету залізничного транспорту

**Ляшенко О.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету

**Макалюк К.О.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Макарова Л.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Малюренко Д.Л.** – аспірантка, асистентка кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

**Маринін А.І.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач Проблемної науково-дослідної лабораторії Національного університету харчових технологій

**Матвєєва А.В.** – бакалавр кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мельник О.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння і морської безпеки Одеського національного морського університету, капітан далекого плавання

**Мельников С.М.** – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України

**Меренгер П.П.** – старший викладач кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мошенський А.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій

**Назарова І.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Невлюдов І.Ш.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки

**Несмачний П.В.** – магістр кафедри інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій

**Нідченко І.А.** – науковий магістр кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ніжник В.В.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник Науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Нікітін О.В.** – студент 6 курсу, групи 6151м кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Нікітіна О.Ю.** – студентка 6 курсу, групи 6151м кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Новак Д.С.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон Київського національного університету технологій та дизайну

**Новикова Н.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Технічна кібернетика й інформаційні технології імені професора Р.В. Меркта» Одеського національного морського університету

**Новіков В.В.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Новіков В.І.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Овчарук В.Т.** – Український науково-дослідний інститут спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

**Павленко Є.Є.** – студент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон Київського національного університету технологій та дизайну

**Павлова Н.Л.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації портів і технології вантажних робіт Одеського національного морського університету

**Перепелиця О.П.** – доктор хімічних наук, професор кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій

**Петренко Т.В.** – кандидат хімічних наук, старший викладач харчової хімії Національного університету харчових технологій

**Петрик А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету

**Петровська В.В.** – завідувач лабораторії кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій

**Пилипенко Т.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізичної хімії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Плюта В.В.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Потапова К.Р.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Похиленко О.А.** – студент кафедри інформатики та програмної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Прокопенко О.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології, теплотехніки та охорони праці Національної металургійної академії України

**Прокопенко О.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії

**Пустовой Г.М.** – аспірант ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Пуховий І.І.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри теплоенергетики. Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Резніков М.І.** – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Рудасьов В.Б.** – кандидат технічних наук, доцент, Відокремлений структурний підрозділ «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Савіцька А.О.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Савченко О.В.** – науковий співробітник відділу досліджень, статистики пожеж та надзвичайних ситуацій Науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

**Ситніков О.В.** – старший викладач кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Сікора О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

**Скаун О.В.** – науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби безпеки України

**Склярєнко О.І.** – студент ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Сухий К.М.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Сухий М.П.** – кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри енергетики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Сушин І.О.** – аспірант кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тарасенко-Клятченко О.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тарасов Д.О.** – бакалавр, студент кафедри «Комп'ютерні технології автоматизації» Національного університету «Одеська політехніка»

**Терейковська Л.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури

**Терейковський І.А.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Терейковський О.І.** – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тихоніна І.І.** – старший викладач кафедри експлуатації флоту і технології морських перевезень Одеського національного морського 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 А.О.** – доктор філософії, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Трофименко І.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Турейчук А.М.** – кандидат технічних наук, професор кафедри загальновійськових дисциплін Української військово-медичної академії

**Турчин Я.В.** – магістр кафедри телекомунікацій Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**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 І.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова

**Устенко С.А.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри навчання в інформаційних технологіях Національного університету «Одеська політехніка»

**Федунов В.М.** – старший викладач кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Фелінський Г.С.** – доктор фізико-математичних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Фомін О.В.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій

**Фоміна А.М.** – доктор філософії, науковий співробітник кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля

**Фролова Н.Е.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції «Національного університету харчових технологій»

**Фуртат О.В.** – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Чернова В.Д.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Шахбазов І.О.** – магістрант кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Шевченко В.Ю.** – магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Шевчук Д.О.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету

**Шелешей Т.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри теплоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ших Н.В.** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри інформатики та інформаційних систем Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка

**Штрибець В.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри судноводіння та експлуатації технічних систем на водному транспорті Дунайського інституту водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

**Щетінін М.О.** – магістр факультету комп'ютерних наук та технологій Національного університету «Запорізька політехніка»

**Ющенко Н.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції Національного університету харчових технологій

**Якубовський О.М.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, консультант Відокремленого структурного підрозділу «Дніпровський фаховий коледж інженерії та педагогіки» Державного вищого навчального закладу «Український державний хіміко-технологічний університет»

## НОТАТКИ

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 33 (72) № 1 2022**

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. 31,91. Ум. друк. арк. 40,46. Зам. № 0322/088

Підписано до друку 21.03.2022. 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

Е-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.