

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

*Журнал заснований у 1918 році*

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 34 (73) № 3 2023**

**Частина 1**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2023

## Головний редактор:

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

## Члени редакційної колегії:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Сегай Олександр Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри 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 № 11 від 10.07.2023 року)**

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

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

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

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

ISSN 2663-5941 (Print)

ISSN 2663-595X (Online)

© Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського, 2023

## ЗМІСТ

### РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

**Кіба Є.І., Губар В.Г.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧІ/ОБРОБКИ ДАНИХ  
У VR-КОНТРОЛЕРАХ.....1

**Кононова І.В., Самусь Д.В.**

АНАЛІЗ ВАРІАНТУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СМАРТ ПАРКІНГУ  
НА ОСНОВІ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ.....6

**Крочак В.І., Яськів В.І.**

ВИКОРИСТАННЯ ОБМЕЖЕНОГО ПРОПОРЦІЙНОГО РЕЖИМУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ  
ІНФОРМАТИВНОСТІ РАДІОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАВАЧА  
ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА.....14

**Могилевич Д.І., Сінько В.В., Тихонов М.В.**

МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ КОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ  
З КОМБІНОВАНИМ РЕЗЕРВОМ ЧАСУ.....20

**Сакович Л.М., Гиренко І.М.**

МІНІМІЗАЦІЯ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ  
ІЗ КРАТНИМИ ДЕФЕКТАМИ.....25

**Semenov A.O., Stalchenko O.V., Prytula M.O., Donskyi O.V.**

AMATEUR LOW POWER RADIO FREQUENCY COMMUNICATION DEVICE FOR FM RANGE...31

**Тимченко А.О., Губар В.Г.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ СТРУМОМ НАГРІВАЧА  
В ТЕРМОРЕГУЛЯТОРАХ.....38

**Тимченко К.О., Губар В.Г.**

ПРОБЛЕМООРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОННОГО ГОДИННИКА.....46

### ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

**Абрамова А.О.**

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОЕКТУВАННЯ  
ІОНООБМІННИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У MATLAB.....51

**Баженов В.Г., Калениченко Ю.О., Рацбарський С.С.**

ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ  
СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ СТРУКТУРОСКОПОМ НА БАЗІ ВИЩИХ ГАРМОНІК.....58

**Bezugla N.V., Yakovenko I.O., Filippova M.V., Poluektov S.O.**

AUTOMATED SYSTEM FOR PHOTOMETRIC IMAGES PROCESSING OF SCATTERING SPOT...64

**Бишевец Г.А., Фургат С.О., Фургат О.В., Вишемірська Я.С.**

ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У МАЛОМУ БІЗНЕСІ.....72

**Бунь В.П., Баган Т.Г.**

СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПАЛАТИ В ЛІКАРНІ.....77

**Бурау Н.І., Золотарьов Є.О.**

СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ.....83

**Варганова Д.О., Окунькова О.О.**

ВІЗУАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ ІДЕЙ ТА РІШЕНЬ, КОМАНДНОЇ РОБОТИ ПІД ЧАС ОРГАНІЗАЦІЇ  
ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОНЛАЙН-ДОШКИ MIRO .....90

**Гнатчук Є.Г., Говорущенко О.О.**

РЕЗУЛЬТАТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ  
МЕДИЧНИХ РІШЕНЬ З ВРАХУВАННЯМ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВИХ ПІДСТАВ.....99

**Горбійчук М.І., Лазорів Н.Т., Когутяк М.І., Лазорів А.М.**

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ПАРАМЕТРАМИ КОМПЕНСАТОРА  
ПЕРЕХРЕСНИХ ЗВ'ЯЗКІВ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....106

<b>Грішин М.В., Беглов К.В.</b> УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ КРИТИЧНОГО ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІНУ ПАРОВОГО КОТЛА ВУГІЛЬНОЇ ТЕС ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЗОЛЬНОСТІ ВУГІЛЛЯ.....	115
<b>Дичка І.А., Терейковський І.А., Дідус А.В., Терейковська Л.О., Бояринова Ю.Є.</b> ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ КЛЮЧОВИХ СЛІВ У ГОЛОСОВОМУ СИГНАЛІ.....	123
<b>Дичка І.А., Терейковський І.А., Коровій О.С., Терейковська Л.О., Романкевич В.О.</b> ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОЇ ТОНАЛЬНОСТІ ФРАГМЕНТІВ ТЕКСТУ .....	130
<b>Дроменко В.Б., Пилипенко Ю.М., Кисельов В.Б.</b> ЗАСТОСУВАННЯ РЕКУРСИВНИХ АЛГОРИТМІВ І ФУНКЦІЙ ПО ДЕКІЛЬКОХ ЗМІННИХ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	136
<b>Дудкін К.В., Іродов В.Ф., Дубровський С.С.</b> ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ НИЗЬКОЇ ТЕПЛИЦІ З ТРУБЧАСТИМИ ГАЗОВИМИ НАГРІВАЧАМИ НА ПЕЛЕТАХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБІГРІВУ.....	141
<b>Забуга А.Г.</b> АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ.....	146
<b>Завгородній В.В., Завгородня Г.А., Байраковський В.В., Коваль Р.А.</b> РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ СХОЖИХ ПІСЕНЬ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ЗВУКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	151
<b>Кравченко С.М., Сугоняк І.І., Марчук Г.В., Гришкун С.О., Венгловська Ю.М.</b> UML-МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ГРИ В ЖАНРІ ГОЛОВОЛОМКИ.....	157
<b>Куликовська Н.А., Тіменко А.В., Костецький Д.В.</b> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННІ.....	163
<b>Legeza V.P., Neshchadym O.M.</b> THE PROBLEM OF FUGITIVE INTERCEPTION ON A PLANE IN THE ONE-DIMENSIONAL VECTOR FIELD OF A MOVING FLUID .....	168
<b>Лемешко А.В., Антоненко А.В., Петрик А.В., Миронов С.О.</b> НЕЙРОМОРФНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	175
<b>Мішура К.А., Павловський О.М.</b> ВІРТУАЛЬНИЙ ПРИЛАД В СЕРЕДОВИЩІ NI LABVIEW ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СИГНАЛУ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНОГО ОБ'ЄКТА.....	184
<b>Мойсеєнко О.В., Гарасимів Т.Г.</b> ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ТЕСТ-ПЛАНІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ.....	190
<b>Nikitenko Ye.V., Guida O.G.</b> ARCHITECTURAL FRAMEWORK FOR THE FUNCTIONALIZATION OF MOBILE APPLICATION FOR IOS BASED ON REACTIVE EXTENSIONS.....	197
<b>Оніщенко Т.В., Фоміна А.М.</b> АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ КАРТ В СУЧАСНИХ ОНЛАЙН-СЕРВІСАХ ОЦІНКИ ЮЗАБІЛІТІ ІНТЕРФЕЙСІВ ВЕБ-САЙТІВ.....	204
<b>Пашковський Б.В., Слабінога М.О.</b> РОЗРОБКА МІКРО СЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕГРАТОРА ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	212
<b>Савенко Б.О.</b> МЕТОД СИНТЕЗУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РІВНІВ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЧАСТКОВО ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ЗЛОВМИСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	217

<b>Сербул О.М., Кондратець В.О., Дідик О.К., Ізовіга О.Л.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ РУДА/ВОДА В КУЛЬОВОМУ МЛІНІ З ЦИРКУЛЮЮЧИМ НАВАНТАЖЕННЯМ.....	228
<b>Скрипка К.І., Гуйда О.Г., Омецинська Н.В., Лісовець С.М., Юсипів Т.В.</b> ВІДДАЛЕНИЙ МОНІТОРИНГ ТА КЕРУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИМ СТАНОМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ.....	233
<b>Фуріхата Д.В., Граф М.С.</b> АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕРНЕТ ПРОСТОРІ.....	239
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	244

## CONTENTS

### RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

**Kiba E.I., Gubar V.G.**

RESEARCH AND SOLUTION OF DATA TRANSMISSION/PROCESSING PROBLEMS  
IN VR CONTROLLERS.....1

**Kononova I.V., Samus D.V.**

ANALYSIS OF THE OPTION OF IMPLEMENTING AN ENERGY-EFFICIENT SMART  
PARKING BASED ON A WIRELESS SENSOR NETWORK.....6

**Krochak V.I., Yaskiv V.I.**

USING THE LIMITED PROPORTIONAL MODE TO INCREASE  
THE INFORMATIVENESS OF RADIOMETRIC MEASUREMENTS  
WITH THE GEIGER-MÜLLER DETECTOR.....14

**Mogylevych D.I., Sinko V.V., Tykhonov M.V.**

RELIABILITY MODELS OF COMMUNICATION EQUIPMENT WITH COMBINED  
TIME RESERVE.....20

**Sakovych L.M., Gyrenko I.M.**

MINIMIZING THE AVERAGE RECOVERY TIME OF SPECIAL COMMUNICATIONS  
EQUIPMENT WITH MULTIPLE DEFECTS.....25

**Semenov A.O., Stalchenko O.V., Prytula M.O., Donskyi O.V.**

AMATEUR LOW POWER RADIO FREQUENCY COMMUNICATION DEVICE FOR FM RANGE...31

**Tymchenko A.O., Gubar V.G.**

RESEARCH AND SOLUTION OF THE PROBLEM OF HEATER CURRENT CONTROL  
IN THERMOSTATS.....38

**Tymchenko K.O., Gubar V.G.**

A PROBLEM-ORIENTED APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC WATCHES...46

### INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Abramova A.O.**

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR THE DESIGN  
OF ION-EXCHANGE SYSTEMS OF PURIFICATION OF WASTE WATER IN MATLAB.....51

**Bazhenov V.G., Kalenychenko Y.O., Ratsebarskyi S.S.**

USING NEURAL NETWORKS FOR DETERMINATION OF HARDNESS OF STEEL SAMPLES  
WITH A STRUCTURESCOPE BASED ON HIGHER HARMONICS.....58

**Bezugla N.V., Yakovenko I.O., Filippova M.V., Poluektov S.O.**

AUTOMATED SYSTEM FOR PHOTOMETRIC IMAGES PROCESSING OF SCATTERING SPOT...64

**Byshevets H.A., Furtat S.O., Furtat O.V., Vyshemirska Ya.S.**

PROSPECTIVE WAYS OF AUTOMATING BUSINESS PROCESSES IN SMALL BUSINESS.....72

**Boun V.P., Bahan T.H.**

VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS FOR A HOSPITAL WARD.....77

**Bouraou N.I., Zolotarov Ye.O.**

SYSTEMS OF VISUALIZATION OF THE MOVEMENT OF UNMANNED  
UNDERWATER APPARATUS.....83

**Varhanova D.O., Okunkova O.O.**

VISUALIZATION OF THE CONCEPTS OF IDEAS AND SOLUTIONS, TEAMWORK DURING  
THE ORGANIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS USING THE MIRO ONLINE BOARD..90

**Hnatchuk Ye.H., Hovorushchenko O.O.**

RESULTS OF THE FUNCTIONING OF INFORMATION TECHNOLOGY TO SUPPORT MEDICAL  
DECISION-MAKING, TAKING INTO ACCOUNT CIVIL LAW GROUNDS .....99

<b>Gorbiychuk M.I., Lazoriv N.T., Kohutiak M.I., Lazoriv A.M.</b> SYNTHESIS OF THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE CROSS-CONNECTION COMPENSATOR OF THE AUTONOMOUS CONTROL SYSTEM.....	106
<b>Grishyn M.V., Beglov K.V.</b> ADVANCEMENT OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM TO REDUCE THE RISK OF CRITICAL DAMAGE TO THE HEAT EXCHANGE SURFACE OF A STEAM BOILER.....	115
<b>Dychka I.A., Tereikovskiy I.A., Didus A.V., Tereikovska L.O., Boyarinova Yu.Ye.</b> ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF KEYWORD SPOTTING IN VOICE SIGNALS.....	123
<b>Dychka I.A., Tereikovskiy I.A., Korovii O.S., Tereikovska L.O., Romankevych V.O.</b> ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF MEANS OF RECOGNITION OF THE EMOTIONAL TONE OF TEXT FRAGMENTS.....	130
<b>Dromenko V.B., Pylypenko Yu.M., Kyselov V.B.</b> APPLICATION OF RECURSIVE ALGORITHMS AND FUNCTIONS ACCORDING TO SEVERAL VARIABLES IN THE ORGANIZATION OF CYCLIC PROCESSES.....	136
<b>Dudkin K.V., Irodov V.F., Dubrovskiy S.S.</b> EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL REGIME OF A LOW GREENHOUSE WITH TUBULAR GAS HEATERS ON PELLETS FOR THE CREATION OF A MATHEMATICAL HEATING MODEL .	141
<b>Zabuga A.G.</b> STUDENT PERFORMANCE ASSESSMENT AUTOMATION WITH MATHEMATICAL STATISTICS METHODS.....	146
<b>Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Bairakovskiy V.V., Koval R.A.</b> DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETECTING SIMILAR SONGS BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR SOUND CHARACTERISTICS.....	151
<b>Kravchenko S.M., Suhoniak I.I., Marchuk H.V., Gryshkun Ye.O., Venhlovska Yu.M.</b> UML MODELING OF THE DESIGN PROCESS OF A PUZZLE GAME.....	157
<b>Kulykovska N.A., Timenko A.V., Kostetsky D.V.</b> AUTOMATED ROOM TEMPERATURE CONTROL SYSTEM.....	163
<b>Legeza V.P., Neshchadym O.M.</b> THE PROBLEM OF FUGITIVE INTERCEPTION ON A PLANE IN THE ONE-DIMENSIONAL VECTOR FIELD OF A MOVING FLUID .....	168
<b>Lemeshko A.V., Antonenko A.V., Petryk A.V., Myronov S.O.</b> NEUROMORPHY SYSTEMS AS A TOOL FOR IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE.....	175
<b>Mishura K.A., Pavlovskiy O.M.</b> WAVELET TRANSFORMATION FOR SIGNAL DENOISING IN NI LABVIEW ENVIRONMENT.....	184
<b>Moyseenko O.V., Harasymiv T.G.</b> USE OF GENETIC ALGORITHMS IN OPTIMIZING THE PROCESS OF FORMING COMPUTER SYSTEM SOFTWARE TEST PLANS.....	190
<b>Nikitenko Ye.V., Guida O.G.</b> ARCHITECTURAL FRAMEWORK FOR THE FUNCTIONALIZATION OF MOBILE APPLICATION FOR IOS BASED ON REACTIVE EXTENSIONS.....	197
<b>Onishchenko T.V., Fomina A.M.</b> ANALYSIS OF HEAT MAPS IN MODERN ONLINE SERVICES USABILITY ASSESSMENT OF INTERFACES OF MOBILE APPLICATIONS AND WEBSITES.....	204
<b>Pashkovskiy B.V., Slabinoha M.O.</b> MICRO SERVICE ARCHITECTURE IMPLEMENTATION OF THE INTEGRATOR OF THE OPTIMIZATION OF THE NATURAL GAS COMPRESSION PROCESS UNDER FUZZY CONDITIONS.....	212
<b>Savenko B.O.</b> METHOD OF SYNTHESIZING MATHEMATICAL MODELS OF SECURITY LEVELS FOR PARTIALLY CENTRALIZED DISTRIBUTED MALWARE DETECTION SYSTEMS.....	217

<b>Serbul O.M., Kondratets V.O., Didyk O.K., Izovita O.L.</b> OPTIMIZATION OF FORECASTING ACCURACY RATIO ORE/WATER IN A BALL MILL WITH A CIRCULATING LOAD.....	228
<b>Skrypka K.I., Guida O.G., Ometsynska N.V., Lisovets S.M., Yusypiv T.V.</b> REMOTE MONITORING AND MANAGEMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF ENVIRONMENT USING MODERN TECHNOLOGIES OF THE INTERNET OF THINGS.....	233
<b>Fyrikhata D.V., Graf M.S.</b> ANALYSIS OF EXISTING METHODS AND ALGORITHMS FOR INFORMATION PROCESSING IN THE INTERNET SPACE.....	239
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS.....</b>	244



# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/01>**Кіба Є.І.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Губар В.Г.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ПЕРЕДАЧІ/ОБРОБКИ ДАНИХ У VR-КОНТРОЛЕРАХ

У роботі розглянуті питання, пов'язані з передачею даних VR-контролерів та їх вирішення за допомогою окремого периферійного пристрою. Розглянута система поєднання таких контролерів у один костюм, за допомогою централізованого живлення від акумуляторів. Сама робота має змінити підхід для реалізації зв'язку між користувачем та VR-середовищем, поліпшивши відстежування руху, з метою подальшої реалізації. У роботі описуються методи відстеження рухів, що використовуються у маніпуляторах. Також в роботі розглянуті питання підключення VR-контролерів через протокол Bluetooth. Огляд цих питань дозволить поліпшити вже існуючі та модернізувати принципи побудови інших систем у майбутньому.

Відповідно тому, з якою швидкістю йде розвиток індустрії розробки ігор, профільних галузей медицини (наприклад, нейрохірургія), збільшення кількості робіт, що пов'язані з яким-небудь ризиком для життя, збільшується й потреба у швидкості передачі даних. Відповідно, пропонується змінити підхід до реалізації підключень контролерів та зменшити час їх відклику з точки зору проблематики віртуальної реальності. Віртуальна реальність - це нова, не профільна галузь, яка представлена в Україні лише студіями інді-розробки програмного забезпечення. Вона використовується для створення віртуального середовища та надається іноземними дилерами, що представляють великі компанії на вітчизняному ринку. В статті пропонується підходи щодо побудови перспективних систем віртуальної реальності (VR), що можуть перерости у самобутні консолі та самостійні VR-станції. Майбутні розробки компанії нашої держави можуть стати передовими у цій галузі та зайняти відповідну нішу на світовому ринку технологій віртуальної реальності. Також на базі цих технологій можна створити унікальну гібридну систему доповненої реальності (AR), яка може використовувати VR-контролери для маніпуляцій у реальному просторі.

**Ключові слова:** VR, маніпулятор, контролер, Bluetooth, користувач, середовище.

**Постановка проблеми.** На сьогодні технологія віртуальної реальності (VR – virtual reality) активно розвиваються та інтегрується у різні сфери діяльності людини: при дослідженні складно доступних місць (океанографія, археологія, космос), при діяльності в областях, які потребують точності виконання: в охороні здоров'я (хірургія, стоматологія), робототехніка та інше. Для створення якісного робочого простору пристрої віртуальної реальності потребують максимально швидкої та безперебійної передачі та обміну даних. Комунікація з VR-контролерами зазвичай виконується за допомогою бездротового

з'єднання Bluetooth [1]. При передачі даних по цьому протоколу можуть спостерігатися наступні проблеми: нестабільність передачі сигналу, перешкоди, проблеми, що пов'язані з підключенням, несумісність обладнання, відстань передачі сигналу. В даній роботі проводиться вирішення цих проблем методом заміни стандарту Bluetooth на стандарт IEEE 802.11

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні покоління VR-маніпуляторів, які повинні імітувати рухи людини у VR-середовищі, використовують бездротову технологію Bluetooth для передачі інформації (натискання клавіш та даних

про нахил з гіроскопів та акселерометрів) з маніпулятора до базової станції.

Для більш точної координації та позиціонування у VR-середовищі використовують додаткову передачу з камер та відслідковування позиції. Найбільшу популярність для оптимізації та організації відстеження рухів користувача здобули методи трекінгу *inside-out* та *outside-in*.

**Inside-out tracking.** Метод, при якому камеру вбудовано у VR-гарнітуру. При цьому камера відстежує мітку або трекер (маркер) на маніпуляторі й після обробки передає дані у VR-середовище. Такий метод, в основному, використовується у портативних мобільних гарнітурах, наприклад: Oculus Quest 2, HP Reverb G2 Omnicept Edition, Pico Neo 3 Pro, Lenovo Mirage Solo, HTC Vive Focus 3, Acer OJO 500, Asus HC102, Samsung HMD Odyssey, Xiaomi Mi VR Standalone, Nolo CV1 [2].

**Outside-in tracking.** Метод використовує додаткові камери або сенсори, які знаходяться поза гарнітурою і слугують для визначення позиції оператора в просторі. В такому методі камери використовуються для відстеження положення маркерів або трекерів на маніпуляторах. Використовується метод у більш дорогих та якісних контролерах, наприклад: Oculus Rift S, HTC Vive Pro 2, Valve Index, Pimax 8KX, HP Reverb G2, Windows Mixed Reality Headsets, Acer Windows Mixed Reality Headset, Dell Visor Windows Mixed Reality Headset, Samsung Odyssey+, Sony PlayStation VR [3].

При передачі результатів у VR-простір використовуються спеціальні програми-емулятори, наприклад, Steam VR, які переносять у нього рухи користувача відносно його положення в реальному просторі та повертають зображення або на екран ПК, або на VR-окуляри, однак якість обробки пропорціонально залежить від швидкості передачі та її безперебійності і точності обробки.

Ціна якісного набору VR-гарнітури з окулярами, маніпуляторами та додатковою апаратурою може варіювати від 750\$ до 2000\$ в залежності від якості обладнання та його стану.

**Постановка завдання.** З попередніх розділів видно, що хоч й існує велика кількість контролерів та всі вони стикаються з проблемами, пов'язаними з передачею сигналу. Крім цього, створення дротових з'єднань не є доречним. Це пов'язано зі зручністю використання контролерів оператором. При наявності провідного з'єднання рухи оператора можуть бути обмежені. Пропонуються наступні етапи для отримання оптимального результату, що поєднує комфорт користування та оптимізацію використання контролерів в системі:

- знаходження аналогічних безпроводних методів передачі даних
- збереження зручності оператора
- вирішення проблем з бездротовою передачею пов'язаних з Bluetooth

**Виклад основного матеріалу по розробці.** У сучасних VR-гарнітурах, таких як Oculus Quest 2 та Pico 4, використовують технологію *air link* [2], що дозволяє передавати дані та зображення за допомогою протоколу IEEE 802.11. Використання цього протоколу дозволяє пришвидшити передачу даних та отримати більш стабільне з'єднання в VR-середовищі. Технологія *air link* має певні проблеми, такі як: перебої з підключенням, затримки в обробці картинки, неточність з відображенням рухів, бо використовує метод *inside-out* для трекінгу.

Пропонується використати систему для побудови віртуального простору використовуючи поєднання методів трекінгу – *outside-in* та *inside-out*. Запропонована система приведена на рис. 1.

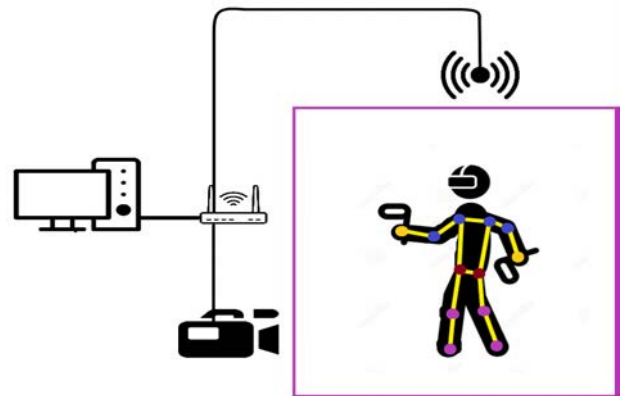


Рис. 1. Ескіз роботи системи

Принцип роботи представлено на блок-схемі (рис. 2).

Датчики та камери, які входять до запропонованої системи VR-середовища, підключаються до базової станції обробки інформації. Для комунікації використовується IEEE 802.11. Базова станція приймає, керує та виконує попередню обробку даних з підключених пристроїв в реальному часі. Після обробки на основі підготовлених даних виконується відбудова віртуального простору, в якому відбувається переміщення аватара персонажа. За допомогою дротового з'єднання зображення передається на пристрої користувача (персональний комп'ютер, екран та інше) для побудови віртуального простору. В даному випадку дротове з'єднання між базовою станцією та пристроями користувача запропоновано для розширення про-

пускої спроможності каналу передачі даних і не впливає на зручність. Крім цього, зображення з базової станції також передається на VR-окуляри для отримання зворотного зв'язку у віртуальній реальності, в якій знаходиться персонаж.

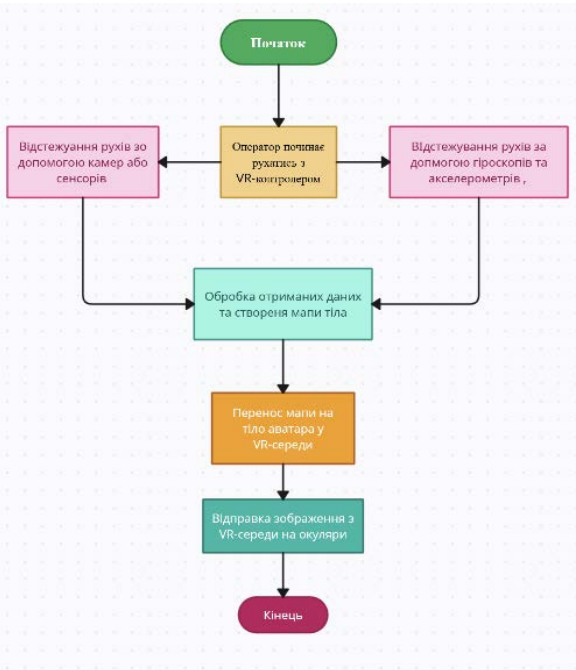


Рис. 2. Блок-схема роботи системи

Для реалізації методу outside-in в запропонованій системі датчики та камери встановлюються у певній області кімнати. Поки користувач буде знаходитись у зоні трекінгу, усі його дії будуть зчитуватися базовою станцією. Базова станція проводить обробку даних в реальному часі, що дозволяє підвищити точність рухів у VR-середовищі.

Для реалізації inside-out методу будуть використовуватись гіроскопи та акселерометри, встановлені у маніпулятори та окуляри користувача. У випадку, коли користувач виходить з зони спостереження камер та сенсорів, то рух та маніпуляції у VR-середовищі продовжуватимуть відслідковуватися, хоча й з меншою точністю. Це пов'язано зі зменшенням кількості отриманих даних, тим самим зменшивши точність результату їх апроксимації.

Контролери (маніпуляторів, окулярів та інших пристроїв, що є частиною віртуального простору) в запропонованій системі пропонується використовувати з двома інтерфейсами передачі даних: WiFi, як основний робочий інтерфейс та Bluetooth, який буде використовуватися для налаштування та калібрування. Такий підхід дозволить значно зменшити навантаження на базову станцію при додаванні нового контролера.

При використанні контролерів тіло оператора умовно розділяється на зони і кожен контролер відповідає за свою зону, як приведено на рис. 3.



Рис. 3. Розміщення контролерів на тілі оператора

Маніпулятори рук розділяються по використанню на кистьові та ліктьові. Таке розділення дозволяє підвищити комфорт та зручність при використанні оператором, а також підвищити точність відслідковування рухів. Це пов'язано з моторикою оператора – кисті рук більш рухливі ніж більша частина руки. Контролери на кисті пропонується зробити у формі рукавиці з датчиками тиску між фалангами пальців та датчиками ємності для відстежування натискання пальців. В свою чергу, додаткові камери пропонується ставити біля зап'ястя оператора.

Контролери у ліктьовій зоні та ногах пропонується робити у формі браслетів поєднаних між собою. На кожному з таких браслетів встановлюється датчик для відстежування руху з камери та акселерометр, що буде зчитувати прискорення та рухи оператора. Нахил ніг чи вигинання ліктів будуть обробляються за допомогою розрахунку градусної міри на базовій станції. При цьому коригування «плавності» рухів виконується за рахунок даних отриманих з камер.

У малорухливій зоні попереку («Зоні поясу») контролер, для зручності оператора, пропонується виконати у формі поясу.

У «Зоні поясу» буде розташований пояс з двома датчиками та акселерометр для відстежування руху у просторі та повороту оператора.

Зона тулуба оператора залишається вільною, оскільки при поєднанні даних з ліктьової зони та зони поясу на базовій станції отримується повна карта рухів тіла.

В системі використовуються бездротові контролери. Однією з головних задач такої системи контролерів є забезпечення живленням. Для реалізації забезпечення живленням можуть бути використані бездротові технології, децентралізований та централізований метод.

Бездротові технології, такі як передача електроенергії за допомогою лазера або ультразвукових хвиль мають дуже низький КПД та мають високі вимоги до проектування та реалізації конструкції. Децентралізований метод передбачає наявність у кожного контролера свого індивідуального живлення від акумуляторів (батареї живлення), що змушує оператора кожного разу відволікатися на процес заряджання для забезпечення функціонування контролерів. Такий підхід призводить до неефективного використання часу оператора.

При використанні централізованого методу усі контролери об'єднані в одну сітку та розташовані на костюмі оператора з імерсійним контролем рухів [5] та централізованим автономним (акумулятори/батареї) живленням (рис. 4).

В запропонованій системі використовується централізований метод. Такий підхід дозволяє значно підвищити продуктивність оператора та зменшити час, що витрачається на зарядку всієї системи контролерів, в цьому випадку заряджання виконується з одного джерела живлення. При використанні живлення від акумуляторів слід також подбати про безпеку оператора. Пропонується використовувати літій-полімерні акумулятори як більш безпечні ніж літій-іонні. Безпека використання таких акумуляторів досягається відводом тепла, що виділяється акумуляторами. Для цього використовують пластини з алюмінію, товщиною 1.75 та 3 мм. Пластини розташовуються паралельно одна до одної з проміжком 1мм. Розмістити таку систему краще всього на спині у вигляді Backpack з можливістю швидкого скиду, поставивши точки кріплення на плечах та збоку поясу. Відмінною особливістю такого костюма є імерсійне занурення у VR-середовище, з чіткою та швидкою обробкою рухів оператора. Крім цього, за допомогою алюмінієвих пластин оператор буде тримати спину рівно, а активні рухи тіла можуть сприяти його фізичному розвитку.

Камери відстежують позицію контролерів, спираючись на спеціальні світлочутливі маркери (інфрачервоні діоди), розміщені на контр-

олерах. Розташування маркерів на контролерах фіксується, що надає можливість визначити їхню точну позицію в просторі. За допомогою складних алгоритмів обробки даних, функцію яких буде виконувати периферійний пристрій, система відслідковує рух контролерів та інтерполює траєкторію руху, для точного відтворення позиції контролера в тривимірному просторі віртуальної реальності.

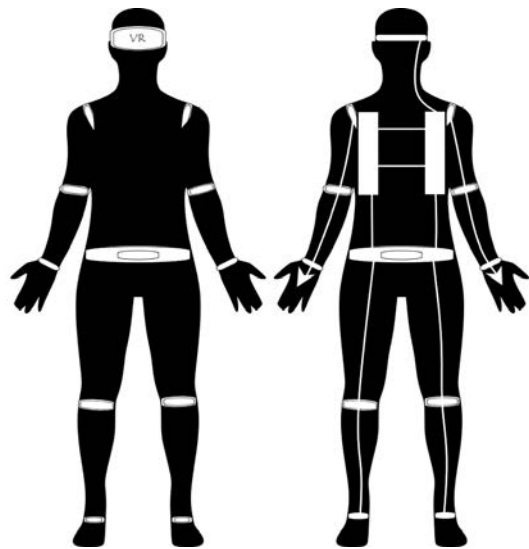


Рис. 4. Централізований метод

Додатково пропонується також встановлення декількох замкнених на собі сенсорів, що відслідковують чи не знаходиться оператор у контурі їх дії. Якщо він вийде за дію контуру то камери перестають зчитувати рухи оператора для запобігання накладання «бліків» на рухи у віртуальному просторі.

Базова станція прийнявши дані з камер, сенсорів та контролерів за стандартом WI-FI та буде мапу рухів та тіла оператора, після чого переносить її у систему інтеграції з VR-середовищем на зразок SteamVR. Передача даних виконується через дротове з'єднання USB 3.2. Станція віртуальної реальності використовує від 2 до 4 ГБ ОЗУ DDR4 або DDR3L. Це забезпечує точність рухів та затримку зображення не більше 40 мс, якщо оператор знаходиться у зоні камер та трекерів.

**Висновки.** Запропонована система є перспективним поглядом у майбутнє розвитку систем для VR-гарнітур. Подальший розвиток системи може бути спрямований на підвищення обчислювальної потужності базової станції. Такий підхід дозволить виконувати не тільки обробку потоку даних від контролерів, але й виконувати роль ігрової VR-консолі, як це реалізовано в PlayStation.

У статті виявлено базові проблеми під'єднання базових VR-контролерів та їх взаємодії з трекерним середовищем.

Спроекована система використовує запропоноване розташування обладнання на тілі оператора з імерсійним перенесенням рухів у VR-середовище. Складається система з централізовано поєднаних VR-контролерів для окремих зон тіла, камерам

для відстеження та інтерполяції плавності рухів, замкнених на себе контурів сенсорів для відстежування позиції користувача у зоні дії камер та безпосередньо WiFi модуля для передачі даних. Дані передаються на базову станцію для обробки та створення віртуального середовища.

Створена концепція дозволяє перейти безпосередньо до розробки пристрою.

#### Список літератури:

1. Bluetooth . URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
2. Oculus Quest 2. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Quest\\_2](https://en.wikipedia.org/wiki/Quest_2)
3. Inside Out VS Outside In Tracking .URL: <https://vrheaven.io/inside-out-vs-outside-in-tracking/>
4. Lithium Ion vs. Lithium Polymer Batteries . URL: <https://blog.ravpower.com/2017/06/lithium-ion-vs-lithium-polymer-batteries/>
5. Immersion (virtual reality) .URL:[https://en.wikipedia.org/wiki/Immersion\\_\(virtual\\_reality\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Immersion_(virtual_reality))

#### **Kiba E.I., Gubar V.G. RESEARCH AND SOLUTION OF DATA TRANSMISSION/PROCESSING PROBLEMS IN VR CONTROLLERS**

*The paper considers the issues related to the data transmission of VR controllers and their solution using a separate peripheral device. The system of combining such controllers into one suit using a centralised battery power supply is considered. The work itself should change the approach to implementing communication between the user and the VR environment by improving motion tracking, with a view to further implementation. The paper describes the methods of motion tracking used in manipulators. The paper also discusses the issues of connecting VR controllers via Bluetooth. A review of these issues will allow us to improve existing systems and modernise the principles of building other systems in the future.*

*As the game development industry and specialised medical fields (e.g., neurosurgery) develop at a rapid pace, and the number of operations involving any risk to life increases, the need for data transfer speeds also increases. Accordingly, it is proposed to change the approach to the implementation of controller connections and reduce their response time in terms of virtual reality. Virtual reality is a new, non-core industry represented in Ukraine only by indie software development studios. It is used to create a virtual environment and is provided by foreign dealers representing large companies in the domestic market. The article proposes approaches to building promising virtual reality (VR) systems that can develop into distinctive consoles and independent VR stations. Future developments of Ukrainian companies may become leading in this field and occupy a relevant niche in the global market of virtual reality technologies. These technologies can also be used to create a unique hybrid augmented reality (AR) system that can use VR controllers to manipulate real space.*

**Key words:** VR, controllers, environment, Bluetooth, user.

**Кононова І.В.**

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

**Самусь Д.В.**

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

## АНАЛІЗ ВАРІАНТУ РЕАЛІЗАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО СМАРТ ПАРКІНГУ НА ОСНОВІ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

*Стаття присвячена аналізу варіанту розробці інтелектуального паркування (смарт-паркінгу) за допомогою безпроводової сенсорної мережі, дана тема залучає все більше уваги у світі сучасних технологій, розумне паркування використовує передові технології та інновації для поліпшення ефективності паркування. Щільність паркування в місті може бути обмеженням для перепланування міста і може призвести до збільшення транспортних засобів, а також до скорочення громадського транспорту. Визначено, що ліквідація непотрібних паркувальних зон є першочерговим завданням для розумних міст для створення кращого міського планування. Якщо водії матимуть доступ до інформації про наявність місць для паркування в режимі реального часу вони зможуть скоригувати свій графік поїздки не витрачаючи час на пересування містом у пошуку.*

*Смарт паркінг – це спосіб допомогти водіям ефективніше знаходити зручні місця для паркування за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій. Водії можуть скоротити час пошуку місця для паркування час пошуку місця для паркування, зменшити забруднення навколишнього середовища, знизити витрати за рахунок меншим споживанням пального та зменшити затори на дорогах завдяки завдяки інформації з додатків для розумного паркування. Більше того, розгортання смарт паркінгу передбачає розгортання багатьох датчиків у містах і подолання поточних проблем з управлінням датчиками, що може стати провідною парадигмою розумних міст.*

*В статті запропоновано варіант рішення смарт паркінгу яке буде базуватися на безпроводових мережах та інших сучасних технологіях. Такі паркінги забезпечують можливість моніторингу та керування парковочними місцями в режимі реального часу, що дозволяє забезпечити оптимальне використання місць для паркування та уникнути заторів.*

*Зв'язок цієї проблеми з науковими та практичними завданнями полягає у тому, що розробка ефективних технологій управління паркуванням може допомогти зменшити транспортні затори та забезпечити більш ефективне використання міських територій. Крім того, це може сприяти економічному розвитку міст.*

**Ключові слова:** смарт паркінг, безпроводові сенсорні мережі, енергозбереження, надійність пристроїв, датчики освітлення.

**Постановка проблеми.** Дослідження у галузі інтелектуального паркування на основі безпроводової сенсорної мережі (БСМ) проведені різними авторами з усього світу. Ці дослідження зазвичай мають на меті зменшення трафіку в місті та полегшення паркування для водіїв, а використання БСМ у розумних системах паркування дозволяє збирати та обробляти інформацію в режимі реального часу. Одним з ключових елементів смарт паркінгу на основі БСМ є сенсорні вузли, які розміщуються на кожному парковочному місці та надсилають дані про наявність або відсутність автомобіля на цьому місці до центрального вузла. Для покращення ефективності системи викорис-

товуються різні алгоритми та методи, включаючи машинне навчання, оптимізацію маршрутів та управління потоками транспорту.

Однак, ці системи все ще потребують подальшої оптимізації та розширення функціональності, так як паркування залишається важливою проблемою для багатьох міст.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [1, 2] описується система паркування, яка використовує сенсорні мережі з метою збільшення ефективності та швидкості процесу паркування. Система складається з трьох основних компонентів: сенсорів, базової станції та мобільного додатку. Сенсори розміщуються на дорогах

та відстежують наявність вільних парковочних місць, передаючи дані до базової станції. Дані, зібрані базовою станцією, аналізуються з використанням алгоритмів машинного навчання, щоб визначити, де саме є вільні місця для паркування. В статтях [2, 3] розглянуто систему паркування, яка використовує безпроводові сенсорні мережі з метою зменшення трафіку та покращення ефективності паркування в містах. Система складається зі сенсорів, які розміщуються на дорогах, машинах та на базовій станції. Найчастіше в роботах розглядаються типові системи управління паркуванням які відстежують кількість автомобілів, що проїжджають через точки в'їзду і виїзду, для оцінки вільних місць на парковці. Система, описана в [4] зосереджена на таких питаннях, як підключення, зондування та продуктивність мережі. У роботах [5–8] запропоновано системи паркування на основі БСМ, де кожна з цих робіт досліджує можливість використання різних типів сенсорів. Вони також пропонують різні механізми маршрутизації для передачі даних від джерела до приймача. Більшість існуючих систем розглядають схему, в якій дані зібрані з декількох сенсорів, аналізуються центральною станцією і відображаються в стратегічних точках, щоб допомогти користувачеві. Однак запропоновані рішення є складними в реалізації та не є економічними й енергоефективними.

В даній роботі проаналізовано та запропоновано варіант використання інтелектуальної системи управління паркуванням автомобіля з використанням БСМ економічно ефективним та енергоефективним способом.

**Виклад основного матеріалу.** Представимо варіант використання послуги смарт паркінгу з оперативної та адміністративної точки зору включаючи учасників. На рис. 1 запропоновано варіант підтримки послуг з різних джерел, а також збір даних про паркування та управління ними. Для підтримки такого сервісу в режимі реального часу звичайні системні архітектури не можуть задовольнити потреби водіїв.

Тому необхідно переглянути систему з різних точок зору, як екосистему розумного паркування. Екосистема розумного паркування включає в себе два потоки:

1. Транспортний потік (відбувається на шляху пошуку парковки) – водії автомобілів отримують інформацію про наявність вільних місць для паркування і направляються до зони паркування і можуть зайняти вільне місце. Поведінка водіїв під час паркування залежить від інформації якою

вони володіють) – після паркування водіїв інформація про наявні вільні місця повідомляється іншим водіям, які шукають вільне місце.

2. Інформаційний потік (інформація про паркування від моменту її виявлення датчиками до моменту, коли вона з'явиться на терміналі водія). Для отримання статусу зайнятості паркувальних місць, на вуличних парковках встановлюються датчики, які фіксують події пов'язані з транспортними засобами. Датчики утворюють мережу та надсилають актуальну інформацію на пристрої зберігання, наприклад зі знаків змінної інформації або зі своїх мобільних пристроїв, які обмінюються повідомленнями з дорожньою інфраструктурою чи базовими приймально-передавальними станціями.

На даний час існує багато проєктів та додатків, однак не всі водії отримують вигоду від смарт паркінгу, тому виникає потреба в удосконаленні технології з різних точок зору. Наприклад, сенсорні пристрої є вбудованими системами, що перетворюють отримані дані в корисну інформацію та оцінюють свій термін служби або несправності для подальшого інформування системного адміністратора про будь-яку проблему.

Смарт паркінг використовує сенсорну інформацію щоб в режимі реального часу надавати інформацію про вільні місця. Система має ефективно відфільтровувати інформацію щодо паркування до інтересів водіїв, якщо інтереси є не чітко визначені то система має швидко адаптуватись для забезпечення високого рівня якості послуг. А існуючі додатки для смарт паркінгу надають однакову інформацію всім учасникам дорожнього руху, але дані про наявність вільних місць для паркування в режимі реального часу корисне лише при близькому знаходженні до паркування. Отже, інформація повинна надаватись з урахуванням їх мобільності та місцезнаходження:

1. Невизначеність поведінки водіїв та їх пересування. Поведінка водіїв пов'язана з інформацією яку вони отримують від інтелектуальних систем паркування, а також власним плануванням поїздки. Отримання даних про водіїв та їх поведінку можна було зрозуміти лише з інформації про оплату але завдяки розгортанню датчиків у місті стає можливим аналізувати дані та проводити моделювання.

2. Виявлення присутності автомобіля. Представимо різні датчики та способи їх розгортання та розкриємо спосіб виявлення краудсорсингу. Все більше додатків для паркування намагаються збирати інформацію про паркування не розгортаючи

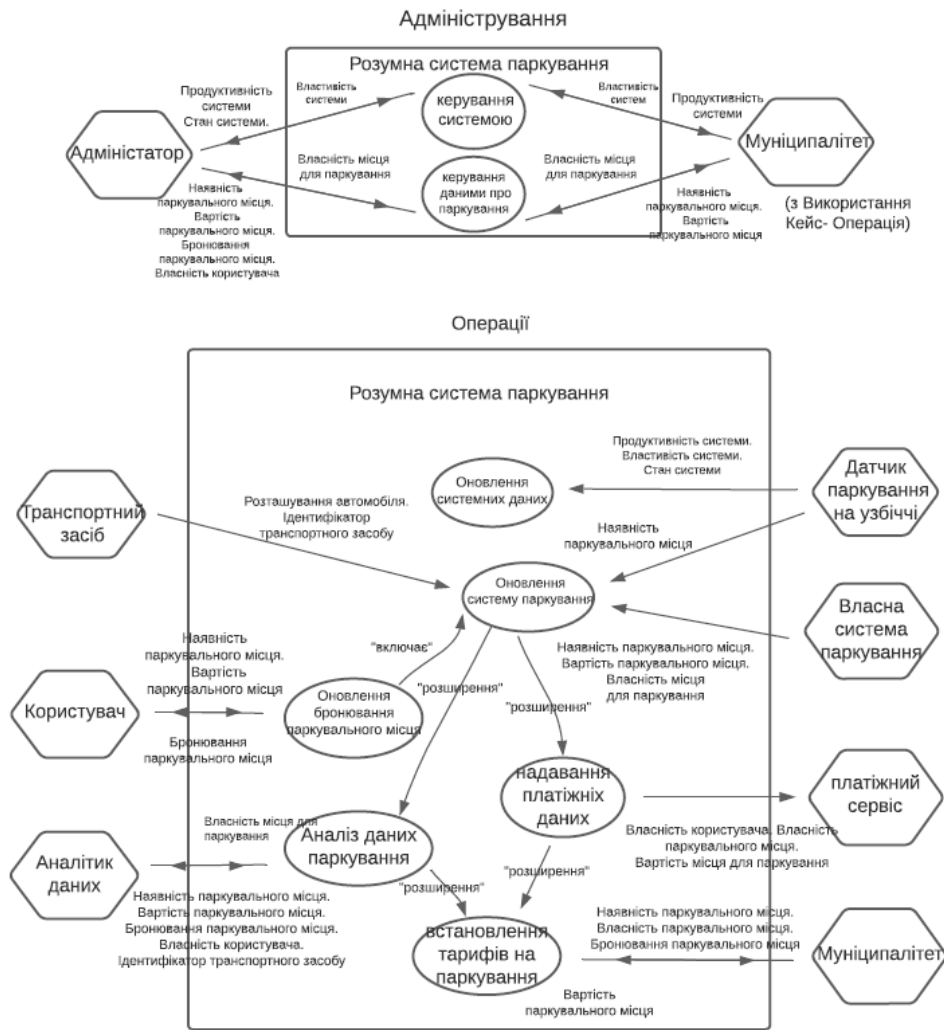


Рис. 1. Варіант використання послуги розумного паркування

тисячі датчиків у місті і більшість цих датчиків передають отриману інформацію через 802.15.4 для швидкого встановлення без підписки на послуги мобільних операторів. Безпроводова сенсорна мережа розширює можливості сенсорів, але в основному на протоколи і продуктивність мережі (час життя датчика, затримка) зв'язку короткого радіусу дії.

Інформаційне зондування покладено на датчики для збору інформації про наявність місць для паркування в реальному часі. Стационарні та мобільні датчики є двох типів. Перший інтуїтивно додає зондування на паркувальних місцях, коли статус зайнятості змінюється, датчик може виявити присутність або відсутність транспортного засобу та оновити інформації за короткий час, наприклад використання SFpark дозволяє отримувати 85% подій протягом 60 секунд на мережах датчиків парковок. Мобільні датчики використовують мобільність транспортного засобу для

збору інформації вздовж маршруту за допомогою меншої кількості датчиків. Такі датчики можуть визначати стан зайнятості коли автомобіль проїжджатиме через місце для паркування, в такому випадку інформація може не оновлюватися протягом тривалого часу, наприклад ParkNet. ParkNet збирають дані з GPS приймачів та ультразвукових датчиків, а потім передають їх через стільниковий зв'язок на центральний сервер. Така мобільна система датчиків паркування потребує значно менших втрат на встановлення, але потребує більшого часу між опитуваннями, наприклад 30 хвилин для 85% комірок у центрі міста де може працювати понад 200 транспортних засобів [9].

3. Різні датчики мають різні способи виявлення присутності транспортного засобу. Пасивні інфочервоні датчики приймають тепло, випромінюване тілом людини і використовуються сумісно з іншими датчиками для виявлення знаходження водія, чи припаркувався водій та чи



вийшов з машини. Інфочервоні датчики вимірюють відстань до переходу попереду але є дуже чутливими до сонця і зовнішніх об'єктів навколишнього середовища, тому точність вимірювання не є високою. На відміну від інфочервоних, ультразвукові датчики використовують звук і краще працюють в великих містах. Такі датчики використовують високочастотні звукові хвилі для вимірювання відстані до об'єкта. Коли хвиля відбивається від об'єкта, датчик отримує ехо-сигнал, який може бути використаний для визначення відстані та форми об'єкта. Однією з переваг ультразвукових датчиків є їх здатність працювати в різних умовах, включаючи туман, пил, темряву та можуть використовуватись для обох сценаріїв, як для рухомого так і мобільного. Оскільки транспортні засоби є досить великими об'єктами то за допомогою оптичних датчиків, які визначають зміну освітленості можуть бути використані для визначення припаркованого автомобіля. Оптичні датчики необхідно встановлювати там де світло може затуляти припаркований транспортний засіб. Однак оптичні датчики вразливі до джерел світла та швидких об'єктів тому у них низька точність. Для точного виявлення паркування автомобіля пропонується використання стаціонарного датчика – магнітометра, оскільки він вимірює поточні магнітні поля і виявляє присутність великих металевих об'єктів.

4. Камери [10] та акустичні датчики [11] дають набагато складнішу картину сигналу, ніж ультразвукові, вони вимагають обробки зображень і гідроакустичних сигналів для того, щоб виділити потрібну інформацію з фонового шуму. Індуктивні петлі та п'єзоелектричні датчики є контактними і можуть бути встановленими на дорожньому покритті. Технологія індуктивних петель визначає, чи проїжджає транспортний засіб, а п'єзоелектричні датчики схожі на індуктивні петлі однак здатні зчитувати більш детальну інформацію з тиску, що чиниться на нього. Такі контактні датчики потребують інтрузивного встановлення, і вони легко зношуються через їх частого використання.

Для побудови 2/3D карти, особливо для сприйняття навколишнього середовища необхідно використовувати лазерний далекомір який зазвичай встановлюється на транспортних засобах він випромінює лазерний промінь для визначення відстані до різних об'єктів, щоб дізнатися чи є там припарковані транспортні засоби. Найекономічніший спосіб отримання інформації про наявність місць для паркування є мобільний краудсорсинг.

Однак, це може призвести до проблем з конфіденційністю, якщо смартфони автоматично збирають дані від користувачів за допомогою, Bluetooth, WiFi, 3D-компасу, а потім оновлює їх у загальнодоступній базі даних [12].

Для зручності на паркувальних місцях можуть встановлюватись QR-коди, щоб допомогти водіям ідентифікувати та оплачувати свої паркувальні місця. Коли водій закінчує сесію паркування, система повідомить, що його паркувальне місце тепер доступне для інших водіїв. Однак ця система не може контролювати, чи оплачують водії свої паркувальні місця, оскільки QR-коди не можуть виявити присутність транспортних засобів.

Після встановлення мережевих датчиків на паркувальних місцях, вони можуть об'єднатися в мережу, щоб надсилати свої повідомлення. Розглянемо два способи зв'язку: ближнього радіусу дії, такі як Bluetooth/BLE, 802.11ah (Wi-Fi HaLow) і Zigbee/ZWave/ DigiMesh, та дальнього радіусу дії, такі як Sigfox, LoRa, Weightless, Ingenu та NB-IoT/LTE-M [12].

Зв'язок на великі відстані використовує переваги існуючої мережі радіодоступу і може зв'язуватися з інфраструктурою в будь-який час і в будь-якому місці. Зв'язок на малих відстанях часто реалізується за допомогою безпроводових сенсорних мереж (BSM), де повідомлення повинні бути повторно передані кілька разів через ретранслятори, наприклад, через паркомати або інші датчики, поки вони не досягнуть міської інфраструктури міста. Дослідження в області BSM тривають багато років, але лише деякі з них були оцінені в контексті міського паркування, враховуючи час життя, затримку інформації та обмеження щодо якості безпроводового зв'язку.

Малопотужна глобальна мережа (LPWAN – Low-power Wide-area Network): враховуючи, що велика функціональність 3G/4G не є необхідною для мережевих сенсорних пристроїв, безпроводовий зв'язок великого радіусу дії повинен бути адаптований до ринку інтернет речей (IoT). Стільниковий IoT, розроблено для LPWAN і завдяки сумісності з існуючими стільниковими мережами додаткова інфраструктура не потрібна [13].

Однак, на відміну від LPWAN, BSM не потребує щомісячної абонплати за кожен датчик але затримка та енергоефективність мережі є основною проблемою. Реалізація системи управління смарт парковкою і порівняння ефективності використання енергії та витрат при розгортанні BSM, а також при збільшенні кількість сенсорних вузлів, показало, що смарт-сенсори можуть

споживати менше енергії. А при оснащенні сенсорного вузла Zigbee, Bluetooth або WiFi, показало, що з точки зору часу життя сенсора і максимальної кількості підключених вузлів у BCM Zigbee є найкращим вибором [14].

Отже, на основі викладеного матеріалу опишемо варіант удосконаленої архітектури системи її роботу та опишемо експериментальне налаштування. На рис. 2 представлено архітектуру запропонованої системи та центральної наглядової станції (ЦНС) або диспетчерської станції, що складається з компонентів, як показано на рис. 3.

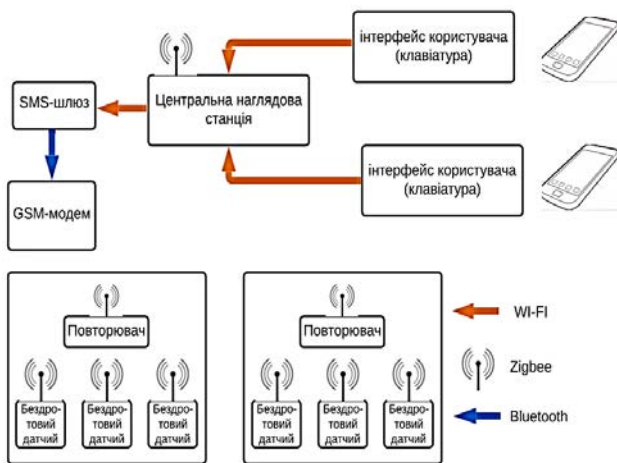


Рис. 2. Варіант архітектури системи



Рис. 3. Компоненти центральної наглядової станції

Конструкція системи відповідає ієрархічній архітектурі, кожен датчик-мітка розміщується у паркувальному слоті, а сукупність таких слотів утворює кластер і взаємодіє з головним кластером. З точки зору кластерності слоти ідентичні але відрізняються за функціоналом. Ці кластери передають інформацію до ЦНС.

Розглянемо роботу запропонованої системи. Коли автомобіль заїжджає на парковку, на в'їзді знаходиться дисплей з клавіатурою де водій вводить свій мобільний номер. Після введення

номера надсилається інформація щодо ідентифікатора найближчого вільного паркомісця. Водій також отримує інформацію про ідентифікатор найближчого вільного паркувального місця через SMS-повідомлення. Система паркування з'єднана з GSM-модемом, що полегшує відправлення SMS. SMS-шлюз на основі java в ЦНС забезпечує необхідну функціональність, для надсилання SMS.

Коли транспортний засіб припаркований у визначеному місці, на диспетчерську надсилається сигнал, що запускає таймер для відповідного слоту. База даних паркоматів, що надсилається на центральну диспетчерську станцію, постійно оновлюється інформацією про зайнятість паркомісць та відповідними мобільними номерами користувачів, це прив'язує паркувальне місце до транспортного засобу. Коли транспортний засіб лишає паркувальне місце, на ЦНС надсилається сигнал, який зупиняє таймер для цього паркувального місця. Значення таймера відповідає тривалості часу, протягом якого транспортний засіб був припаркований. Центральна станція аналізує в базі даних ідентифікатор мітки ID, що міститься в отриманому пакеті і надсилається SMS-повідомлення абоненту SMS-повідомлення з інформацією про час паркування та суму рахунку.

Також датчики, встановлені у паркувальних місцях, періодично зв'язуються з ЦНС для контролю стану акумулятора датчика. Пропонується кожне паркувальне місце обладнати мікроконтролером на базі 8051, оснащеним датчиком освітленості для виявлення присутності/відсутності автомобіля.

Датчик відстежує, як довго транспортний засіб був припаркований був і надсилає цю інформацію про час до головного кластеру, який, в свою чергу, надсилає її до ЦНС. Для передачі даних і зв'язку між слотами використовується стандарт IEEE 802.15.4 (протокол Zigbee). Білінгва інформація для виставлення рахунків обчислюється в ЦНС на основі даних, отриманих від датчиків. Датчик також надсилає статус доступності слоту на ЦНС який відображається на відповідному графічному інтерфейсі, як показано на рис. 4.

У запропонованій системі прийнята ієрархічна схема комунікації, це дозволить зменшити енергетичні проблеми, з якими зазвичай стикаються в при стратегії маршрутизації. Набір датчиків групується в кластер, після чого вони пересилають свої дані на призначений кластер, розміщений на зручній відстані як від ЦНС, так і від окремих датчиків на паркувальній зоні. Головний кластер просто ретранслює дані, що отримується від датчиків, до ЦНС, яка є потужним процесором



Рис. 4. Інтерфейс пульта централізованого спостереження

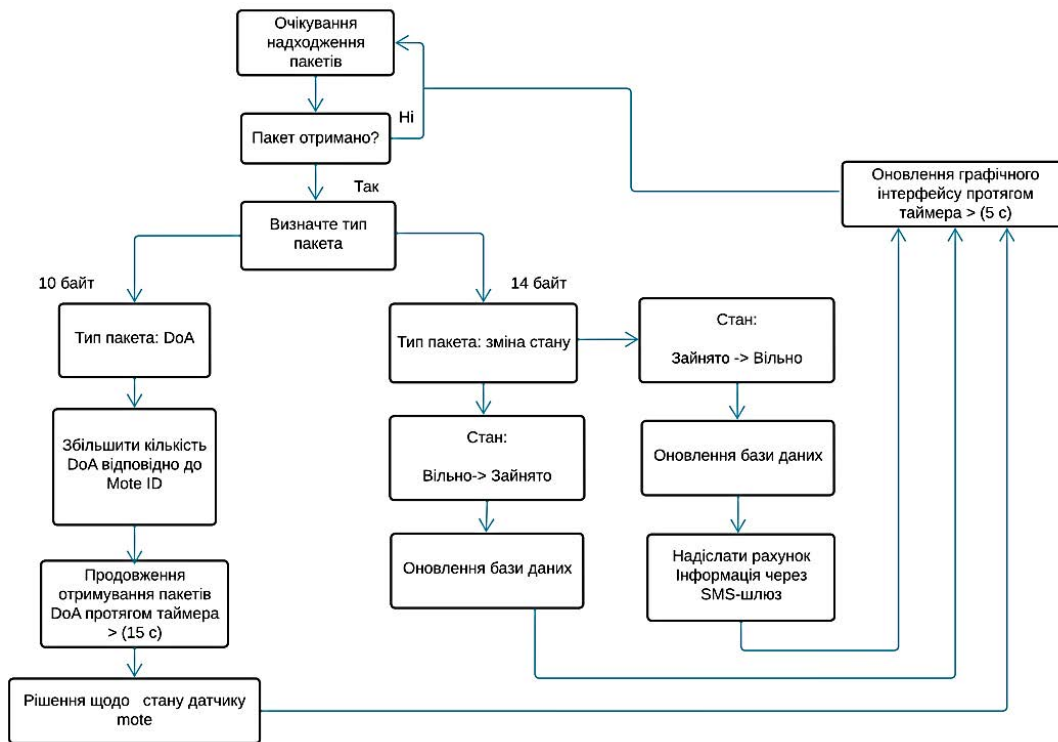


Рис. 5. Блок-схеми роботи системи на ЦНС

здатним підтримувати базу даних та інтерфейси з GSM-модемом.

Варіант впровадження блок-схеми роботи системи на ЦНС та на сенсорній мітці показані на рис. 5 та рис. 6 відповідно. Для визначення наявності/відсутності транспортного засобу на паркувальному місці пропонується використовувати метод вимірювання освітленості за допомогою датчика освітленості. Для того, щоб переконатися, що світло падає тільки в нормальному напрямку, розміщуємо датчик в центрі паркувального місця

у фізичному корпусі під поверхнею землі, для запобігання фізичних пошкоджень.

Коли транспортний засіб проїжджає біля датчика, кількість навколишнього світла змінюється. Використовуючи цей принцип і порівнюючи інтенсивність світла з відповідним пороговим значенням, приймається рішення про те, чи припаркований транспортний засіб. Адаптивний алгоритм порогового значення використовується для встановлення світлового порогового значення на основі поточних умов освітлення.

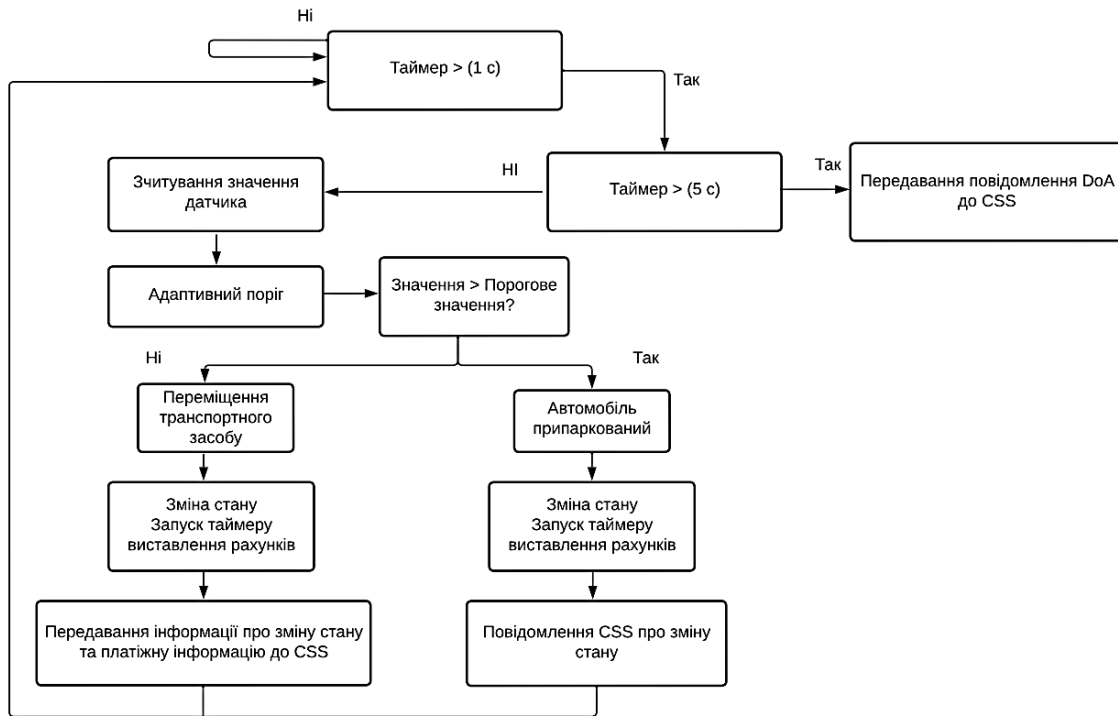


Рис. 6. Діаграма потоку на сенсорній мітці

У паркувальному майданчику умови освітлення не залишаються незмінними протягом певного періоду часу, тому необхідно застосувати адаптивний алгоритм порогових значень завдяки якому система адаптується до змінних умов освітлення. Датчик відстежує і записує показники освітленості протягом фіксованого інтервалу часу. Записані дані усереднюються і порівнюються з попереднім пороговим значенням, що робить систему інтелектуальною і дозволяє їй адаптуватися до змінних умов освітлення навколишнього середовища.

Для визначення та контролю енергозбереження, проведено відстежування рівня заряду батареї на сенсорному датчику за шляхом вимірювання потенціалу напруги батареї і передаючи ті ж самі показники в аналого-цифровий перетворювач. Як тільки потенціал напруги батареї досягає 0,9 В [13], індикація низького заряду батареї передається до ЦНС. ЦНС оновлює дані у своїй базі та відображає стан низького заряду батареї на графічному інтерфейсі.

Для того, щоб ЦНС відстежував стан батареї датчика необхідно передбачити передачу сигналу кожні 5 секунд. Інформація про всі датчики зберігаються в базі даних у ЦНС, а рішення про працездатність приймається шляхом усереднення трьох послідовних зчитувань.

Радіопередача інформації на сенсорні датчики споживає найбільше енергії батареї, щоб змен-

шити надмірне споживання батареї через повторні передавання пакету даних, необхідно передавати повідомлення про зайнятість тільки тоді, коли відбувається зміна стану (коли транспортний засіб заїжджає або виїжджає з паркувального місця). Таким чином, увімкнення сенсорів відбувається тільки при зміні стану, що значно зменшує енергоспоживання. Як тільки повідомлення передано у ЦНС, радіоприймач на датчику переходить у сплячий режим і увімкнеться тільки після того, як відбувається зміна стану, або коли потрібно передати повідомлення про заряд батареї.

**Висновки.** Проаналізований проєкт дозволяє продемонструвати можливість використання БСМ для смарт паркінгу. Запропонована система повністю автоматизована, енергоефективна та економічно ефективна, оскільки використовується лише один датчик освітленості з адаптивним пороговим алгоритмом який є надійним у виявленні присутності/відсутності автомобіля.

Оскільки не передбачено складних механізмів маршрутизації дана система реалізує для зв'язку з ЦНС (диспетчерською) метод широкосмугового зв'язку, який є більш простим та енергоефективним на відміну від одноадресної передачі, яка має більш високе енергоспоживання через додаткові витрати на пакети. Також запропоновано новий підхід до зв'язування слоту, часу напрямку та білінгової інформації з мобільним номером користувача через SMS.

## Список літератури:

1. Ahmada W., Pervez U., Qadirb J. Reliability modeling and analysis of communication networks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2017. № 78. P. 191–215. DOI: 10.1016/j.jnca.2016.11.008.
2. Muhammad Abidin M., Pulungan R. Systematic Review of Machine-vision-based Smart Parking Systems. *Scientific Journal of Informatics*. 2020. № 7. P. 213–227. DOI:10.15294/sji.v7i2.25654.
3. Ahmed A., Tawfeeq S., Yahia F., Husam L. An Intelligent Smart Parking System Using Convolutional Neural Network. *Journal of Sensors*. 2022. P. 78–97. DOI:10.1155/2022/7571716.
4. Hakim I., Christover D., Marinda A. Implementation of an Image Processing Based Smart Parking System Using Haar-Cascade Method. *Symposium on Computer Applications & IE*. 2019. P. 222–227. DOI: 10.1109/ISCAIE.2019.8743906.
5. Olaniyi O., Ahmed M. Developing Smart Car Parking System Using Wireless Sensor Networks. *OcRI*. 2016. P. 201–206. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-1755/201-206.pdf> (дата звернення: 7.03.2023).
5. Hasan F., Vijay P., Johan H., Roger G. Smart Parking Tools Suitability for Open Parking Lots: A Review. *International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*. 2018. P. 599–609. DOI:10.5220/0006812006000609.
6. Hilmani A., Maizate A., Hassouni L. Designing and Managing Smart Parking System Using Wireless Sensor Networks. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2018. № 7. P. 1–20. DOI:10.3390/jsan7020024.
7. Jihoon Y., Jorge P., Teresa R. Smart parking service based on Wireless Sensor Networks. *Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*. 2012. P. 157–165. DOI: 10.1109/IECON.2012.6389096.
8. Wang Ch. Smart parking by using sensor network. *Computational algorithms and numerical dimensions*. 2022. №1. 126–129. URL: [https://www.journal-cand.com/article\\_161804\\_3c2f264ed04a83a2162a5237cdaeb547.pdf](https://www.journal-cand.com/article_161804_3c2f264ed04a83a2162a5237cdaeb547.pdf).
9. Zajam, A., Dholay, S. Detecting Efficient Parking Space Using Smart Parking. *International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies*. 2018. P. 1–7. DOI: 10.1109/ICCCNT.2018.8493964.
10. Bulan O., Loce W., Wang Y., Bernal E., Fan Z. Video-based real-time on-street parking occupancy detection system. *Electronic Imaging*. 2013. №. 22 (4). P.1–15. DOI:10.1117/1.JEL.22.4.041109.
11. Farkas K., Lendak I. Simulation environment for investigating crowd-sensing based urban parking. *In Intl Conf on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems*. 2015. P. 320–327. DOI: 10.1109/MTITS.2015.7223274.
12. Jung H., Cho Y., Yoon P., Kim J. Scanning laser radar-based target position designation for parking aid system. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2008. №. 9 (3). P. 406–424. DOI: 10.1109/TITS.2008.922980.
13. Maniraji R., Farahana I. Integration of Wireless Sensor Network Based Smart Parking Management System for APU. 14th International Conference on Developments in eSystems Engineering. 2021. P. 136–144. DOI: 10.1109/DeSE54285.2021.9719532.
14. Darmawan M., Hadiyoso S., Dyah I. Implementation of Low Resource Parking Information System Prototype Based on Wireless Sensor Network. *Journal of Communications* 2022. №. 17. P. 919–924. DOI: 10.12720/jcm.

### Kononova I.V., Samus D.V. ANALYSIS OF THE OPTION OF IMPLEMENTING AN ENERGY-EFFICIENT SMART PARKING BASED ON A WIRELESS SENSOR NETWORK

*The article is devoted to the analysis of the option of developing intelligent parking (smart parking) using a wireless sensor network, this topic is attracting more and more attention in the world of modern technology, smart parking uses advanced technologies and innovations to improve parking efficiency. The density of parking in a city can be a limitation for urban redevelopment and can lead to an increase in vehicles as well as a reduction in public transportation. It is determined that the elimination of unnecessary parking areas is a priority for smart cities to create better urban planning. If drivers have access to real-time information about the availability of parking spaces, they can adjust their travel schedule without wasting time moving around the city in search of them.*

*Smart parking is a way to help drivers find convenient parking spots more efficiently using information and communication technologies. Drivers can reduce the time spent searching for a parking space, reduce environmental pollution, lower costs through lower fuel consumption, and reduce traffic congestion through information from smart parking apps. Moreover, the deployment of smart parking involves the deployment of many sensors in cities and overcoming the current challenges of sensor management, which can become a leading paradigm for smart cities.*

*The article proposes a variant of a smart parking solution based on wireless networks and other modern technologies. Such parking lots provide the ability to monitor and manage parking spaces in real time, which allows for optimal utilization of parking spaces and avoidance of traffic jams.*

*The connection of this problem with scientific and practical tasks is that the development of effective parking management technologies can help reduce traffic congestion and ensure more efficient use of urban areas. In addition, it can contribute to the economic development of cities.*

**Key words:** smart parking, wireless sensor networks, energy saving, device reliability, lighting sensors.

**Крочак В.І.**

Приватне підприємство «Галіт»

**Яськів В.І.**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

## ВИКОРИСТАННЯ ОБМЕЖЕНОГО ПРОПОРЦІЙНОГО РЕЖИМУ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ІНФОРМАТИВНОСТІ РАДІОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАВАЧА ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

*Стаття направлена на підвищення інформативності радіометричних вимірювань. Проведено аналіз існуючих методів. Виявлено їхні недоліки. Встановлено, що радіометричні та дозиметричні вимірювання за допомогою давачів Гейгера-Мюллера потребують мінімальної кількості затрат, але є при цьому малоінформативними і не дозволяють визначати тип та енергію випромінювання прямими методами.*

*З метою підвищення інформативності радіометричних вимірювань при мінімальних затратах запропоновано використання давача Гейгера-Мюллера у обмеженому пропорційному режимі роботи, який на сьогодні не є типовим при його використанні, але в подальшому це дозволило використати методи спектрометрії для аналізу типу випромінювання.*

*Визначено, що для введення давача Гейгера-Мюллера у обмежений пропорційний режим, необхідне використання нижчої напруги живлення у порівнянні з номінальним значенням. Для забезпечення відтворюваності форми імпульсів у такому режимі необхідне живлення з високою стабільністю і лінійністю напруги.*

*При впливі на давач Гейгера-Мюллера іонізуючого випромінювання, що породжене різними джерелами, було зібрано ансамблі реалізацій окремих імпульсів на виході установки. Використано метод синхронного усереднення для збільшення інформативності та зменшення шумності імпульсів, породжених різними типами іонізуючого випромінювання.*

*Шляхом гармонічного аналізу усереднених імпульсів на виході давача Гейгера-Мюллера виявлено відмінність у спектральній густині потужності, яка потенційно може дозволити розрізняти імпульси, породжені  $\beta$ -випромінюванням або  $\gamma$ -випромінюванням у режимі реального часу.*

*Використовуючи цю відмінність в поєднанні зі швидким перетворенням Фур'є, яке може бути реалізоване апаратно або програмно, є ймовірність успішної реалізації розпізнавання імпульсів на виході давача Гейгера-Мюллера.*

**Ключові слова:** іонізуюче випромінювання, радіометрія, дозиметрія, Гейгера-Мюллера, обмежений пропорційний режим, синхронне усереднення, гармонічний аналіз.

**Постановка проблеми.** Радіометричні та дозиметричні вимірювання є важливою складовою забезпечення радіаційної безпеки населення. Іонізуюче випромінювання здатне здійснювати деструктивний вплив на здоров'я людини, але при цьому не може бути виявлене без спеціальних вимірювальних інструментів.

Існує велика кількість методів детектування іонізуючого випромінювання, таких сцинтиляційний та іонізаційний, які отримали найбільше поширення у зв'язку їх високою ефективністю і придатністю до серійного виробництва. Сцинтиляційний метод дозволяє досягнути високої інформативності і розділової здатності вимірювань. Окрім можливості розрізняти тип випромінювання, сцинтиляційні пристрої здатні з високою точністю вимірювати енергію частинок, що

робить можливим створення різного роду спектрометрів. Але такі пристрої відрізняються великою ціною, габаритами і потребою в постійному обслуговуванні, що робить їх практично недоступними для побутових споживачів [3, с. 219-247].

Іонізаційний метод дозволяє робити дешеві, надійні та компактні пристрої для вимірювання радіації, але не може забезпечити такої розділової здатності і широкого діапазону, як попередній. Для вимірювання енергії випромінювання та спектрометрії використовуються іонізаційні пропорційні давачі, які також недоступні для побутового споживача і потребують точного калібрування та джерела живлення високої якості [4]. Дозиметричні вимірювання часто виконуються за допомогою давачів Гейгера-Мюллера, що призначені для рахунку кількості імпульсів іонізую-

чого випромінювання без визначення їх якісних параметрів. Давачі Гейгера-Мюллера стали одним з найбільш масових та дешевих рішень для дозиметричних та радіометричних вимірювань, але нездатність відрізняти типи іонізуючого випромінювання та/або його енергію робить такі пристрої неповноцінними та неточними [5, 6]. Щоби розрізнити тип випромінювання, який впливає на давач класично використовується метод екранування: випромінювання перекривається ізолюючим матеріалом або полем, що відсікає один або декілька типів випромінювання [2]. Надалі за допомогою математичних обчислень визначають параметри кожного з видів випромінювання. Цей метод є простим та ефективним, але оскільки таке вимірювання є непрямим, зростає методична похибка і частина інформації втрачається.

Створення методу, завдяки якому подібні вимірювання з використанням давача Гейгера-Мюллера могли надавати інформацію про тип та енергію випромінювання може вдосконалити радіометрію та дозиметрію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження в галузі радіометричних та дозиметричних вимірювань за допомогою іонізаційних методів головним чином спрямовані на виявлення залежності між напругою живлення давача і формою імпульсів на виході [7] або впливу мертвого часу на ефективність і якісні показники [8, 9, 10].

У роботі [7] розглянуто, яким чином зміна напруги живлення давача може впливати на форму вихідних імпульсів. Зазначається, що ширина імпульсів та тривалість гасіння знижується при зростанні напруги живлення, а амплітуда імпульсів монотонно зростає [7, с. 271]. Були розглянуті імпульси, спричинені фоновою радіацією, від  $^{60}\text{Co}$  який є джерелом  $\beta$ -випромінювання, а також від  $^{137}\text{Cs}$ , що є джерелом  $\gamma$ -випромінювання. Висвітлено, яким чином змінюються параметри вихідних імпульсів для різних джерел при різній напрузі живлення давача Гейгера-Мюллера моделі 133-2 «Ludlum measurements». Для дослідів використано давач, що має номінальну напругу живлення 550 В. У роботі [7] не поставлено на меті дослідження часових і спектральних представлень вихідних імпульсів для задачі підвищення інформативності вимірювань.

У роботі [9] розглядається зміна мертвого часу і швидкості рахунку давача Гейгера-Мюллера при впливі різних джерел з різною активністю зі зміною напруги живлення. Використано давач моделі 44-7 «Ludlum measurements» з напругою живлення 900 В. Описується, що вказаний давач

проявляє максимальне значення мертвого часу в діапазоні напруг живлення 700–750 В. Після цих значень мертвий час починає знижуватись по експоненті, поки не досягає найнижчого асимптотичного значення, яке зазначається у технічній документації [9, с. 13]. Параметри і форма самих вихідних імпульсів роботі [9] не розглядається.

Робота [10] розглядає використання пропорційного давача, що працює на гелієво-ізобутановій суміші газів в режимі давача Гейгера-Мюллера. До вказаного давача прикладається підвищена напруга, що теоретично має ввести його у режим Гейгера-Мюллера. Надані форми імпульсів на виході давача у різних режимах, але при цьому їх окремі параметри і сутність не розглядається як джерело інформації для вимірювань.

**Формулювання цілей статті.** Ідеєю статті є обґрунтування можливості використання давачів Гейгера-Мюллера у обмеженому пропорційному режимі роботи для підвищення інформативності радіометричних вимірювань. Такий режим роботи не є типовим для давачів Гейгера-Мюллера, тому що детектування відбувається при заниженій напрузі живлення. При цьому виникають початкові можливості для оцінювання енергії випромінювання [3, с. 160-161]. Можливе збільшення мертвого часу давача, як це описано у [9], але це головним чином може вплинути лише на граничну швидкість рахунку [5, с. 5].

Пропонується використовувати гармонічний аналіз вихідних імпульсів давача Гейгера-Мюллера для виявлення інформативних ознак, що вказують на тип та енергію випромінювання. Таким чином може виникнути можливість реалізації розпізнавання типу діючого випромінювання в режимі реального часу прямими вимірювальними методами. При цьому пропонується використання дешевого і широкодоступного давача Гейгера-Мюллера СБМ-20.

**Виклад основного матеріалу. Радіометрична установка і режим роботи давача Гейгера-Мюллера (далі-ДГМ).** Використано ДГМ моделі СБМ-20, який знаходиться у свинцевому екрані. Всередині екрану знаходиться пластикова ємність для утримування та завантажування активного зразка в зону детектування. На рис. 1 зображено структурну схему радіометричної установки:

На цій схемі: *Блок живлення та реєстрації* – живить ДГМ та знімає вихідний сигнал. За допомогою цього вузла режим роботи можна змінювати.

*Атенюатор* – схема узгодження напруг та опорів між блоком живлення та реєстрації і *пристроєм запису*.

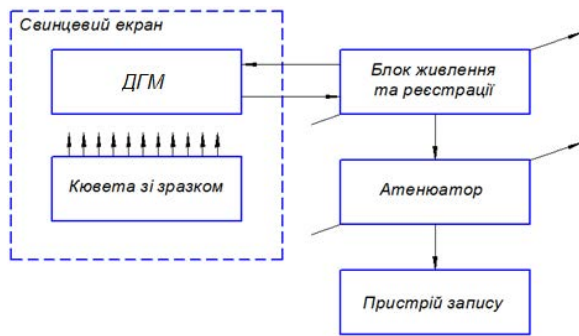


Рис. 1. Структурна схема радіметричної установки

Створюючи умови для розпізнавання сигналів, породжених різними видами випромінювання, не можна використовувати нпаруги живлення, що відповідають ділянці Гейгера-Мюллера, оскільки імпульси не будуть відрізнятися по формі, незалежно від того, який вид чи енергія випромінювання діє на давач [6].

Отже, прийнято рішення знизити напругу живлення ДГМ нижче номінальних значень задля введення його у обмежений пропорційний режим, що може викликати відмінності у формі імпульсів при впливі різних типів та енергій випромінювання.

Лічильна характеристика давача СБМ-20 наведена на рис. 2.

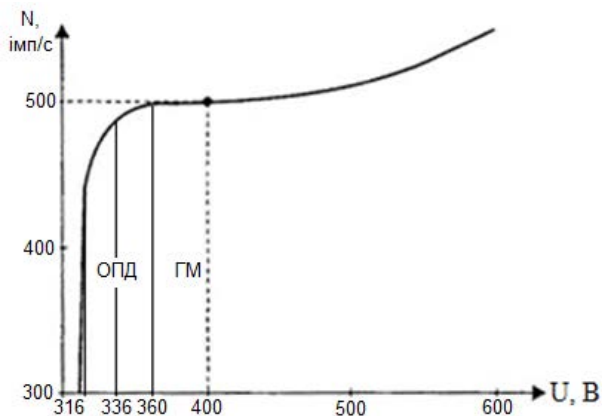


Рис. 2. Лічильна характеристика СБМ-20

З рисунку видно, що СБМ-20 починає ефективно реєструвати випромінювання починаючи з напруги близько 320 В. Номінальна напруга живлення становить 400 В. Обирається напруга 336 В для введення ДГМ у обмежений пропорційний режим. Для роботи у такому режимі ДГМ потребує високої точності напруги живлення, оскільки її коливання можуть призводити до значної зміни робочої точки на лічильній характеристиці. Прецизійні високоефективні керовані джерела електроживлення з високою якістю вихідної напруги,

з високим рівнем динамічних характеристик та низьким рівнем електромагнітних завад можуть бути реалізовані на основі високочастотних магнітних підсилювачів [12, 13, 14, 15, 16].

Пропорційний режим для цього ДГМ практично неможливий внаслідок великої крутизни цієї ділянки (див. рис. 2).

Теоретично ДГМ перебуває всередині обмеженої пропорційної ділянки, але це припущення потребує перевірки. Для цього ДГМ опромінюється  $\beta$ -випромінюванням від активного джерела  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$ . Це джерело має дві основні енергетичні лінії: 0,5459 MeV від  $^{90}\text{Sr}$  і 2,28 MeV від  $^{90}\text{Y}$  [11].

За амплітудою напруг вихідних імпульсів ДГМ і частотою їх виникнення формується гістограма, наведена на рис. 3.

На рис. 3 видно два піки частоти виникнень на 603 мВ і 769 мВ. Джерело випромінює приблизно однаковий потік цих енергетичних ліній, але оскільки обраний ДГМ є нечутливим до м'якого  $\beta$ -випромінювання, низько енергетична лінія 0,5459 MeV від  $^{90}\text{Sr}$  зазнає затухання у 19 разів.

Розмістивши відомі енергії та амплітуди напруг імпульсів на координатній площині та виконавши екстраполяцію, можна отримати детектувальну характеристику радіметричної установки (рис. 4).

З рис. 4 видно, що експоненційна екстраполяція має високу достовірність апроксимації  $R^2 = 1$ , це дозволяє припустити, що детектувальна характеристика установки є експоненційною. Така характеристика відповідає обмеженому пропорційному режиму роботи ДГМ.

**Вивчення імпульсів на виході ДГМ.** При впливі на ДГМ лише фонового випромінювання, зібрано ансамбль реалізацій окремих імпульсів. Шляхом синхронного усереднення (СУ) отримано усереднений імпульс, який містить у собі інформацію 20 окремих реалізацій. Використовуючи такий метод також знижується рівень шумності окремих реалізацій.

На рис. 5 можна побачити усі етапи процесу реєстрації іонізуючого променя: а-б – первинна іонізація, яка викликає коливальний процес у ДГМ внаслідок наявності у останнього паразитних ємності та індуктивності, б-в – різке зростання струму через ДГМ внаслідок виникнення лавини Таунсенда, в-г – процес самогасіння ДГМ.

Відмінності у формі сигналу можуть бути виявлені на будь-яких ділянках у зв'язку з обраним режимом роботи ДГМ.

Застосовуючи цей самий набір методів, формуються усереднені імпульси для  $\beta$ -випромінювання від двох джерел:  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  та  $^{40}\text{K}$ . Знаючи форму



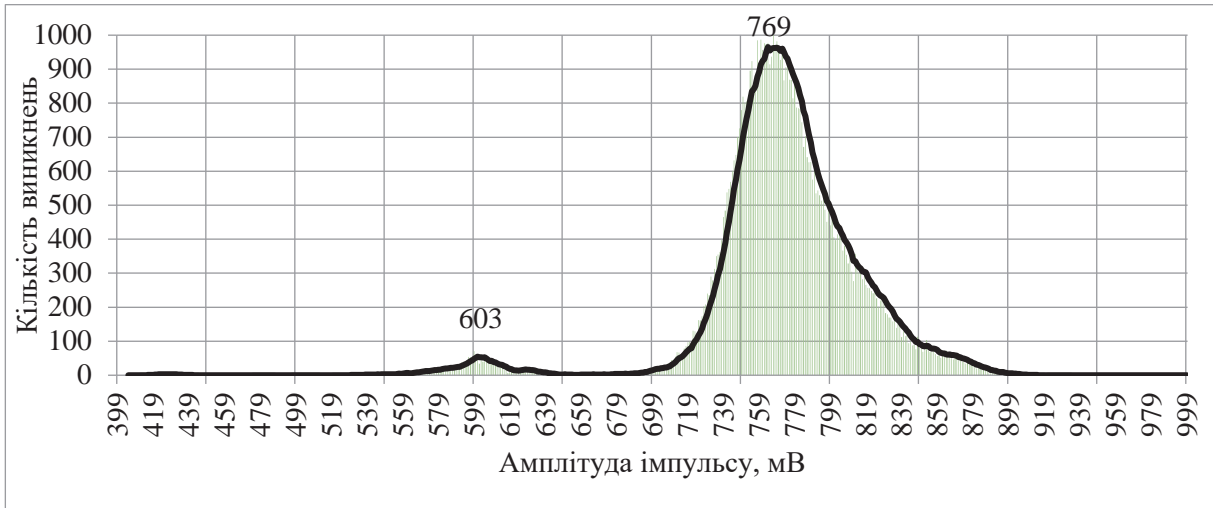


Рис. 3. Гістограма частоти виникнення амплітуд імпульсів при впливі зразка  $^{90}\text{Sr}$ - $^{90}\text{Y}$  на ДГМ

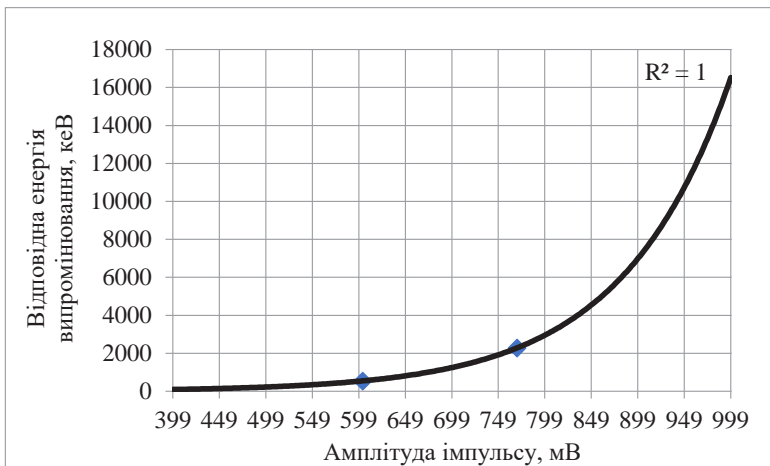


Рис. 4. Детектувальна характеристика радіометричної установки

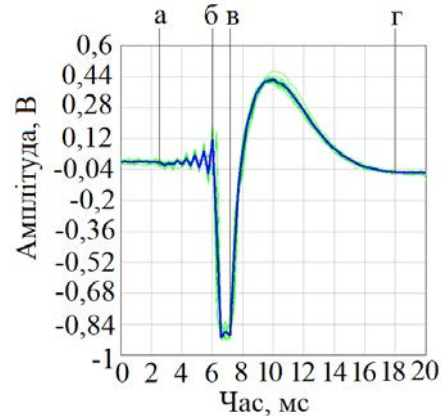


Рис. 5. Усереднений імпульс при впливі на ДГМ  $\gamma$ -випромінювання

імпульсів, що породжені фоновим випромінюванням, вони не входять до вибірки ансамблю і не впливають на дослідження. Окрім того, швидкість рахунку імпульсів від джерел набагато вища за фон.

Для усереднених імпульсів, породжених фоновим  $\gamma$ -випромінюванням і  $\beta$ -випромінюванням від двох джерел з різними енергетичними лініями виконується гармонічний аналіз задля вивчення не лише часового представлення імпульсів, але і спектрального. На рис. 6 приведено часове і спектральне представлення усереднених сигналів:

На рис. 6 можна побачити відмінності у формі і спектральному представленні імпульсів. Так, на малюнку (б) бачимо виразний провал спектральної густини потужності на частоті близько 2,19 кГц. Цей провал в межах дослідження був

типовим для випадків реєстрації  $\gamma$ -випромінювання. При реєстрації  $\beta$ -випромінювання від двох наявних джерел форма імпульсу мала відмінності не лише за амплітудою, але за формою імпульсів, що відобразилось на спектрі сигналу: на частоті 2,19 кГц провал не спостерігається (див. рис. 6, малюнки г, е).

Для більш наглядної демонстрації відмінностей у спектрі сигналів сформовано зведену періодограму усіх усереднених імпульсів (рис. 7).

Відмінність між амплітудами на частоті 2,19 кГц становить близько 9 дБ, чого достатньо для виявлення відмінності між імпульсами.

Відносна похибка в межах вибірок за рівнем амплітуди на частоті 2,19 кГц (при t-критерії 2,093) складала: для  $\gamma$ -випромінювання – 2,35%, для  $\beta$ -випромінювання 1,23%.

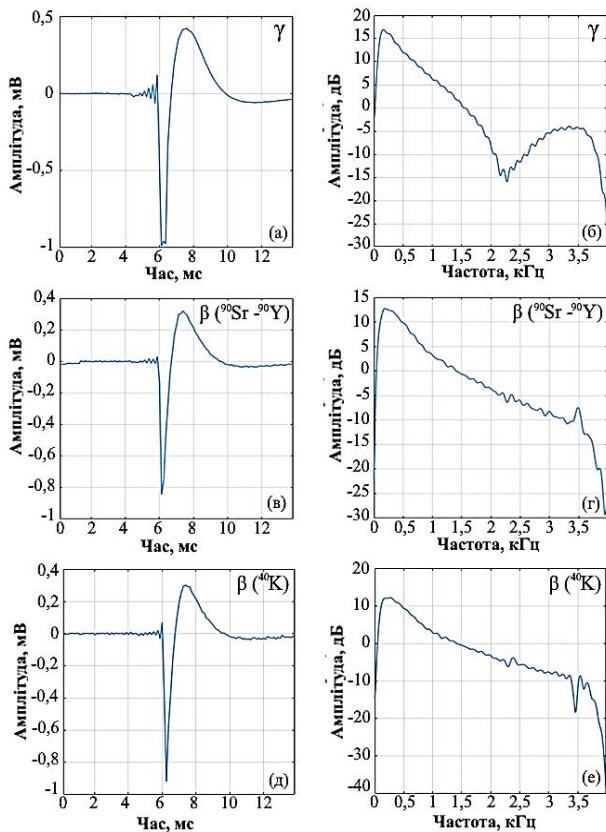


Рис. 6. Часове і спектральне представлення імпульсів, породжених різними типами іонізуючого випромінювання

За основну відмінність між імпульсами прийнято вважати таку відмінність у спектральній густині потужності, оскільки тривалість, амплітуда імпульсу може суттєво залежати від зовнішніх чинників.

**Висновки.** В результаті дослідження було обґрунтовано можливість застосування ДГМ у обмеженому пропорційному режимі для підвищення інформативності радіометричних вимірювань. Було використано ДГМ моделі СБМ-20.

Шляхом заниження напруги живлення (336 В замість номінальних 400 В) пристрій було введено у обмежений пропорційний режим, що було

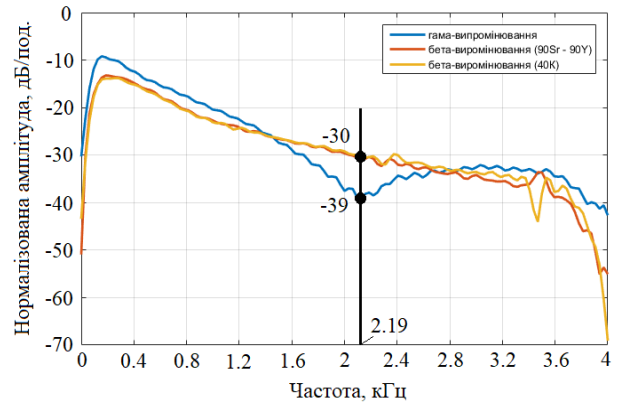


Рис. 7. Зведена періодограма усереднених імпульсів

підтверджено шляхом експериментального визначення детектувальної характеристики, опромінюючи ДГМ джерелом  $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ .

Складено ансамблі реалізацій окремих імпульсів на виході ДГМ для різних типів та енергій випромінювання:  $\gamma$ -випромінювання представлене фоновою радіацією,  $\beta$ -випромінювання – двома активними джерелами:  $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$  та  $^{40}\text{K}$ , які мають різні енергії. Шляхом синхронного усереднення складено усереднені імпульси, які містять у собі інформацію усієї вибірки, а також мають знижену шумність. Був проведений гармонічний аналіз усереднених сигналів, за допомогою якого виявлено можливу відмінність між імпульсами, породженими різними типами випромінювання: на частоті сигналу 2,19 кГц для  $\gamma$ -випромінювання виявлено провал спектральної густини потужності, який не спостерігається для  $\beta$ -випромінювання.

Виявлені результати потребують подальшої апробації та спроби практичної реалізації розпізнавання типу випромінювання в режимі реального часу використовуючи швидкі методи спектрального аналізу. Є потреба у проведенні випробувань з більшою кількістю активних джерел іонізуючого випромінювання та з іншими моделями ДГМ для підтвердження системності і відтворюваності отриманих результатів.

### Список літератури:

1. Крочак В. І. Метод розпізнавання імпульсів іонізуючого випромінювання для підвищення інформативності радіометричних вимірювань : кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю „172 — телекомунікації та радіотехніка“ / В. І. Крочак. – Тернопіль : ТНТУ, 2020. – 78 с. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/33246> (дата звернення: 12.05.2023).
2. RADIATION DETECTION OF ALFA, BETA, AND GAMMA RAYS WITH GEIGER MULLER DETECTOR. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) : матеріали Міжнар. наук. конф., 9 листоп. 2018 р. 2018. С. 21–27. URL: [http://eprints.unmus.ac.id/247/1/IJMET\\_09\\_11\\_003.pdf](http://eprints.unmus.ac.id/247/1/IJMET_09_11_003.pdf) (дата звернення: 12.05.2023).
3. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurement. 4-те вид. Ann Arbor, Michigan : University of Michigan, 2010. 830 с. URL: <https://indico-tdli.sjtu.edu.cn/event/171/contributions/2123/attachments/982/1592/Knoll4thEdition.pdf> (дата звернення: 12.05.2023).

4. Pfeffermann E. Proportional Counters. *The Universe in X-Rays. Berlin, Heidelberg, 2008.* С. 5–14. URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-34412-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-34412-4_2) (дата звернення: 14.05.2023).
5. Leon F. Curtiss. The Geiger - Müller a Counter. Phoenix : *National Bureau of Standards*, 1950. 27 с.
6. GERALD J. HINE, GORDON L. BROWNELL. RADIATION DOSIMETRY. 5-те вид. New York : *Academic Press Inc.*, 1956. 253 с.
7. Pulse Shape Dependence on Applied Voltage of Geiger-Mueller Detector / В. Almutairi та ін. *Sensors and Electronic Instrumentation Advances* : матеріали Міжнар. наук. конф., м. Adaje, 25–27 верес. 2019 р. С. 270–275.
8. Lee J. H., Kim I. J., Choi H. D. On the dead time problem of a GM counter. *Applied Radiation and Isotopes*. 2009. Т. 67, № 6. С. 1094–1098. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2009.01.074> (дата звернення: 12.05.2023).
9. Experimental evaluation of the deadtime phenomenon for GM detector: deadtime dependence on operating voltages / В. Almutairi та ін. *Scientific Reports*. 2020. Т. 10, № 1. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75310-3> (дата звернення: 14.05.2023).
10. Golovatyuk V., Grancagnolo F. Observation of transition between proportional and Geiger–Müller modes in helium–isobutane gas mixtures. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. 1999. Т. 428, № 2-3. С. 367–371. URL: [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(99\)00046-7](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(99)00046-7) (дата звернення: 14.05.2023).
11. Wapstra A. H., Audi G., Thibault C. The Ame2003 atomic mass evaluation. *Nuclear Physics A*. 2003. Т. 729, № 1. С. 129–336. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysa.2003.11.002> (дата звернення: 17.05.2023).
12. Yaskiv V. Using of high-frequency magnetic amplifier in switch mode DC power supplies. *2004 IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference*, м. Aachen, Germany. URL: <https://doi.org/10.1109/pesc.2004.1355675> (дата звернення: 15.05.2023).
13. Yaskiv V. MagAmp power converters with low level EMI / Volodymyr Yaskiv, Alexander Abramovitz, Keyue Smedley // XIIIth International Conference. *The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM 2013)*. — Lviv, Polyana, Ukraine, 2013. — P. 388–395.
14. Yaskiv V. Modular High-Frequency MagAmp DC-DC Power Converter / Volodymyr Yaskiv, Anatoliy Martseniuk, Anna Yaskiv, Oleg Yurchenko, Bohdan Yavorsky // *2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*. — Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019. — P. 213–216.
15. Synchronous Rectifier in High-Frequency 24V/15A MagAmp Power Converter / V. Yaskiv та ін. *2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, м. Istanbul, Turkey, 7–11 верес. 2020 р. 2020. URL: <https://doi.org/10.1109/ieps51250.2020.9263190> (дата звернення: 17.05.2023).
16. Yaskiv V., Anna Yaskiv, Oleg Yurchenko. Synchronous rectification in High-Frequency MagAmp Power Converters. *Advanced Computer Information Technologies Proceedings of the International Conference Advanced Computer Information Technologies* : матеріали Міжнар. наук. конф., Ceske Budejovice, 1–3 June 2018. Ceske Budejovice, 2018. С. 128–131. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2300/> (дата звернення: 17.05.2023).

#### **Krochak V.I., Yaskiv V.I. USING THE LIMITED PROPORTIONAL MODE TO INCREASE THE INFORMATIVENESS OF RADIOMETRIC MEASUREMENTS WITH THE GEIGER-MÜLLER DETECTOR**

*The article is aimed at increasing the informativeness of radiometric measurements. An analysis of existing methods was carried out. Their shortcomings are revealed. It has been established that radiometric and dosimetric measurements using Geiger-Müller detectors require a minimum amount of costs, but are at the same time uninformative and do not allow determining the type of energy and radiation by direct methods.*

*In order to increase the informativeness of radiometric measurements at minimal costs, the use of a Geiger-Müller sensor in a limited proportional mode of operation is proposed, which is not typical for its use today, but in the future, it allowed to use of spectrometry methods to analyze the type of radiation.*

*It was determined that in order to enter the Geiger-Muller sensor into the limited proportional mode, it is necessary to use a lower supply voltage compared to the nominal value. To ensure the reproducibility of the pulse shape in this mode, a power supply with high voltage stability and linearity is required.*

*When the Geiger-Müller detector was exposed to ionizing radiation generated by various sources, ensembles of realizations of individual pulses at the output of the installation were collected. The method of synchronous averaging was used to increase informativeness and reduce the noise of pulses generated by various types of ionizing radiation.*

*Harmonic analysis of the averaged pulses at the output of a Geiger-Muller detector revealed a difference in power spectral density that could potentially allow discrimination of pulses generated by  $\beta$ -radiation or  $\gamma$ -radiation in real-time.*

*Using this difference in combination with a fast Fourier transform, which can be implemented in hardware or software, there is a possibility of successfully implementing pulse recognition at the output of a Geiger-Müller sensor.*

**Key words:** ionizing radiation, radiometry, dosimetry, Geiger-Müller, limited proportional mode, synchronous averaging, harmonic analysis.

**Могилевич Д.І.**

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

**Сінько В.В.**

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

**Тихонов М.В.**

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

## МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ОБ'ЄКТІВ КОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ З КОМБІНОВАНИМ РЕЗЕРВОМ ЧАСУ

*Стаття присвячена розробці моделей надійності об'єктів комунікаційного обладнання з комбінованим резервом часу. Сучасні інформаційно-комунікаційні мережі складаються з об'єктів комунікаційного обладнання, які можна представити складними апаратно-програмними комплексами. Програмні засоби мають помітний вплив на надійність функціонування об'єктів комунікаційного обладнання, оскільки відмови та збої програмних засобів часто призводять до не менш тяжких наслідків, ніж відмови апаратної (технічної) частини. Визначено, що об'єктом теоретичного дослідження є процеси функціонування комунікаційного обладнання в умовах обмеженої надійності програмних засобів з метою побудови моделей надійності об'єктів з урахуванням використання комбінованого резерву часу для компенсації наслідків відмов. В залежності від наслідків відмови програмних засобів можуть бути незнецінені, частково знецінені та повністю знецінюють попереднє напрацювання. Отримано сукупність нових розрахункових формул (моделей надійності) для основних показників надійності системи з комбінованим резервом часу, наукова новизна яких визначається сумісним використанням поповнюваного та непоповнюваного резервів часу та комплексним урахуванням різних типів збоїв та стійких відмов технічних та програмних засобів комунікаційного обладнання (незнецінюючих або повністю знецінюючих попереднє напрацювання). Для досягнення мети дослідження запропоновано декомпозицію загальної математичної моделі функціонування системи з комбінованим резервом часу на дві взаємопов'язані окремі моделі: перша – модель регенеруючого випадкового процесу для аналізу надійності функціонування об'єкта з поповнюваною складовою резерву часу, результат дослідження якої використовується у другій моделі – марківського процесу спеціального виду, що описує функціонування системи з непоповнюваною складовою з урахуванням обраного варіанту взаємодії між поповнюваною та непоповнюваною складовими і резервного часу, що забезпечує синтез окремих результатів дослідження цих моделей.*

**Ключові слова:** моделі надійності, комунікаційне обладнання, відмови, програмні засоби, комбінований резерв часу.

**Постановка проблеми.** Комунікаційне обладнання (КО) сучасних інформаційно-комунікаційних мереж (ІКМ) можна представити у вигляді апаратно-програмних комплексів (АПК), які включають в себе технічні та програмні засоби (ПЗ), що необхідні для забезпечення ефективного обміну інформацією між користувачами ІКМ. Відмови та збої ПЗ суттєво впливають на надійність функціонування комунікаційного обладнання ІКМ та можуть привести до не менш тяжких наслідків, ніж відмови технічних засобів. Для підвищення надійності КО можна використовувати часове резервування. Часове резервування пред-

ставляє собою метод забезпечення нормального функціонування технічних об'єктів різного призначення, які виконують певні завдання в умовах впливу випадкових факторів (відмов, збоїв, завад та інше), шляхом призначення та використання резервного (надлишкового) часу. На відміну від інших видів надлишковості (структурної, навантажувальної та інших) тут резервом є час. Цей резерв вноситься не в об'єкт, як, наприклад, при структурному резервуванні, а в порядок (алгоритм) використання (застосування) об'єкта [1, с. 26]. Отже, актуальним є підхід до оцінки надійності програмного забезпечення, за яким

визначається вплив відмов та збоїв програмних компонентів на загальну надійність функціонування КО, що мають в своєму складі різноманітні програмні засоби. Об'єктом теоретичного дослідження є процеси функціонування комунікаційного обладнання в умовах обмеженої надійності програмних засобів. Метою дослідження є побудова моделей надійності об'єктів КО з урахуванням використання комбінованого резерву часу для компенсації наслідків відмов.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [2–9] вітчизняних та закордонних вчених досліджувалися питання побудови математичних моделей та розвитку методів аналізу надійності технічних систем. У цих роботах основними напрямками є вивчення програмних помилок, виявлення причин, що призводять до їх виникнення, та наслідків їх прояву. Також розглядаються різні моделі оцінки надійності ПЗ, проводиться класифікація існуючих способів підвищення надійності програмних комплексів тощо. В наукових працях, які були розглянуті, практично відсутні результати, що стосуються вивчення впливу обмеженої надійності програмного забезпечення на надійність функціонування КО. Тому обґрунтованим та актуальним є вибір в якості напрямку дослідження розробки аналітичних моделей, що встановлюють зв'язок між показниками надійності функціонування об'єктів, характеристиками відмов програмних засобів та їх наслідків, а також сукупністю технічних параметрів об'єкта, що визначають умови його функціонування.

**Метою роботи** є отримання розрахункових аналітичних співвідношень, що встановлюють зв'язок між показниками надійності об'єктів КО з комбінованим резервом часу, характеристиками відмов програмних засобів та їх наслідків і параметрами процесу функціонування об'єктів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Комбінований резерв часу утворюється в тому випадку, коли в системі передбачені обмеження одночасно на час кожного ремонту і на сумарний час відновлення до виконання завдання. З методичної точки зору єдиний резерв часу зручно представити у вигляді двох складових: поповнювального  $t_d$  і непоповнювального  $t_p$  резерву. Джерела цих резервів часу по своїм внутрішнім властивостям можуть бути різними. Наприклад, наявність в системі першої складової (поповнювальної) забезпечується функціональною інерційністю, а наявність другої (непоповнювальної) – запасом по швидкодії.

Способи витрачання обох складових при відмовах об'єкта, а отже, і ефективність часового резервування, також можуть бути різними і визначаються взаємодією джерел резерву часу. В одних системах простій об'єкта на відновлення призводить одночасно до зменшення обох складових комбінованого резерву часу  $t_d(x)$  і  $t_p(x)$  та відмова системи виникає в момент  $T_0$  витрати хоча б одної складової. В інших системах непоповнювальна складова починає витрачатися лише після того, як час ремонту перевищує деяке допустиме значення, що визначається поповнювальною частиною резерву часу, і відмова системи виникає тоді, коли вичерпана непоповнювальна складова. Можливі й інші ситуації, що відображають особливості функціонування реальних систем.

Розглянемо задачу побудови моделей надійності об'єктів з комбінованим резервом часу в наступній постановці. Нехай при виконанні завдання тривалістю  $t_3$  в системі передбачено використання непоповнювального резерву часу  $t_p$  з додатковим обмеженням на час кожного ремонту об'єкта, яке не повинно перевищувати величину поповнювального резерву часу  $t_d$ . Будемо також вважати, що інтервали часу відновлення  $t_b$ , що не перевищує  $t_d$ , включаються в корисний час і не входять в сумарний час простою. Отже, непоповнювальна складова  $t_p$  резерву часу починає витрачатися лише тоді, коли  $t_b > t_d$ . В цьому випадку частина інтервалу  $t_b$ , що дорівнює  $t_d$ , включається в корисний час, а інша частина  $(t_b - t_d)$  – в сумарний час відновлення (рис. 1). Завдання буде виконаним, коли сумарний корисний час досягне величини  $t_3$  раніше, чим буде витрачена непоповнювальна складова  $t_p$  комбінованого резерву часу. Решта обмежень і припущень, які прийняті в попередніх параграфах для систем з непоповнювальним резервом часу, зберігаються.

Для розрахунку показників надійності системи необхідно задати вид функції розподілу (ФР)  $F(t)$ ,  $F_b(t)$  та їх параметри, тривалість завдання  $t_3$ , величину поповнювальної  $t_d$  і непоповнювальної  $t_p$  складових комбінованого резерву часу.

Розрахункові співвідношення для показників надійності системи (моделі надійності), що розглядається отримуємо з використанням інтегрального методу. Складемо рівняння відносно ймовірності безвідмовного функціонування системи. При  $t_3 < t_d$  можливість відмови (зриву функціонування) системи відсутня і тому

$$P(t_3, t_p, t_d) = 1, \quad t_3 < t_d.$$

При  $t_3 \geq t_d$  ймовірність безвідмовного функціонування можна представити у вигляді суми ймовірностей трьох несумісних подій  $A_1$ ,  $A_2$  і  $A_3$ .

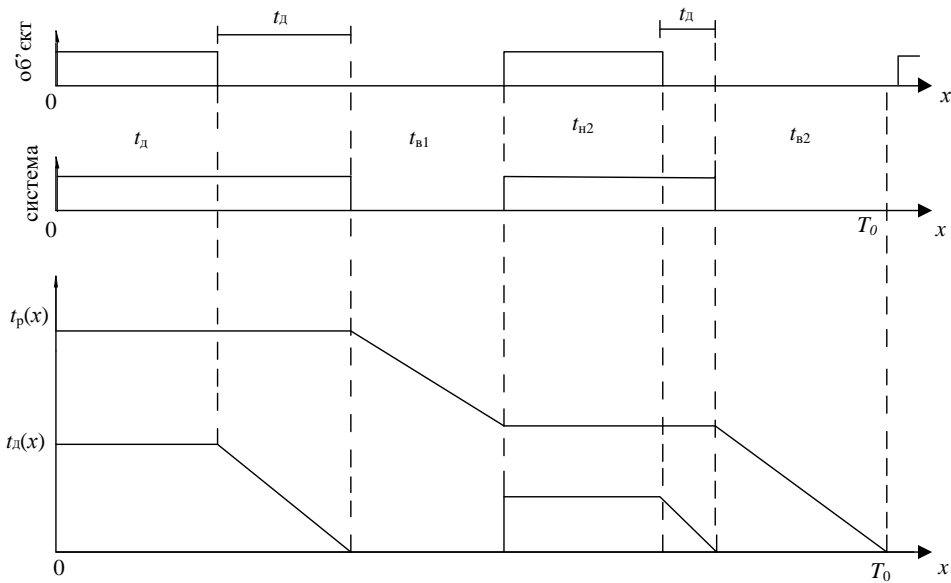


Рис. 1. Діаграма роботи системи з комбінованим резервом часу до першого зриву функціонування

Подія  $A_1$  полягає в тому, щоб система працювала безвідмовно протягом часу  $t_3 - t_d$ . Завдяки наявності резерву часу цього достатньо, щоб відмова системи не змогла виникнути раніше моменту  $t_3$ . Ймовірність події  $A_1$  дорівнює  $1 - F(t_3 - t_d)$ . Подія  $A_2$  відбувається в тому випадку, якщо перша відмова з ймовірністю  $dF(\tau)$  виникає в момент  $\tau < t_3 - t_d$ , відновлення з ймовірністю  $dF_B(\theta)$  закінчується через час  $\theta < t_d$  і за час, що залишився  $t_3 - \tau - \theta$  з ймовірністю  $P(t_3 - \tau - \theta, t_d)$  не виникне зрив функціонування. Подія  $A_3$  характеризує ситуацію, коли в системі виникає відмова в момент  $\tau < t_3 - t_d$ , відновлення закінчується через час  $\theta$  такий, що  $t_d < \theta < t_p + t_d$ , а залишок завдання, що вимагає при безвідмовній роботі час  $t_3 - \tau - t_d$ , система виконує, маючи комбінований резерв часу  $(t_p - \theta + t_d, t_d)$ .

Інтегруючи за  $\tau$  і  $\theta$  та сумуючи ймовірності подій  $A_1$ ,  $A_2$  і  $A_3$ , отримуємо інтегральне рівняння:

$$P(t_3, t_p, t_d) = 1 - F(t_3 - t_d) + \int_0^{t_3 - t_d} \int_0^{t_3 - \tau - \theta} P(t_3 - \tau - \theta, t_p, t_d) dF_B(\theta) + \int_{t_d}^{t_p + t_d} P(t_3 - \tau - t_d, t_p - \theta + t_d, t_d) dF(\tau), \quad t_3 \geq t_d. \quad (1)$$

Рішення цього рівняння в операційній формі має вигляд:

$$P^{**}(s, w, t_d) = \frac{1 - [1 - F_B(t_d)] f(s) e^{-st_d} - f(s) \int_0^{t_d} e^{-s\theta} dF_B(\theta)}{1 - f(s) \int_0^{t_d} e^{-s\theta} dF_B(\theta) - f(s) e^{-(s-w)t_d} \int_{t_d}^{\infty} e^{-w\theta} dF_B(\theta)}. \quad (2)$$

Отримаємо розрахункові співвідношення для показників надійності системи з експоненціальними розподілами  $F(t)$  і  $F_B(t)$ .

Виведення точної формули для ймовірності безвідмовного функціонування за допомогою зворотного перетворення в (2) зустрічає серйозні труднощі. Покажемо, як можна отримати достатньо зручну для практичних розрахунків формулу, яка має прийнятну похибку. В [10, с. 69] було показано, що розподіл напрацювання на відмову системи з поповнювальним резервом часу наближений до експоненціального з параметром  $\lambda \exp(-\mu t_d)$ . При цьому інтервали часу відновлення, що не перевищують значення  $t_d$  та інтервали, які дорівнюють перевищенню часу ремонту над величиною  $t_d$ , також розподілені за експоненціальним законом з параметром  $\mu$ . Тому можна скористатися результатами [10, с. 79] і знайти вираз для шуканої ймовірності  $P(t_3, t_p, t_d)$ , якщо замінити значення  $\lambda t_3$  (для ймовірності безвідмовного функціонування системи з непоповнювальним резервом часу) на  $\lambda(t_3 - t_d) \exp(-\mu t_d)$ , тоді отримуємо

$$P(t_3, t_p, t_d) = \begin{cases} 1 & \text{при } t_3 \leq t_d, \\ \left[ 1 + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{[\lambda(t_3 - t_d) e^{-\mu t_d}]^i}{i!} I_0(i, \mu t_p) \exp[-\lambda(t_3 - t_d) e^{-\mu t_d}] \right] & t_3 > t_d, \end{cases} \quad (3)$$

Використовуючи формулу (3) неважко отримати вираз для інтенсивності відмов (зривів функціонування) системи:

$$\Lambda(t_3, t_p, t_d) = - \frac{d \ln P(t_3, t_p, t_d)}{dt_3} = \lambda \exp[-\mu(t_d - t_p) - \lambda(t_3 - t_d) e^{-\mu t_d}] I_0 \left[ \frac{2 \lambda \mu t_p (t_3 - t_d) e^{-\mu t_d}}{P(t_3, t_p, t_d)} \right] / P(t_3, t_p, t_d), \quad (4)$$

$$I_0(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(x/2)^{2k}}{(k!)^2},$$

де  $I_0(x)$  – модифікована функція Бесселя нульового порядку [11, с. 81].

При визначенні коефіцієнта готовності  $K_r(t_b, t_d)$  системи, що розглядається з комбінованим резервом часу необхідно врахувати, що система готова до виконання завдання в наступних трьох випадках: 1) якщо об’єкт працездатний в довільно обраний момент  $\tau$ ; 2) якщо об’єкт непрацездатний, але час  $x$  простою в ремонті до моменту  $\tau$  не перевищує  $t_d$ ; 3) якщо він непрацездатний протягом часу  $x > t_d$ , але ремонт закінчується не пізніше, чим через час  $t_p$  після моменту  $\tau$ . Складаючи ймовірності вказаних вище подій, отримуємо

$$K_r(t_p, t_d) = k_r + (1 - k_r)P\{x < t_d\} + \int_{t_d}^{\infty} P(t_b < x + t_p/t_b > x)\phi(x)dx = (5)$$

$$= 1 - (\bar{t}_n + \bar{t}_b)^{-1} \left[ \int_{t_p+t_d}^{\infty} (1 - F_b(x))dx \right],$$

де  $\phi(x) = [1 - F_b(x)]/\bar{t}_b$ .

Зокрема, при  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$  і  $F_b(t) = 1 - e^{-\mu t}$  коефіцієнт готовності системи виражається формулою:

$$K_r(t_p, t_d) = 1 - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-\mu(t_p+t_d)}. (6)$$

Точну формулу для середнього часу виконання завдання  $\bar{T}_{вз}(t_3, t_d)$  можна отримати з використанням рівняння (2), однак вона зайве громіздка (особливо при великих  $t_3/t_d$ ) і мало придатна для практичних розрахунків. Тому скористуємося більш простою наближеною формулою, яка дає малу помилку при великих  $t_3$  [12, с. 97]:

$$\bar{T}_{вз}(t_3, t_d) \approx t_3 + \frac{\lambda t_3(1 - F_b(t_d))}{\mu + \lambda F_b(t_d)} - \frac{\lambda(1 - F_b(t_d))[(\lambda + \mu)t_d - \lambda F_b(t_d)/\mu]}{[\mu + \lambda F_b(t_d)]^2}, (7)$$

де  $F_b(t_d) = 1 - e^{-\mu t_d}$ .

Слід відмітити, що всі отримані вище моделі надійності відносяться до об’єктів КО з комбінованим резервом часу, в яких виникають незнецінюючі відмови програмних засобів.

Отримаємо рішення задачі, що розглядається для більш загального випадку, коли в об’єкті

можуть виникати незнецінюючі і повністю знецінюючі відмови [1, с. 147]. Для цього скористуємося вказаною вище особливістю систем з поповнювальним резервом часу, напрацювання на відмову яких наближена до експоненціального розподілу з параметром  $\lambda q$ , де  $q = 1 - F_b(t_d)$ . Якщо  $i = 1$ ,  $p_1 = p$ , вважати  $\bar{t}_b \ll t_3$  (випадок «швидкого» відновлення) і замінити  $\lambda t_3$  на  $\lambda q(t_3 - t_d)(1 - p)$ , то отримаємо вираз для ймовірності безвідмовного функціонування системи:

$$P(t_3, t_p, t_d) = \sum_{j=0}^{\lfloor t_p/t_d \rfloor} (-1)^j \frac{(\gamma - j\rho)^j}{j!} \left(1 + \frac{\gamma - j\rho}{j+1}\right) e^{-(j+1)\rho}, \quad 0 \leq p < 1, (8)$$

$$P(t_3, t_p, t_d) = 1, \quad p = 1,$$

де  $\lfloor t_p/t_d \rfloor$  позначає операцію округлення частки  $t_p/t_d$  до цілого (меншого) числа, а

$$\gamma = \lambda^* t_3; \quad \rho = \lambda^* (t_3 - t_d); \quad \lambda^* = \lambda q(1 - p); \quad q \leq 1. (9)$$

Формулу для інтенсивності відмов системи  $\Lambda(t_3, t_p, t_d)$  нескладно отримати, якщо скористатися виразом (8):

$$\Lambda(t_3, t_p, t_d) = \frac{d \ln P(t_3, t_p, t_d)}{dt_3} = \lambda^* (1 + \gamma) e^{-\rho} +$$

$$+ \lambda^* \sum_{j=1}^{\lfloor t_p/t_d \rfloor} (-1)^j \frac{(\gamma - j\rho)^{j-1}}{(j-1)!} e^{-(j+1)\rho} \left[ \left(2 + \frac{1}{j}\right) (\gamma - j\rho) + j + \right.$$

$$\left. + \frac{(\gamma - j\rho)^2}{j} \right] / P(t_3, t_p, t_d), \quad 0 \leq p < 1,$$

де значення  $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $\lambda^*$  виражаються формулою (9).

**Висновки.** Таким чином, отримані формули для показників надійності об’єктів комунікаційного обладнання з комбінованим резервом часу (моделі надійності), в яких виникають незнецінюючі відмови програмних засобів (вирази (3) – (7)) або відмови, які з ймовірністю  $p$  не знецінують або з ймовірністю  $1 - p$  знецінують попереднє напрацювання (вирази (8) – (10)).

Отримані результати можуть безпосередньо використовуватися під час аналізу та забезпечення надійності складних програмних комплексів та комунікаційного обладнання.

### Список літератури:

1. Креденцер Б.П. Надійність систем з надлишковістю: методи, моделі, оптимізація: монографія / Б.П. Креденцер, О.М. Буточнов, А.І. Міночкін, Д.І. Могилевич. Київ, 2013. С. 121–145.
2. Томашевський О. В., Сніжної Г. В. Визначення функції надійності невідновлюваних технічних систем при неповних даних. *Aerospace technic and technology*. 2019. № 8. С. 129–132. DOI: 10.32620/akt.2019.8.19.
3. Трофімук А. В. Оцінка якості програмного забезпечення за показниками надійності: thesis. 2018. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/11471> (дата звернення: 28.04.2023).
4. Nagaraju V. Software Reliability Assessment: Modeling and Algorithms. *IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (ISSREW)*. 2018. P. 166–169. DOI: 10.1109/ISSREW.2018.000-4.
5. Сенів М., Роїк О. Засоби розрахунку показників надійності програмного забезпечення на підставі моделі з урахуванням недосконалого відлагодження. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2021. Т. 31, № 6. С. 87–91. DOI:10.36930/40310613.

6. Raghuvanshi K., Agarwal A., Jain K. A time-variant fault detection software reliability model. *SN Appl. Sci.* 2021. № 3(18). DOI: 10.1007/s42452-020-04015-z.
7. Erto P., Giorgio M., Lepore A. The Generalized Inflection S-Shaped Software Reliability Growth Model. *IEEE Trans Reliab.* 2018. P. 1-17. DOI: 10.1109/TR.2018.2869466.
8. Pavlov N. Iliev A. Rahneva A. Kyurkchiev N. Some Transmuted Software Reliability Models. *Journal of Mathematical Sciences and Modelling.* 2019. №. 2 (1). P. 64–70. DOI: 10.33187/jmsm.434277.
9. Яковина В., Сенів М., Симець І. Засоби автоматизованого формулювання умов працездатності складних технічних систем. *Scientific Bulletin of UNFU.* 2019. № 29. С. 136–141. URL: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/2086> (дата звернення: 15.04.2023).
10. Васілевський О., Ігнатенко О. Нормування показників надійності технічних засобів / навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2013. 160 с.
11. Кубрак А.І., Жученко А.І. Передатні функції та частотні характеристики циліндричної теплоакуючої стінки. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2014. №1. С. 114–122. DOI: <https://doi.org/10.20535/2306-1626.1.2014.51651>.
12. Креденцер Б.П. Оцінка надійності резервованих систем при обмеженій вихідній інформації: монографія / Б.П. Креденцер, В.В. Вишнівський, М.К. Жердєв, Д.І. Могилевич, Л.С. Стойкова. Київ, 2014. С. 274–281.

### **Mogylyevych D.I., Sinko V.V., Tykhonov M.V. RELIABILITY MODELS OF COMMUNICATION EQUIPMENT WITH COMBINED TIME RESERVE**

*Modern information and communication networks consist of communication equipment, which can be represented by complex hardware and software systems. Software has a significant impact on the reliability of communication equipment, since software failures and malfunctions often lead to no less serious consequences than hardware (technical) failures. The object of the theoretical study is the processes of functioning of communication equipment objects under conditions of limited reliability of software with the aim of building models of reliability of objects with the use of a combined time reserve to compensate for the consequences of failures. Depending on the consequences of software failures, the previous work product may be unimpaired, partially impaired, or completely impaired. A set of new calculation formulas (reliability models) for the main reliability indicators of a system with a combined time reserve has been obtained, the scientific novelty of which is determined by the combined use of replenishable and non-replenishable time reserves and a comprehensive consideration of various types of failures and persistent failures of hardware and software of switching equipment (not impairing or completely impairing the previous performance). To achieve the aim of the study, the author proposes to decompose the general mathematical model of functioning of a system with a combined time reserve into two interrelated separate models: the first is a model of a regenerating random process for analyzing the reliability of functioning of an object with a replenishable component of the time reserve, the result of which is used in the second model - a special type of Markov process that describes the functioning of a system with a non-replenishable component, taking into account the selected variant of interaction between the replenishable and non-replenishable components.*

**Key words:** reliability models, communication equipment, failures, software, combined time reserve.



УДК 621.391.6

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/05>**Сакович Л.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Гиренко І.М.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## МІНІМІЗАЦІЯ СЕРЕДНЬОГО ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ІЗ КРАТНИМИ ДЕФЕКТАМИ

Під час ведення бойових дій засоби спеціального зв'язку можуть отримувати пошкодження різного ступеня. Це можливо також при порушенні технології консервації в процесі постановки цих засобів на довготривале зберігання або невідповідності умов зберігання вимогам. В приведених випадках техніка отримує кратні (множинні) дефекти, усунення яких виконують поетапно: спочатку дефектування, а потім діагностування. В статті пропонується підхід до раціонального розподілу зусиль між етапами дефектування і діагностування, що дозволяє мінімізувати середній час відновлення пошкодженої техніки зв'язку. При цьому використані сучасні досягнення в галузі технічної діагностики і метрології, які не враховані у відомих роботах. Отримані функціональні залежності і формалізовано алгоритм визначення часу виконання окремих етапів відновлення працездатності пошкодженої техніки. Приведено приклади використання отриманих результатів.

Встановлено, що під час дефектування зі збільшенням кількості встановлених несправностей працездатності суттєво зростають. При чому час діагностування останніх дефектів зменшується, тобто функція часу відновлення від кількості визначених дефектів має мінімум. Розглядається найгірший випадок – рівномірного розподілу дефектів в об'єкті. Використання ефективної процедури пошуку кратних дефектів сумісно із колективною працею екіпажу апаратної зв'язку і фахівців ремонтного органу за умовними алгоритмами діагностування дозволяє скоротити час відновлення працездатності пошкоджених об'єктів. Аналіз отриманих функціональних залежностей не дозволяє отримати рішення методами дослідження операцій, тому запропоновано знаходження оптимального розподілу часу дефектування і діагностування для мінімізації працездатності відновлення пошкоджених виробів за допомогою ЕОМ за новим алгоритмом. Таким чином, вперше запропоновано формалізацію процесу рішення задачі скорочення середнього часу відновлення засобів з аварійними або бойовими пошкодженнями за рахунок раціонального розподілу зусиль фахівців між етапами дефектування і діагностування. Показано, що при слабкому ступені пошкодження об'єкта загальний час ремонту мінімальний, якщо дефектування складає не більше 40 відсотків від загального часу відновлення.

**Ключові слова:** засоби спеціального зв'язку, засоби виміральної техніки, кратні дефекти, дефектування, діагностування, час відновлення.

**Постановка проблеми.** Відновлення працездатності засобів спеціального зв'язку (ЗСЗ) із слабким ступенем пошкодження (відмова до 10% елементів) в польових умовах виконують фахівці ремонтних органів на базі апаратних технічного забезпечення (АТЗ) із залученням екіпажу пошкоджених апаратних зв'язку. Тобто одночасно працює група фахівців і необхідно раціонально розподілити їх зусилля для скорочення середнього часу відновлення. Раніше окремо розглядалися процеси дефектування і діагностування, види групового пошуку дефектів бригадою фахівців, а також сумісно процеси дефектування і діагностування, але тільки одним фахівцем. Таким чином

виникає актуальне завдання дослідження діяльності групи фахівців по відновленню ЗСЗ з кратними дефектами, яке не розглядалося раніше.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачі оптимізації сумісної діяльності групи фахівців під час діагностування розглянуто за умови відсутності помилок фахівців в оцінці результату виконання перевірок і припущень, що засоби виміральної техніки (ЗВТ) завідомо справні [1–3]. Але в [4] показано і кількісно оцінено вплив помилок фахівців на середній час відновлення при абсолютно надійних ЗВТ. Також кількісно оцінено взаємозв'язок надійності ЗВТ і часу виконання робіт щодо відновлення техніки [5, 6].

Питання скорочення часу пошуку кратних дефектів досліджено в, де запропоновано використовувати усічену процедуру пошуку (УПП), яка заключається у виключенні частини перевірок, що ведуть до заздалегідь справної частини виробу. У подальшому цей процес вдалось автоматизувати [7].

У подальшому продовжено дослідження впливу діагностичних помилок на час відновлення техніки з їх кількісною оцінкою, що дозволило обґрунтовано обрати метрологічні характеристики ЗВТ залежно від вимог до часу відновлення ЗСЗ [8-9].

Отримані результати дозволили виконати моделювання процесу ремонту засобів з кратними дефектами та окремо розглянути процес дефектування.

Подальші дослідження було спрямовано на кількісну оцінку часу відновлення ЗСЗ групою фахівців, але без врахування процесу дефектування і метрологічної надійності ЗВТ, що дозволило обґрунтувати стратегію відновлення і формалізувати процедуру дефектування.

Результати досліджень узагальнено в [10], але тільки при відновленні ЗСЗ одним фахівцем. Таким чином, у відомих публікаціях та дослідженнях відсутнє рішення завдання раціонального розподілу зусиль групи фахівців при відновленні ЗСЗ в польових умовах екіпажем АТЗ з врахуванням впливу на час ремонту діагностичних помилок і метрологічної надійності ЗВТ.

**Мета статті:** дослідити і формалізувати процес перерозподілу зусиль екіпажу АТЗ між етапами дефектування і діагностування для мінімізації середнього часу відновлення ЗСЗ з кратними дефектами.

**Викладання основного матеріалу.** Задача досягнення поставленої мети вирішується з використанням методів технічної діагностики і метрології. Находження оптимальної стратегії відновлення ЗСЗ з кратними дефектами базується на реалізації цільової функції

$$T_B(X) = \min_{X^* \in \Delta} T_B(X^*),$$

де  $X$  – вектор параметрів системи ремонту;  $X^*$  – їх значення при вирішенні задачі;  $\Delta$  – множина припустимих значень параметрів;  $T_B$  – середній час відновлення.

Задача вирішується при наступних допущеннях:

- відновлення ЗСЗ в два етапи (дефектування і діагностування);
- усунення дефектів одразу після виявлення;
- ремонт виконує екіпаж АТЗ;
- врахування можливості відмови ЗВТ і помилки фахівців в оцінці результату виконання перевірки;

- розглядається найгірший випадок – рівномірний розподіл дефектів в ЗСЗ;

- кількість майстрів АТЗ обмежена штатним розкладом;

- ремонт в польових умовах ЗСЗ зі слабким ступенем пошкодження (до 10% від загальної кількості елементів);

- вбудовані в ЗСЗ засоби діагностування не використовують внаслідок принципу рівномірного пошкодження, що веде до хибного діагнозу;

- під час пошуку кратних дефектів використовують УПП;

- під час ремонту нові дефекти в ЗСЗ не виникають;

- агрегати та елементи зі складу обмінного фонду АТЗ заздалегідь справні.

На етапі дефектування час визначення кожного наступного дефекту збільшується за законом геометричної прогресії.

$$T_1 = \frac{t_1(g^{Q_0/R} - 1)}{g - 1} + Q_0 \frac{t_y}{R}; Q_0 > R;$$

де  $t_1$  – час визначення першого дефекту;

$g$  – знаменник геометричної прогресії;

$Q_0$  – кількість виявлених дефектів;

$R$  – кількість фахівців екіпажу АТЗ;

$t_y$  – середній час усунення несправності.

Знаменник геометричної прогресії залежить від кваліфікації фахівців і визначається за аналізом статистичних даних

$$g = r \sqrt[r]{t_r / t_1}; g = \frac{t_{i+1}}{t_i}; i = \overline{1, r};$$

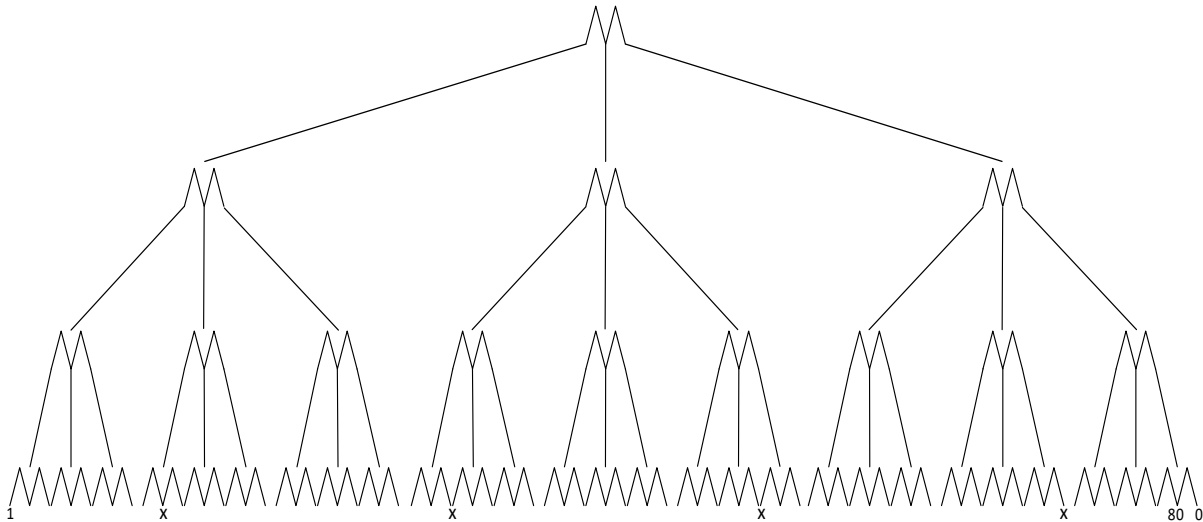
де  $t_r$  – час визначення дефекту  $r(1 < r \leq Q_0)$ .

Відомо, що при отриманні аварійних або бойових пошкоджень ЗСЗ, більшість дефектів мають явний характер: обриви монтажу, руйнування керамічних та скляних деталей. Тому пошук перших дефектів виконують досить швидко, але потім процес сповільнюється (наприклад, мікротріщини печатних плат).

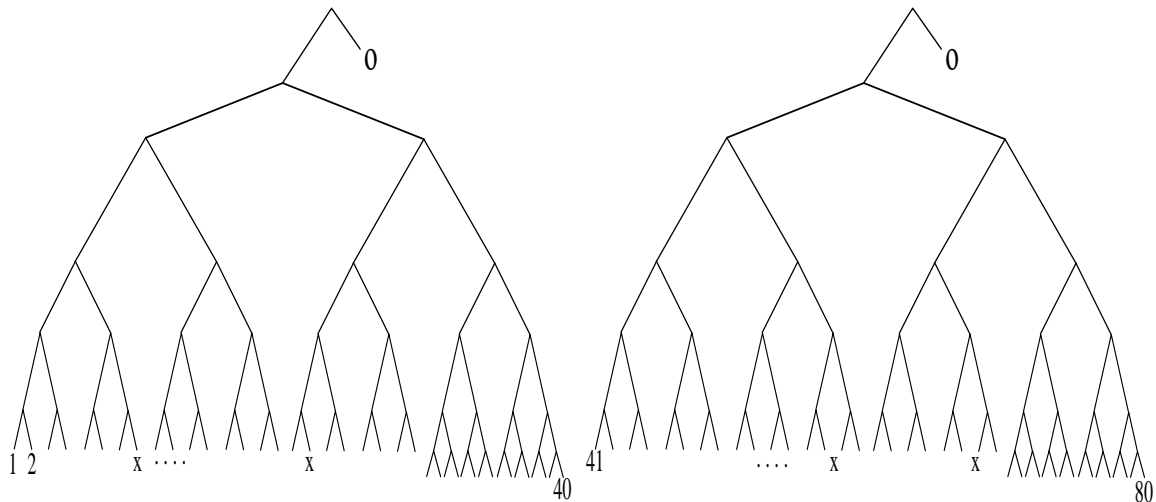
Загальна кількість дефектів у виробу постійна  $Q$  і після дефектування під час діагностування необхідно визначити  $Q - Q_0$  дефектів. Тобто, зі збільшенням  $Q_0$  час дефектування  $T_1$  також зростає, а час діагностування  $T_2$  зменшується.

Дефектування ЗСЗ заключається у визначенні ступеня пошкодження техніки за зовнішніми ознаками і усуненні несправностей для обґрунтованого висновка про доцільність ремонту, його види і місце виконання.

На другому етапі відновлення працездатності ЗСЗ використовують види групового пошуку дефектів екіпажем АТЗ [10]:



**Рис. 1. Алгоритм сумісного групового пошуку дефектів**  
 ( $L = 80, R = 2, Q = 8, Q_0 = 4, K_1 = 4, K_2 = 4, K_3 = 4, K_4 = 4, K = 16$ )



**Рис. 2. Алгоритм зонного групового пошуку дефектів** ( $L = 80, R = 2, m = 2, Q = 8, Q_0 = 4, n = 2, K = 12$ )

– сумісний для об’єктів великої розмірності з рознесеними в просторі елементами (наприклад, апаратна або вузол зв’язку);

– зонний при можливості ділення об’єкта на частини, відновлення яких виконують фахівці високої, але вузької спеціалізації (наприклад, радіопередавач великої потужності підрозділяють на зони пошуку: підсистема електроживлення, збуджувач, тракт підсилювання високої частоти).

Приклади умовних алгоритмів діагностування (УАД) групового пошуку дефектів приведено на рисунках:

рис. 1 – сумісний груповий пошук дефектів ( $L$  – загальна кількість елементів в об’єкті,

$K_i$  – кількість перевірок для визначення дефекту  $i$ ,  $K$  – загальна кількість перевірок бригадою із  $R$  фахівців при визначенні всіх дефектів);

рис. 2 – зонний груповий пошук дефектів ( $m$  – модуль вибору УАД,  $n$  – кількість груп елементів в УАД,  $O$  – відсутність несправностей в об’єкті).

Функціональні залежності для визначення показників якості групового пошуку дефектів з врахуванням допущень приведено в табл. 1.

В таблиці 1 додатково позначено:  $P_m$  – метрологічна надійність ЗВТ;  $P$  – надійність правильної оцінки результату виконання перевірки;  $T_B$  – середній час відновлення ЗСЗ з кратними дефектами.

Оскільки значення  $T_1$  зі збільшенням  $Q_0$  зростає, а  $T_2$  зменшується, то їх сума, тобто  $T_B$ ,

Показники якості групового пошуку дефектів

Показники якості	Вид групового пошуку дефектів	
	сумісний	зонний
Кількість груп елементів	$n_c = RL(Q - Q_0) / (L - (Q - Q_0))n(R + 1)$	$n_3 = \frac{(Q - Q_0)L}{R(L - (Q - Q_0))}$
Кількість перевірок	$K_c = (Q - Q_0)(1 + \log_{R+1} \frac{L}{n}) + \frac{n - R - 1}{R}$	$K_3 = 2(\frac{Q - Q_0}{R} - 1) + \frac{Q - Q_0}{R} \log_2(\frac{L}{Q - Q_0} - 1)$
Ймовірність правильного діагнозу	$P_3 = P_m P^{R(1 + \log_{R+1} \frac{L}{n})}$	$P_3 = P_m P^{1 + RK/(Q - Q_0)}$
Час дефектування	$T_1 = \frac{t_1(g^{Q_0/R} - 1)}{g - 1} + Q_0 \frac{t_y}{R}$	$T_1 = \frac{t_1(g^{Q_0/R} - 1)}{g - 1} + Q_0 \frac{t_y}{R}$
Час діагностування	$T_{2c} = \frac{tK + (Q - Q_0)t_y / R}{P_c}$	$T_{23} = \frac{tK + (Q - Q_0)t_y / R}{P_3}$
Середній час відновлення	$T_{BC} = T_1 + T_{2c}$	$T_{B3} = T_1 + T_{23}$

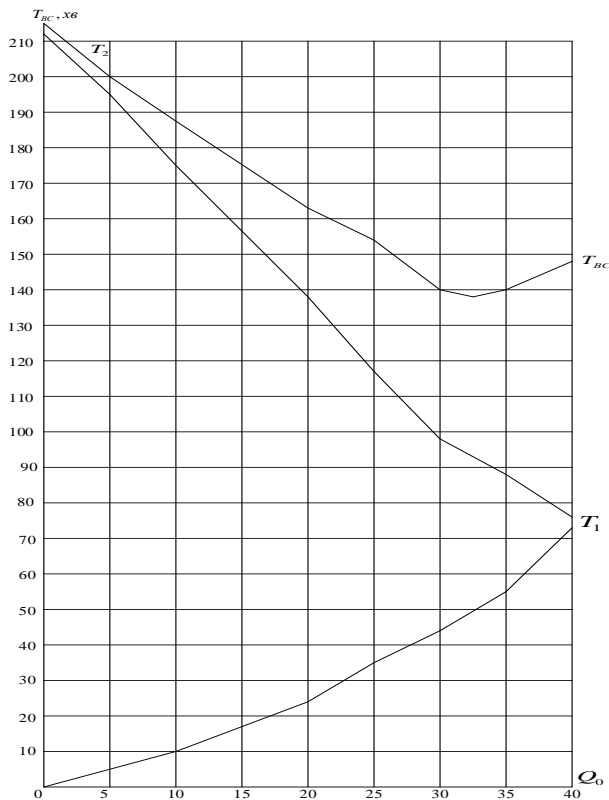


Рис. 3. Залежність середнього часу відновлення об'єкту при груповому сумісному пошуку дефектів від їх числа, встановленого під час дефектування

має мінімум, який необхідно визначити відповідно до цільової функції досліджень.

Для цього можливо використовувати методи дослідження операцій, але отримані трансцендентні рівняння не дозволяють виявити оптимальне значення  $Q_0$ , при якому  $T_B$  мінімальне.

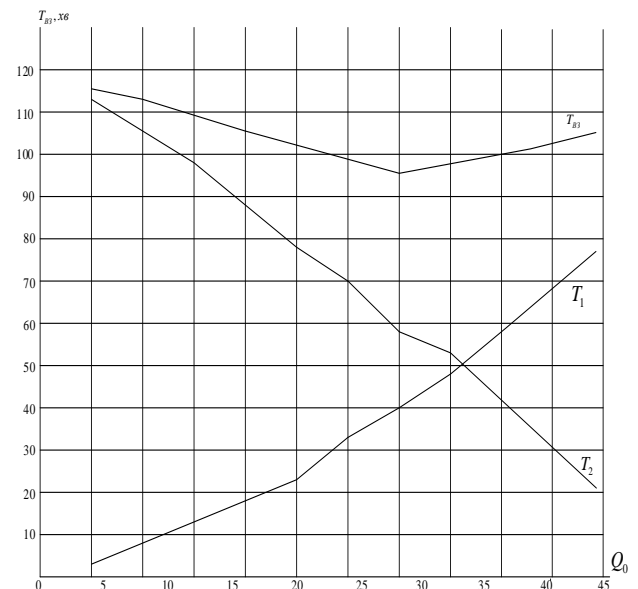


Рис. 4. Залежність середнього часу відновлення об'єкту при груповому зонному пошуку дефектів від їх числа, встановленого під час дефектування

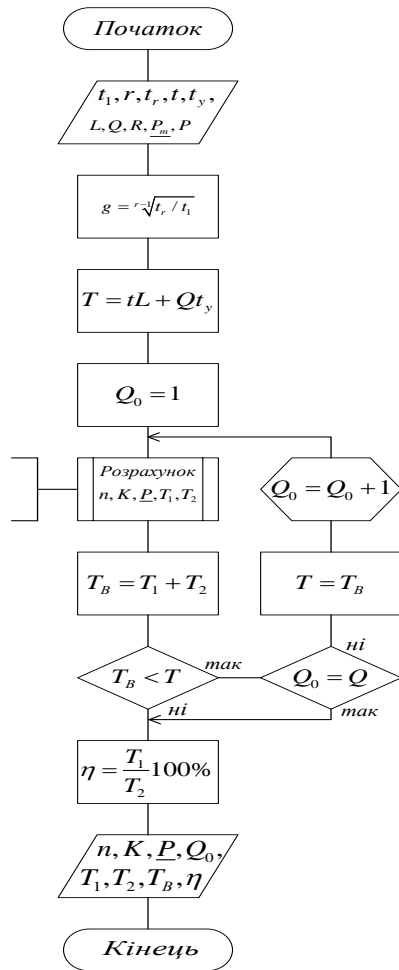
Для сумісного групового пошуку дефектів отримуємо:

$$\frac{dT_{BC}}{dQ_0} = \frac{(FK' - t)P - (FK + (Q - Q_0)t)P'}{P^2 R} + \frac{B}{R} g^{Q_0/R} \ln \frac{1}{R} + C = 0;$$

$$\text{де } K' = \frac{(Q - Q_0)AL}{n(L - (Q - Q_0))^2 \ln(R + 1)} - \log_{R+1} \frac{L}{n} - 1;$$

$$n' = \frac{-AL}{(L - (Q - Q_0))^2}; P' = P_m \frac{P^{Q_0} RAL \ln p}{\ln(R + 1) \cdot n \cdot (L - (Q - Q_0))^2};$$

$$A = \frac{RL}{\ln(R + 1)}; F = \frac{t}{R}; B = \frac{t_1}{g - 1}; C = \frac{t_y}{R};$$



**Рис. 5. Алгоритм розрахунку раціонального розподілу часу дефектування і діагностування при усуненні кратних дефектів**

а для зонного групового пошуку:

$$\frac{dT_{B2}}{dQ_0} = \frac{(FK' - t)P - (FK + (Q - Q_0)t)P'}{P^2 R^2} + \frac{B}{R} g^{Q_0/R} \ln \frac{1}{R} + C = 0;$$

де  $P' = \frac{P_m^{P_1 - RK}}{(Q - Q_0)^2} \frac{K'(Q - Q_0) + K}{R} \ln P;$

$$K' = \frac{1}{R} \left[ \frac{L}{(L - (Q - Q_0)) \ln 2} - \log_2 \left( \frac{L}{Q - Q_0} - 1 \right) - 2 \right] - \frac{NL}{(L - (Q - Q_0))^2}.$$

Тому оптимальне значення  $Q_0$  знаходиться прямими обчисленнями. На рис. 3 приведено результати розрахунків для сумісного групового пошуку дефектів при  $L = 1000$ ;  $Q = 50$ ;  $R = 4$ ;

$P = 0,99$ ;  $P_m = 0,95$ ;  $t_1 = 1$  хв;  $g = 1,3$ ;  $t = 1$  хв;  $t_y = 3$  хв.

У такому разі оптимальне значення  $Q_0 = 32$  при дефектування, тоді  $T_1 = 50$  хв,  $T_2 = 88$  хв,  $T_{BC} = 138$  хв, тобто час дефектування складає  $(T_1 / T_{BC}) 100\% = 36\%$  від загального часу відновлення.

На рис. 4 для тих же вихідних даних показано результати розрахунків при груповому зонному пошуку дефектів, коли  $Q_0 = 28$  хв,  $T_1 = 39$  хв,  $T_2 = 57$  хв,  $T_{BC} = 96$  хв, а час дефектування складає  $(T_1 / T_{BC}) 100\% = 41\%$  від загального часу відновлення.

В даному випадку діагностування об'єкту доцільно виконувати груповим зонним пошуком, що скорочує час відновлення в 1,44 рази.

Оскільки не представляється можливим аналітичне рішення визначення оптимального часу дефектування для мінімізації середнього часу відновлення ЗСЗ із кратними дефектами, то пропонується блок-схема алгоритму (рис. 5) рішення цієї задачі за допомогою ЕОМ. Розрахунок виконують окремо для сумісного і зонного пошуку дефектів, потім обирають найкращий варіант. Використання запропонованого процесу формалізації раціонального розподілу зусиль бригади майстрів дозволяє у кожному конкретному випадку залежно від реальних умов ремонту отримувати рекомендації щодо досягнення мінімального часу відновлення працездатності ЗСЗ із кратними дефектами.

**Висновки.** Отримано аналітичні вирази щодо кількісної оцінки показників якості ремонту техніки з аварійними та бойовими пошкодженнями, які враховують колективну роботу бригади фахівців, метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки і можливість діагностичних помилок при аналізі результатів виконання перевірок.

Це дозволяє скоротити середній час відновлення за рахунок раціонального розподілу зусиль фахівців між етапами дефектування і діагностування.

Запропоновано формалізацію процесу розрахунку часу дефектування для мінімізації середнього часу відновлення виробу з кратними дефектами.

Подальші дослідження доцільно направити на можливість використання під час зонного групового пошуку дефектів умовних алгоритмів з модулем вибору більш двох і комплексного використання пошуку видів кратних дефектів.

**Список літератури:**

1. Локазюк В.М., Савченко О.Г. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК. Київ: Академія. 2004. 376 с.
2. Баболо Ю.Я., Волочий Б.Ю., Лозинський О.Ю. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних та програмних систем. Львів: Львівська політехніка, 2013. 300 с.
3. Василюшин В.І., Женжера С.В., Чепкуй О.В. Основи теорії надійності та експлуатації радіоелектронних систем. Харків: ХНУПС, 2018. 268 с.

4. Кононов В.Б., Водолажко О.В., Коваль С.В. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків: ХНУПС, 2017. 288 с.
5. Гнатюк С.Є. Показники надійності систем спеціального зв'язку. *Спеціальні телекомунікаційні системи та захист інформації*. 2014. Вип. 25. С. 73–79.
6. Kravchenko V.A. Problems of reliability of electronic components, *Modern Electronic Materials*. 2016. № 1. С. 88–92.
7. Креденцер Б.П. Методика оцінки ефективності застосування автоматичного пристрою діагностування в системі військового ремонту. *Збірник наукових праць*. 2016. № 1. С. 81–86.
8. Кузнецов І.Б., Ябловський П.М. Організація метрологічного забезпечення військ (сил). Київ: НУОУ, 2002. 356 с.
9. Яковлев М.Ю. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку. *Військово-технічний збірник*. 2014. № 10. С. 118–127.
10. L. Sakovych, Ye. Ryzhiv, A. Soboliev. Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Військово-технічний збірник*. 2019. № 21. С. 72–77.

### **Sakovych L.M., Gyrenko I.M. MINIMIZING THE AVERAGE RECOVERY TIME OF SPECIAL COMMUNICATIONS EQUIPMENT WITH MULTIPLE DEFECTS**

*During combat operations, special communications equipment can be damaged to varying degrees. This is also possible if the conservation technology is violated in the process of putting this equipment for long-term storage or if the storage conditions do not meet the requirements. In these cases, the equipment receives multiple defects, the elimination of which is carried out in stages: first, defect detection, and then diagnosis. The article suggests an approach to the rational distribution of efforts between the defect detection and diagnostic stages, which allows minimizing the average time to restore damaged communications equipment. At the same time, modern achievements in the field of technical diagnostics and metrology, which are not taken into account in known works, are used. Functional dependencies are obtained and an algorithm for determining the execution time of individual stages of restoring the damaged equipment performance is formalized. Examples of using the results obtained are given.*

*It has been established that during defect detection, as the number of detected faults increases, labor costs increase significantly. At the same time, the time required for diagnosing the last defects decreases, i.e., the function of the restoring time on the number of identified defects has a minimum value. The worst-case scenario is considered, with defects distributed evenly in the object. The use of an effective procedure for identifying multiple defects, combined with the teamwork of the hardware communications crew and repair body specialists according to conditional diagnostic algorithms, allows reducing the time to restore damaged objects efficiency. Analysis of the obtained functional dependencies does not allow obtaining a solution using operations research methods, therefore, finding the optimal distribution of defect detection and diagnostic time to minimize labor costs required to restore damaged products is offered using a computer according to a new algorithm. Thus, for the first time, formalization of the process of solving the problem of reducing the average time to restore equipment with emergency or combat damage due to the rational distribution of specialists' efforts between the defect detection and diagnostics stages is suggested. It is shown that with a weak degree of damage to the object, the total repair time is minimal if the defect is no more than 40 percent of the total restore time.*

**Key words:** *means of special communication, means of measuring equipment, multiple defects, defects, diagnostics, recovery time.*

UDC 621.396

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/06>**Semenov A.O.**

Vinnytsia National Technical University

**Stalchenko O.V.**

Vinnytsia National Technical University

**Prytula M.O.**

Vinnytsia National Technical University

**Donskyi O.V.**

Vinnytsia National Technical University

## AMATEUR LOW POWER RADIO FREQUENCY COMMUNICATION DEVICE FOR FM RANGE

*The article is devoted to developing a radio frequency communication device as an amateur radio station. A radio frequency communication device is a basic element of wireless systems. It has become widely used in general-purpose and special-purpose wireless communication systems. Portable radio frequency communication devices are used in radio waves' meter and decimeter range. Such devices have a simple electrical circuit and a simple design. Therefore, developing new electrical circuits and creating new designs of radio frequency communication devices attract considerable attention from researchers. A large number of publications are known. These publications comprehensively examine the parameters and characteristics of RF communication devices for special-purpose systems. Less attention has been paid to developing and researching amateur radio frequency communication devices. The paper analyzes various operating conditions of radio stations and their influence on the power and frequency range of the radio signal. An analog of the radio communication device was studied, and its electrical schematic diagram was considered. The paper proposed a new electrical circuit of the transmitter for the radio frequency communication device, created an experimental model of the device, and experimentally investigated its parameters and characteristics. The article presents a structural diagram of a radio frequency communication device, electrical diagrams of a radio frequency communication transmitter unit, a low-frequency amplifier, a modulating generator, and a power amplifier cascade. The transmitting part of the device operates at a frequency of 103.351 MHz, and the amplitude of the transmitter's output signal is 1.5 V. The radio signal generated by the device has frequency modulation and low power. As a result of experimental studies, graphical dependences of the output signal amplitude, current consumption, and transmitter power on the load resistance were constructed.*

**Key words:** radio-frequency station, intercoms, radio-frequency transmission, communication range, autonomy of work.

**Formulation of the problem.** In various operating conditions (depending on the level of electromagnetic interference, terrain relief, and presence of obstacles such as urban buildings or trees), there are radio stations of different power levels and frequency ranges.

It may seem that staying connected today is very simple and easy. Mobile phones and smartphones have become affordable and compact, thus gaining wide usage. However, it is important to remember that your phone can only exist with a mobile operator's base station [1].

Modern people spend a significant amount of time communicating through mobile phones, but only a few understand how they work and how they affect our bodies. For example, the harmful radiation from

a mobile phone [2, 3] compared to a two-way radio device: 2 GHz and 0.5 W versus 0.1 GHz and 0.02 W.

Additionally, professional radio stations and two-way communication devices can be expensive, which can be a problem for consumers with limited budgets who need help to afford such equipment. Therefore, it has been decided to develop a low-budget radio communication device that will be cost-effective and efficient over distances equivalent to professional radio communication tools. This device will be utilized in areas where mobile communication systems provide no radio coverage.

**Analysis of recent research and publications.** An analog communication device was chosen for its simplicity, resembling popular Chinese toy radios

based on transistors. The electrical schematic diagram of such a device is depicted in Figure 1 [4].

The receiving section is built around the microchip A1 KXA058, commonly used for pocket-sized UHF-FM receivers. The receiving section is tuned to a frequency of 40 MHz, which is widely used for wireless telephones. Switching between receiving and transmitting modes, as well as turning off the device, is controlled by toggle switch S1, which has a middle position (the device is off in the middle position).

The signal from the antenna is directly fed to the RF section A1 without using an input circuit. The heterodyne circuit formed by L1-C16 determines the tuning frequency. The low-frequency voltage from the output of A1 is then fed to a simple single-stage amplifier using VT1, loaded with a compact speaker B1.

The transmitter is designed based on a well-known circuit used in radio microphones, but it is slightly more powerful (10 mW). The VT2 transistor serves as a high-frequency generator, and the generation frequency depends on the circuit's parameters formed by coil L4 and capacitor C9.

The oscillation circuit (C9-L4) is tuned to a frequency of 40 MHz, corresponding to tuning the receiving sections of other devices within the intercom system.

The loaded transistor is connected to inductor L5, where the RF voltage is generated and delivered to the antenna through a Pi-like filter consisting of capacitors C12-C13-L6-C14-C15.

To achieve frequency modulation, varactor diodes VD1 and VD2 are used, which, together with capacitor C8, create additional capacitance in the transmitter circuit and change its frequency [5]. The low-frequency voltage for the varactor diodes is obtained from the output of the single-stage audio frequency amplifier using transistor VT3, with an electret microphone M1 connected to its input.

During the adjustment of the transmitter, it is important to ensure that the emitted power does not exceed 10 mW (the permissible value for such devices) [6]. The power output depends on the resistance ratio of R7, R8, the power of transistor VT2, and the voltage of the power supply source.

The analog device is designed to provide two-way communication within a range of 100–500 meters, depending on the terrain and electromagnetic environment. The electrical schematic shows that a 9V power supply powers it.

Comparing the designed communication device with the analog device, it can be noted that it will have a greater communication range by increasing the power supply voltage, which can reach up to 12V. Additionally, the device will maintain its functionality at 5V, and the operating range directly depends on the power supply voltage.

**Problem statement.** This work aims to develop a new radio communication device for use within an amateur radio station.

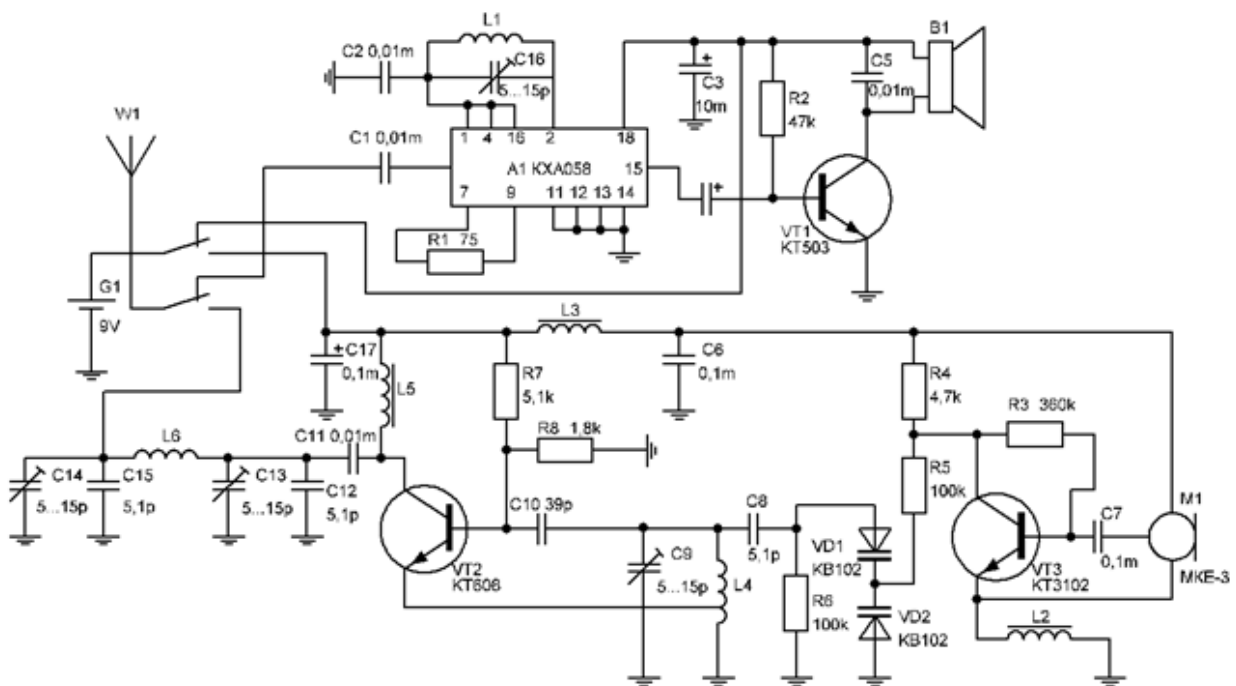


Fig. 1. Electrical schematic diagram of the analog communication device [4]

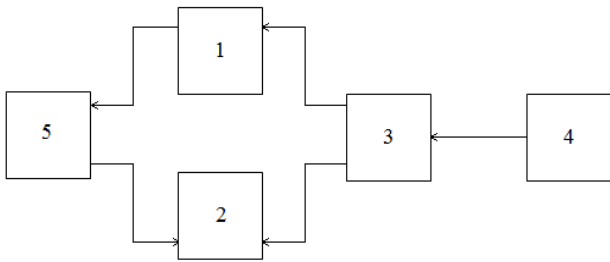


To achieve this goal, the following tasks need to be accomplished:

1. Conduct electrical calculations for the transmitter circuits of the radio communication device;
2. Create a prototype of the radio communication device;
3. Experimentally investigate the parameters and characteristics of the radio communication device.

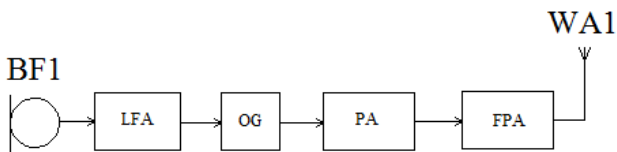
Exposition of the main material

The structure scheme of the radio communication device is provided in Figure 2.



**Fig. 2. Structural diagram of the radio communication device: 1 – transmitter unit; 2 – receiver unit; 3 – switches; 4 – power supply; 5 – antenna**

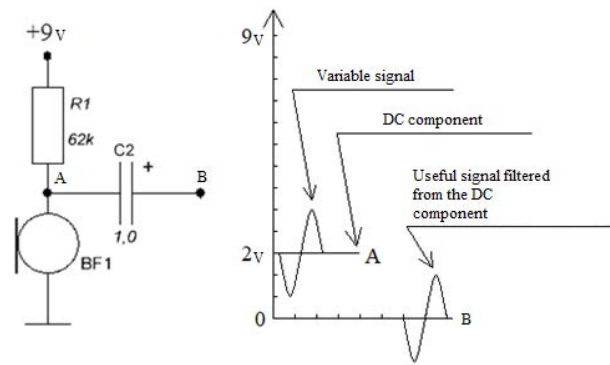
A structural diagram of the transmitter unit of the radio communication device is shown in Figure 3.



**Fig. 3. Structural diagram of the transmitting device**

The connection diagram of the microphone (BF1) is classic and is shown in Figure 4. The electret microphone in this circuit can be represented as a resistor whose resistance varies by the sound signal, influenced mechanically by the diaphragm. With resistor R1, the microphone forms a voltage divider with the power supply. As the resistance of the microphone changes, the portion of the DC power supply voltage distributed across the microphone also changes.

The voltage at point “A” varies synchronously with the sound signal received by the microphone. The signal for further processing is taken from the positive contact of the microphone (point “A”). Capacitor C1 allows only the AC voltage to pass through while blocking the DC current, resulting in a clean AC signal being obtained at point “B”. In other words, the capacitor blocks the DC voltage but responds to the rapid changes in this voltage, changing accordingly in sync with the sound signal.

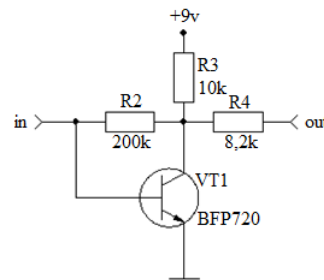


**Fig. 4. Microphone connection diagram and processes occurring in the microphone circuit**

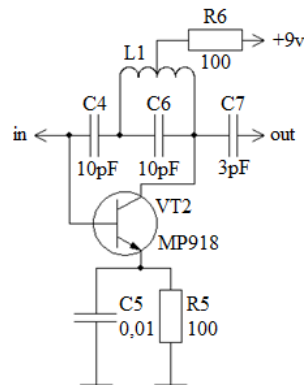
The low-frequency amplifier is designed to amplify the signal level received from the microphone [7]. The electrical circuit of the amplifier, built in a common emitter configuration, is shown in Figure 5 [7]. A load of transistor VT1 is resistor R3.

The next stage is the oscillator circuit. Its electrical circuit is shown in Figure 6. The oscillator circuit is responsible for generating a reference signal with specified frequency parameters, which is used to form the carrier wave at the output of the transmitter. FM modulation is achieved in the oscillator circuit through frequency deviation by changing the operating point of the transistor.

These stages in the microphone circuit and subsequent amplification and modulation stages play crucial roles in capturing, processing, and transmitting the audio signals in the radio communication device.



**Fig. 5. Circuit diagram of the low-frequency amplifier [7]**



**Fig. 6. Circuit diagram of the modulating oscillator**

The main component of the power amplifier (Fig. 7) is the transistor VT3. The final power amplifier is constructed using transistor VT4. Together, these amplifiers perform the amplification of the radio signal.

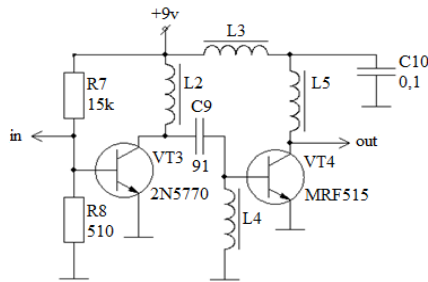


Fig. 7. Circuit diagram of the power amplifier

For the receiver section of the device, the “MANBO S-202” FM receiver [8] was selected, the external appearance of which is shown in Figure 8.



Fig. 8. FM Receiver MANBO S-202

Front-tuning knob (88-108 MHz) and volume control (Vol). Manbo S-202 is based on the CXA1538S microchip [9] in a planar package. The IF amplifier is implemented using the TDA7050. The RF coils are frameless, and the IF filter is piezoelectric. The assembly is done on a single-sided printed circuit board. The tuning capacitor is a dual-film type (with film pieces placed between the plates). It requires a 3V power supply. The schematic of the FM receiver MANBO S-202 is shown in Figure 9.

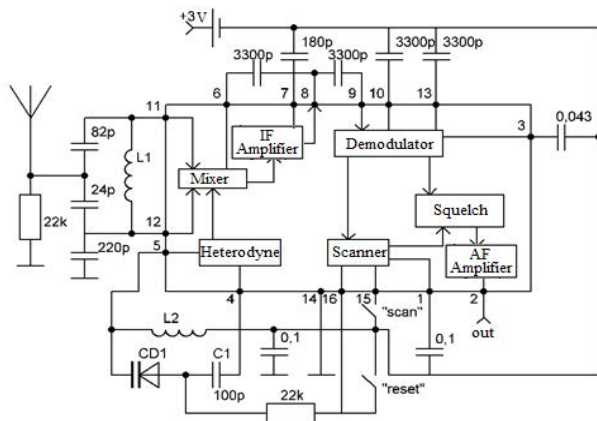


Fig. 9. Schematic diagram of the FM receiver MANBO S-202 [9]

The CXA1538S is designed for FM stereo/AM radio receivers. It includes an FM/AM front-end, FM/AM IF amplifier, FM/AM output signal, and FM stereo output demodulator. The block diagram of the microchip is shown in Figure 10.

Results of experimental investigations

For experimental investigations, a test bench consisting of the following units was used:

1. Power supply unit BP-30;
2. Oscilloscope SDS 1202-X E;
3. Low-frequency generator G3-36.

A photo of the test bench is shown in Figure 11.

The structural diagram of the test bench is shown in Figure 12.

The microphone was shorted using a jumper to investigate the signal shape at the transmitter output, and an equivalent antenna was connected to the transmitter output. The experimental results are shown in Figure 13(a).

As seen in Figure 13(a), the tuning frequency of the transmitter is 103.351 MHz. Measurements were made to investigate the relationship between the amplitude value of the output signal and the load resistance. For this purpose, a short circuit was made at the microphone, and an equivalent antenna was added. The equivalent antenna includes a variable resistor up to 1 kΩ. By changing the resistance of this resistor, we investigated the dependence of the output signal amplitude on the load resistance. Photos of the experimental research results are shown in Figures 13(b) and 13(c). The experimental results of the dependence of the output signal amplitude on the load resistance are presented in Table 1.

Table 1

**Values of the dependence of the output signal amplitude on the load resistance**

$U_m, V$	2,8	2,2	1,45	0,85	0,55
$R_{load}, Ohm$	1000	200	91	41,5	5,1

Figure 14(a) shows the plot of the dependence of the signal amplitude at the output on the load resistance.

In the study, we also conducted measurements of the dependence of transmitter current consumption on load resistance. The experimental conditions were as follows: we short-circuited the microphone and added an equivalent antenna. We measured the dependence of current consumption on the load resistance by varying the load resistance value. During this process, we recorded the total current consumption of the transmitter. The obtained research results are presented in Table 2.

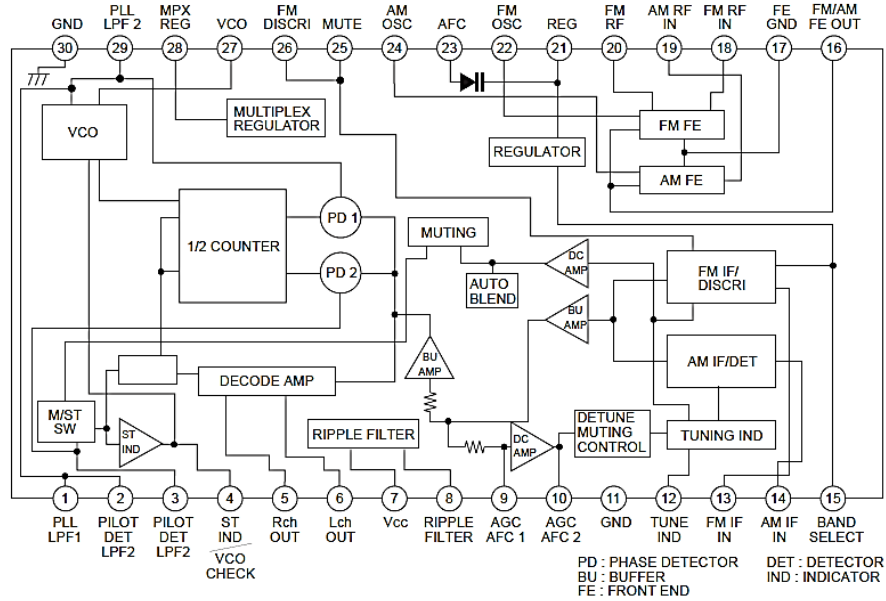


Fig. 10. Block diagram of the CXA1538S microchip [8]

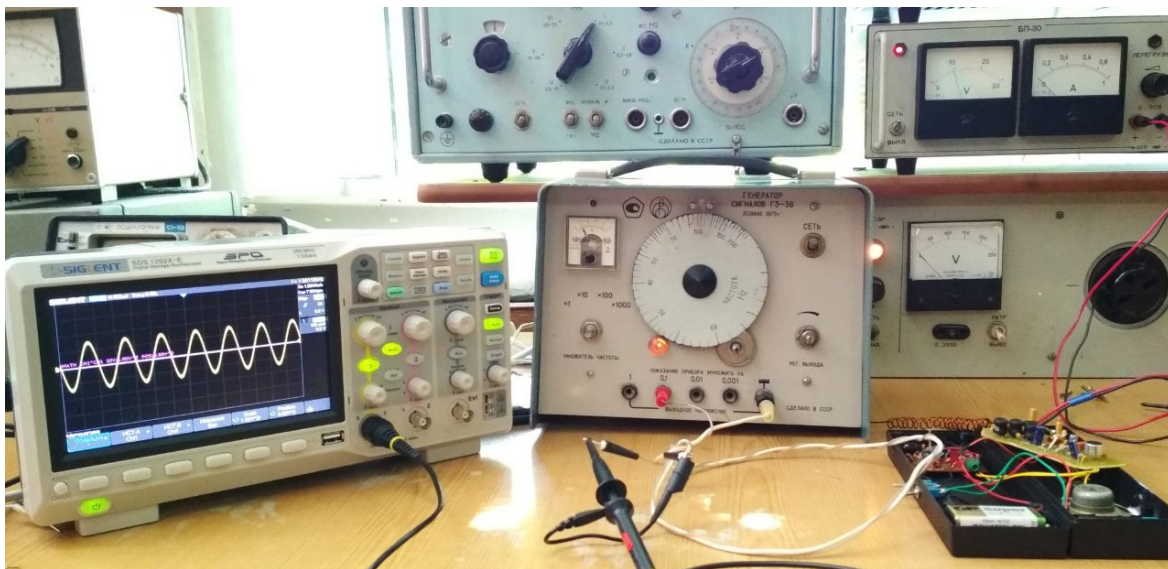


Fig. 11. Photo of the test bench for transmitter research

Table 2  
Values of the current dependence on the load resistance

$I_{consumption}, A$	1,65	1,7	1,81	1,9	1,95
$R_n, Ohm$	1000	200	91	41,5	5,1

The graph depicting the dependence of transmitter current consumption on the load resistance is shown in Figure 14(b).

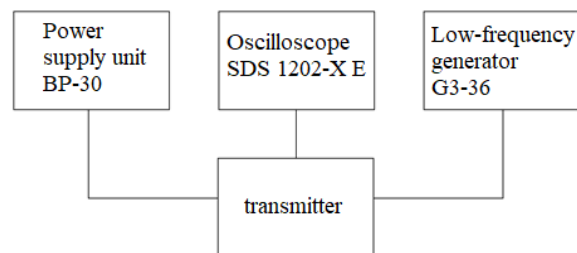


Fig. 12. Structural diagram of the test bench

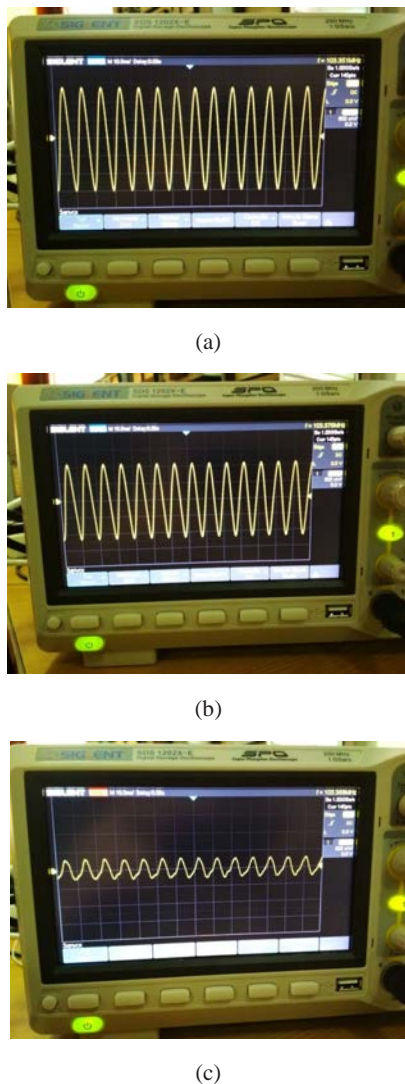


Fig. 13. Signal waveform at the transmitter output: (a) without load, (b) with  $R_{load} = 1 \text{ kOhm}$ , (c) with  $R_{load} = 5.1 \text{ Ohm}$

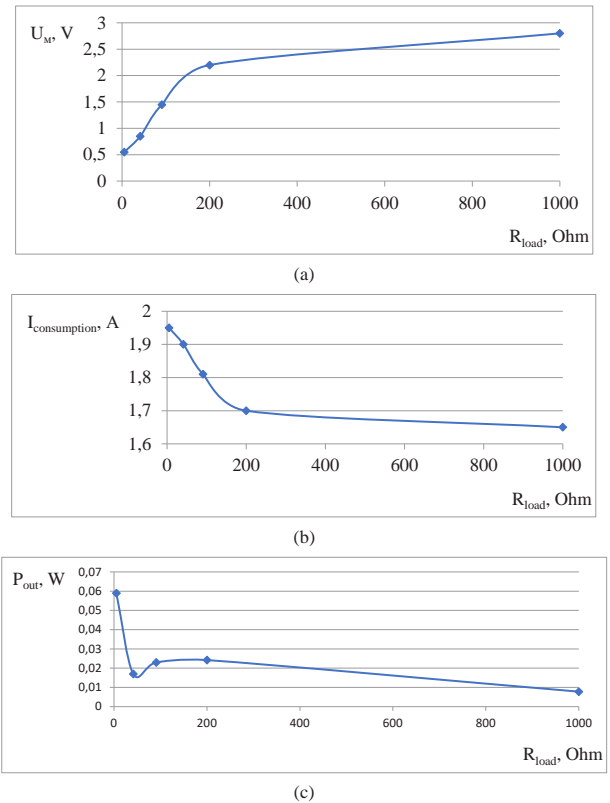


Fig. 14. The results of the experimental study: (a) graph of the dependence of signal amplitude at the output on the load resistance; (b) graph of the dependence of current consumption on the load resistance (c); graph of the dependence of output power on load resistance

Table 3

Values of the dependence of output power from load resistance

$P_{out}, \text{ W}$	0,059	0,017	0,023	0,0242	0,0078
$R_{load}, \text{ Ohm}$	5,1	41,5	91	200	1000

Using the data from Table 3.1, we will determine the dependence of output power using Formula

$$P_{out} = \frac{Um^2}{R_{load}}$$

The obtained results are recorded in Table 3.

Figure 14(c) shows the graph of output power's dependence on load resistance.

**Conclusions.** The authors proposed a new schematic solution for an amateur radio communication device in this work. They created a prototype of the device and conducted experimental investigations.

The experimental research on the operation of the radio communication device showed that the transmitter section operates at a frequency of 103.351 MHz. The amplitude of the transmitter's output signal is 1.5 V.

The analysis of the experimental research results indicates that the amplitude of the voltage increases with an increase in the load resistance while the power consumption of the transmitter decreases. The output power exhibits a decreasing trend with clearly defined local maximum and minimum.

### Bibliography:

1. Mobile communications. Schiller, J. H. (2003). URL: [http://197.156.112.159/bitstream/handle/123456789/1585/Mobile%20communications%20\(%20PDFDrive%20\).pdf?sequence=2](http://197.156.112.159/bitstream/handle/123456789/1585/Mobile%20communications%20(%20PDFDrive%20).pdf?sequence=2) (Доступ 27 травня 2023 р.)
2. Шкідливий вплив електромагнітного випромінювання радіочастотного діапазону. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30870450/> (Доступ 27 травня 2023 р.) DOI: 10.1371/journal.pone.0213286

3. Agarwal, A., Singh, A., Hamada, A., & Kesari, K. Cell phones and male infertility: a review of recent technological innovations and consequences. *International Brazilian Journal of Urology*. 2018. 44(4), 662-681. doi: 10.1590/S1677-5538.IBJU.2017.0685
4. Пристрій-аналог радіозв'язку на транзисторах. URL: <https://www.qrz.ru/schemes/contribute/constr/shema-prostoj-radiostancii-ukw-fm-diapazona-na-tranzistorah-i-kxa058.html> (Доступ 27 травня 2023 р.)
5. Sklar, B. (2001). *Digital Communications: Fundamentals and Applications* (2nd ed.). Prentice Hall. ISBN: 978-0130847881
6. Як правильно налаштувати рацію. URL: <https://pro-spec.ru/poleznaya-informaciya/124-kak-pravilno-nastroit-ratsiyu.html> (Доступ 27 травня 2023 р.)
7. Підсилювачі низької частоти (ПНЧ). URL: <http://moyaosvita.com.ua/fizuka/pidsilyuvachi-nizko%D1%97-chastoti-pnch/> (Доступ 27 травня 2023 р.)
8. Технічна специфікація мікросхеми CXA1538S. URL: [https://www.alldatasheet.com/view\\_datasheet.jsp?Searchword=CXA1538S](https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=CXA1538S) (Доступ 27 травня 2023 р.)
9. Радіоприймач MANBO S-202. URL: <http://www.radioland.mrezha.ru/dopolnenia/manbo/manbo.htm> (Доступ 27 травня 2023 р.)

### **Семенов А.О., Стальченко О.В., Припула М.О., Донський О.В. АМАТОРСЬКИЙ ПРИСТРІЙ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ РАДІОЧАСТОТНОГО ЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ФМ ДІАПАЗОНУ**

*Стаття присвячена розробці пристрою радіочастотного зв'язку у вигляді аматорської радіостанції. Пристрій радіочастотного зв'язку є базовим елементом бездротових систем. Він отримав широке поширення у бездротових системах зв'язку широкого вжитку та спеціального призначення. Носимі пристрої радіочастотного зв'язку використовують в метровому та дециметровому діапазоні радіохвиль. Такі пристрої мають просту електричну схему та просту конструкцію. Тому розроблення нових електричних схем і створення нових конструкцій пристроїв радіочастотного зв'язку привертає значну увагу дослідників. Відомо велика кількість публікацій. У цих публікаціях всебічно досліджені параметри та характеристики пристроїв радіочастотного зв'язку для систем спеціального призначення. Менше уваги було приділено розробленню та дослідженню аматорських пристроїв радіочастотного зв'язку. У роботі проведено аналіз різних умов роботи радіостанцій та їх вплив на потужність та частотний діапазон радіосигналу. Досліджено аналог пристрою радіозв'язку, та розглянуто його електричну принципову схему. У роботі запропоновано нову електричну схему передавача для пристрою радіочастотного зв'язку, створено дослідний макет пристрою та експериментально досліджені його параметри і характеристики. В статті представлені структурна схема пристрою радіочастотного зв'язку, електричні схеми блоку передавача радіочастотного зв'язку, підсилювача низької частоти, модулюючого генератора та каскаду підсилювача потужності. Передавальна частина пристрою працює на частоті 103,351 МГц, амплітуда вихідного сигналу передавача становить 1,5 В. Генерований пристроєм радіосигнал має частотну модуляцію та володіє малою потужністю. У результаті експериментальних досліджень побудовано графічні залежності амплітуди вихідного сигналу, струму споживання та потужності передавача від опору навантаження.*

**Ключові слова:** радіостанція, переговорні пристрої, радіочастотна передача, дальність зв'язку, автономність роботи.

**Тимченко А.О.**

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

**Губар В.Г.**

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

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ КЕРУВАННЯ СТРУМОМ НАГРІВАЧА В ТЕРМОРЕГУЛЯТОРАХ

*У роботі розглянута концепція побудови пристрою, який представляє собою універсальний терморегулятор для електронагрівальних приладів з розширеним функціоналом.*

*Актуальність розробки полягає в тому, щоб запропонувати прилад, який може підтримувати задану температуру для різного роду нагрівальних елементів: теплі підлоги, теплі килими, масляні або керамічні радіатори, а також теплоелектричні нагрівачі (ТЕНи), електричні водогрійні котли. У даній статті розглядається пропозиція побудови терморегулятора на базі мікроконтролера, що дозволить значно розширити функціонал терморегулятора – здійснювати контроль декількох температур (ззовні в приміщенні, температури нагрівального елемента та температуру теплоносія в гідравлічних системах), робити управління нагрівання по заданій температурі середовища, за тимчасовим розкладом, а також по співвідношенню зовнішньої температури до необхідної в приміщенні.*

*Головною особливістю пропонованого терморегулятора є функція керування струмом через електронагрівальний елемент, методом широтно-імпульсної модуляції (ШИМ). Таку функцію використано для можливості погодити широкий діапазон потужності ТЕНів із пропускними можливостями побутових електромереж. Реалізація такої функції дозволить уникнути пожежонебезпечної ситуації при перевантаженні проводки, що підводить струм та зводить такий прилад у розряд пожежонебезпечних.*

*Пропонується в цій статті розглянути такий прилад на базі елементів широкого застосування та мікроконтролера Atmega 328.*

**Ключові слова:** терморегулятор, система «розумний будинок», ШИМ регулятор, ARDUINO, Atmega 328, симісторний ключ, нагрівальний елемент, пожежна безпека, ПІД регулятор, фазне регулювання.

**Постановка проблеми.** Терморегулятор – це пристрій, який використовується для контролю та регулювання температури в промислових та побутових системах опалення, а також в медицині (підтримка температурного режиму зберігання та виготовлення ліків, термальні процедури) та сільському господарстві (теплиці, інкубатори, сховища продуктів та зерна). Його головна функція полягає у забезпеченні оптимального теплового комфорту, збереженні енергії та створенні необхідного мікроклімату в приміщенні.

Терморегулятори здатні вимірювати температуру повітря, води або інших середовищ, здійснювати автоматичне регулювання роботи систем опалення залежно від заданого або виміряного рівня температури різними електричними нагрівальними приладами: тенами, теплими підлогами, теплими килимками, електроковдрами, масляними радіаторами, керамічними нагрівачами тощо.

За способом реалізації регулятори температури поділяють на:

– Прості термостати (найпоширеніші в побуті), працюють у ключовому режимі.

– Більш складні, що використовують зворотний зв'язок для формування сигналу, що управляє. Вони поширені у системах автоматичного управління, зазвичай у промисловості. Пропорційно-інтегрально-диференціюючий (ПІД) регулятор формує керуючий сигнал, що є сумою трьох доданків, утворюючи єдину передатну функцію регулювання. Регулятор обчислює величину неузгодженості від встановленої величини, суму неузгоджених величин у встановленому проміжку часу та швидкість зміни неузгодженості в цьому проміжку. Таким чином досягається більш точне та плавне підтримання заданої температури.

Кожні мають свої переваги та недоліки, але головне – це обмежене застосування, та цільове призначення роботи на задалегідь розрахований тип нагрівача.

У воєнний час, коли потрібне швидке аварійне підключення та забезпечення теплом, а проектування навантаження електромережі часом неможливе, гостро стоїть питання узгодження електронагрівального приладу з пропускнуою здатністю електромережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пропозиції терморегуляторів мають широкий діапазон від брендів відомих виробників до менш відомих.

На сьогодні на ринку присутні терморегулятори різного рівня цінової категорії та призначення. Існують доступні терморегулятори для використання в житлових приміщеннях, які мають простий інтерфейс та базові функції контролю температури (рис. 1) [1].



Рис. 1. Прості терморегулятори

Також є середньо цінові терморегулятори, які можуть мати більше функцій, таких як програмовані режими роботи, датчики вологості та зв'язок з технологіями «розумний будинок» (рис. 2).



Рис. 2. Багатофункціональні побутові терморегулятори

Представники сектору: TERNEO, DEVI, NEXANS, TOUC. Термостат, терморегулятор буде коштувати від 495 до 4279 грн.

У промисловому секторі присутні більш потужні та спеціалізовані терморегулятори для великих приміщень та систем опалення, які можуть виконувати складніші функції, такі як каскадне управління, зв'язок з центральними системами управління та моніторингом параметрів, відслідковувати «теплознімання» приміщення та регулювання температури теплоносія відносно зовнішньої температури в гідравлічних системах опалювання (рис. 3).



Рис. 3. Промислові терморегулятори

Ціна на терморегулятори також варіюється від бюджетних варіантів до високопродуктивних та розширених моделей. Вартість зазвичай залежить від функціональності, якості матеріалів та бренду виробника. Відомими виробниками для промисловості є Siemens, Danfoss, ALFA, OWEN, МІКРОЛ.

Ціни тут починаються з 1500 грн до 30000 та вище.

Також терморегулятори можна розділити на дротові та бездротові моделі. Дротові терморегулятори зазвичай підключаються за допомогою дротів до опалювальної системи і мають простий інтерфейс управління. Вони можуть бути програмованими, що дозволяє встановлювати різні режими роботи на різних часових періодах.

Бездротові терморегулятори дозволяють керування температурою опалювальної системи через радіосигнал або з використанням мережі Wi-Fi. Вони забезпечують більшу гнучкість в розміщенні та керуванні температурою – віддалено через мобільний додаток або інтернет-портал.

Щодо функціональних можливостей, сучасні терморегулятори надають різноманітні опції. Основна функція – це поточний контроль і регулювання температури в приміщенні. Більш розширені моделі можуть мати такі функції:

- Програмування режимів роботи. Дозволяє встановлювати різні температурні режими на різних часових періодах, що дозволяє ефективно керувати енергоспоживанням і комфортом.

- Датчики вологості. Терморегулятори мають додатково вбудовані датчики вологості. Це дозволяє контролювати рівень вологості в приміщенні та налаштовувати оптимальні умови.

- Зв'язок зі смарт хаус технологіями. Деякі моделі можуть бути сумісні з платформами для домашньої автоматизації, що дозволяє керувати терморегулятором за допомогою голосових команд або зі смартфона.

- Адаптивне управління – застосування алгоритмів, які враховують зовнішні погодні умови, щоб автоматично адаптувати температуру у приміщенні для забезпечення комфортного клімату.

- Енергозбереження. Терморегулятори мають функції, які допомагають знизити споживання енергії. До цих функцій відносяться такі як автоматичне

зниження температури, коли немає присутності у приміщенні або режими енергозбереження.

Дослідження пропозицій по удосконаленню терморегуляторів дають таку картину: наразі йде боротьба за дистанційне керування, багатоканальне керування, поліпшення меню відображення. Авторські дослідження пропонують вдосконалення протоколів обміну в системах автоматизації або вдосконалення драйверів вихідних ключів. Публікацій за темою відслідковування або обмеження струму навантаження не знайдено.

**Постановка завдання.** Аналізуючи характеристики та функціональність усіх вищеописаних приладів можна зробити висновок, що існуючі автоматичні системи регулювання температури забезпечують тільки контроль нагріву середовища до необхідної встановленої температури. Крім того, розглянуті терморегулятори не вирішують проблему обмеження потужності електричного нагрівача в залежності від спроможності навантаження мережі споживача.

З огляду на вищевикладені питання виникає необхідність вирішення проблеми контролю струму регулятором в колі навантаження. В статті викладається пошук рішень для проектування універсального програмованого регулятора з вимогою доступного виконання на поширеній базі елементів.

Для вирішення проблеми пропонується ввести окреме коло зворотнього зв'язку з контролем струму споживання, що надає можливість обмежувати його потужність. Це дозволяє підключити будь-які електричні нагрівачі до будь-якої електромережі: застарілої малопотужної, новітньої та потужної.

Незважаючи на різноманіття терморегуляторів на ринку, жоден з них не орієнтований на захист системи від можливих перепадів напруги в системі (що у теперішній ситуації в країні є дуже актуальним питанням). Також є актуальним підбір потужності електричного нагрівального елемента до відносно слабкої мережі електропостачання. Це може стосуватися як застарілого житлового приміщення, так і, наприклад, тимчасового житла. Тобто, у всіх вище зазначених варіантах застосування прилад не дає гарантії безпеки: може вийти з ладу електромережа, згоріти дріт чи перегрітися нагрівальний елемент. Що, як результат, може призвести не лише до некоректної роботи самого регулятора чи зупинки його роботи, а й до аварійної пожежної ситуації чи аварійної електричної ситуації.

Також пропонується розширити функціонал терморегулятора, що дозволить керувати нагрівальним елементом не тільки в залежності від заданої внутрішньої температури, а й контролювати критичну температуру самого нагрівача з метою запобігання його перегріву.

Тобто, пропонується зв'язати керування силовим елементом за допомогою двох параметрів: задана температура та обмеження струму.

Тобто, пропонується зв'язати керування силовим елементом за допомогою двох параметрів: задана температура та обмеження струму.

**Виклад основного матеріалу дослідження:**

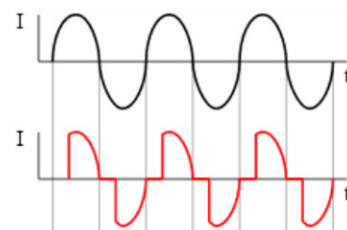
1. Вибір способу реалізації регулювання потужності

В наш час найбільше розповсюдження отримали блоки регулювання потужності на основі «керованих вимикачів» таких як симістор або тиристор. Загальний принцип регулювання потужності полягає в зміні моменту часу включення симістора після переходу синусоїди через нуль. Чим більше часу симістор знаходиться у відкритому стані, тим більша потужність надходить в навантаження.

Виділяють два основні види регуляторів потужності в мережі змінного струму, кожен з яких має свої переваги та недоліки: регулятори потужності по принципу фазного керування та регулятори потужності, засновані на принципі подачі на навантаження декількох півперіодів мережевої напруги з визначеною паузою [2].

*Регулятори потужності по принципу фазного керування.* Принцип роботи таких регуляторів заснований на зміні моменту включення симістора щодо переходу мережевої напруги через нуль. На рис. 4 показана мережева напруга та напруга на навантаженні, що підключено до регулятора з фазовим керуванням.

Із графіка видно, що комутація симістора відбувається при ненульовому значенні мережевої напруги, що викликає різку зміну струму в навантаженні, і, як наслідок, високий рівень радіоперешкод. Такі регулятори повинні мати у своєму складі LC-фільтри.



**Рис. 4. Графіки напруги з затримкою відкриття симістора**

*Метод регулювання потужності, заснований на принципі подачі на навантаження декількох півперіодів мережевої напруги з певною паузою (рис. 5).*



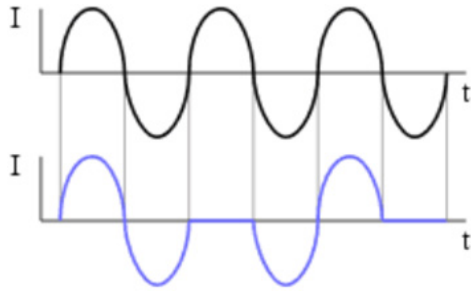


Рис. 5. Графіки напруги з відключення симістора на один півперіод

Перевагою таких регуляторів є те, що моменти комутації симістора збігаються з моментами переходу сіткової напруги через нуль, тому рівень радіоперешкод різко знижується. Застосування мікроконтролера дозволить використовувати для рівномірного розподілу імпульсів алгоритмом Брезенхема. Однак у таких регуляторів є недолік – знижена частота комутації струму в навантаженні в порівнянні з фазовим керуванням. Крім того діапазон регулювання звужений та для плавного регулювання не підходить.

Фазове регулювання потужності споживання більш доречно.

Класично фазове регулювання на симісторі реалізується схемою з гальванічною розв'язкою через оптрон (рис. 6). На керуючий електрод подаються імпульси на відкриття симістора в межах половини періоду.

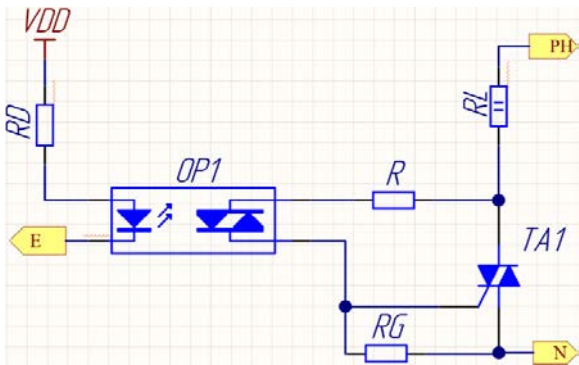


Рис. 6. Ланцюг керування симістором по передньому фронту півперіоду

В результаті зміни кута відкриття до навантаження йдуть неповні півхвилі синусоїди (зазвичай без переднього фронту), внаслідок чого знижується діюча напруга. До переваг фазового регулювання відносять дешевизну (в ролі силових елементів зазвичай використовуються найдешевші елементи з керованих – незакритих тиристорів або симісторів), простоту перетворювача і ланцюгів управління [3].

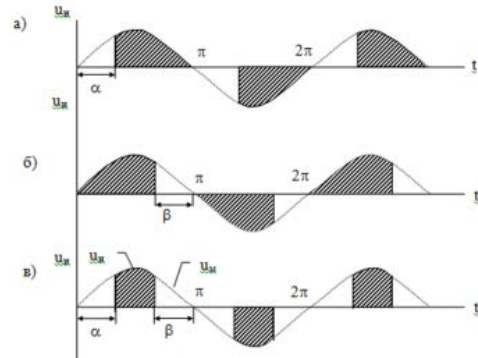


Рис. 7. Характеристика ввімкнення та вимкнення ключа із запізненням та з випередженням

Діюче значення напруги характеризує всю енергію, що передається як сталою так і змінними складовими напруги.

Фазове регулювання моментів вмикання та вимикання силових ключів, що включаються послідовно з навантаженням на основній частоті джерела напруги, можна виконати трьома способами:

1) *Фазове регулювання з затримкою кута управління.* Вмикання силового ключа із запізненням відносно моменту ввімкнення і вимикання його у момент вимкнення (рис. 7а).

2) *Фазове регулювання з випереджаючим кутом управління.* Вмиканням силового ключа у момент ввімкнення і вимкнення з випередженням відносно моменту вимкнення (рис. 7б).

3) *Фазове регулювання з двостороннім керуванням.* Вмиканням силового ключа у момент ввімкнення і вимиканням з випередженням відносно моменту вимкнення (рис. 7в).

Для реалізації вмикання силового ключа із запізненням, можна використовувати ключі змінного струму на базі тиристорів або симісторів, вимкнення яких відбувається при зміні полярності прикладеної напруги. Для реалізації двох інших способів треба використовувати повністю керовані ключі змінного струму на базі тиристорів або двоопераційних тиристорів. Оскільки  $U = RI$ , то співвідношення справедливі і для значень регульованих струмів.

Найбільш поширений метод – фазове регулювання з затримкою кута управління через легкість реалізації. В даному ж випадку за основу береться метод фазового регулювання з випереджаючим кутом управління, адже його фронт наростання струму більш плавний, а закриття ключа на згасаючому фронті струму дає менші значення ударних струмів та дещо менші перешкоди в мережі.

2. Вибір способу регулювання температури

Підтримання температури в межах заданого значення реалізують зазвичай двома методами.

Перший, більш простий метод – це коли живлення на нагрівач подається до досягнення потрібної температури і знімається до мінімально встановленої межі та знову підключається).

Інший метод більш складний: тут застосовується пропорційно інтегрально диференціальне (ПІД) регулювання (рис. 8). Підтримання заданої температури точніше та плавне, тому що час відкриття ключа є функцією від різниці між заданою та реальною температурами на поточний час (неузгодженість) [4].

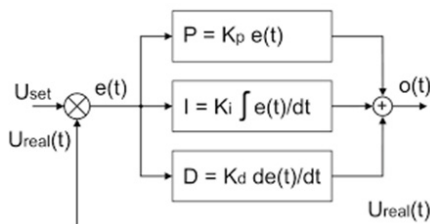


Рис. 8. Структура ПІД регулятора

Повна передатна функція ПІД регулятора (рис. 8) записується формулою:

$$u = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

$K_p, K_i, K_d$  – коефіцієнти посилення пропорційної, інтегруючої та диференціюючої складових регулятора відповідно.

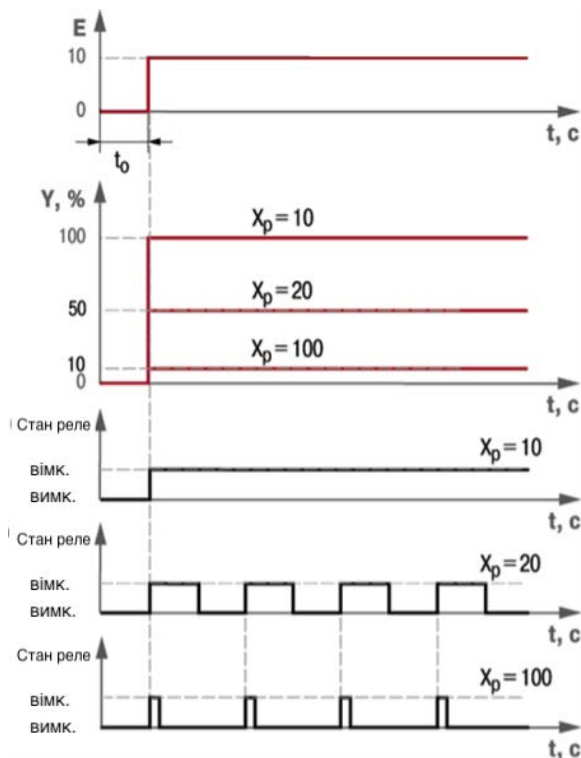


Рис. 9. Вихідний сигнал П-регулятора та тривалість керуючих імпульсів при різних значеннях  $X_p$  та  $E = 10$

Для керування напівпровідниковим ключем застосовується ПІД-ШІМ регулятор. Тоді маємо:

1) При цифровій реалізації П-закону регулювання вихідний сигнал регулятора  $Y_i$  пропорційний величині неузгодженості  $E_i$ , тобто

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot E_i \cdot 100\% \quad (2)$$

$X_p$  – смуга пропорційності, у межах якої справедлива ця формула;

$E_i$  – різниця між заданим  $T_{уст}$  і поточною  $T_i$  значеннями вимірюваної величини або неузгодженість

Смуга пропорційності  $X_p$ , як і відхилення  $E$ , визначається у одиницях контрольованого параметра. Чим ширша смуга пропорційності  $X_p$ , тим менше величина вихідного сигналу  $Y$  при тому самому відхиленні  $E$ .

Поза смуги пропорційності вихідний сигнал  $Y$  дорівнює 0 або 100%.

При дії П-закону регулятор видає імпульси, у яких є лише пропорційна складова величини вихідного сигналу [5].

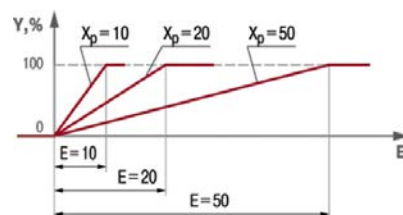


Рис. 10. Залежність вихідного сигналу П-регулятора від неузгодженості при різних значеннях  $X_p$

При роботі пристрою в режимі ПІД-регулятора величина вихідного сигналу  $Y_i$  залежить не тільки від відхилення  $E_i$ , але і від швидкості його зміни:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[ E_i + \tau_\delta \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{зм}} \right] \cdot 100\% \quad (3)$$

$X_p$  – смуга пропорційності

$E_i$  – неузгодженість

$\tau_\delta$  – постійна часу диференціювання

$\Delta E_i$  – різниця між двома сусідніми вимірами  $E_i$  та  $E_{i-1}$

$\Delta t_{зм}$  – час між двома сусідніми вимірами  $T_i$  та  $T_{i-1}$

$\Delta E_i / \Delta t_{зм}$  – швидкість зміни неузгодженості  $E_i$

Зміна вихідного сигналу регулятора при зміні ступінчастої відхилення показано на рис. 11. У перший період після ступінчастої зміни  $E_i$  регулятор видає керуючий імпульс, в якому, крім пропорційної складової, викликаній неузгодженістю  $E_i$ , додається диференціальна (заштрихована частина)  $Y_\delta$ , яка залежить від величини  $E_i$  і коефіцієнта. У наступних імпульсах є тільки пропорційна складова, оскільки немає зміни  $E_i$ .

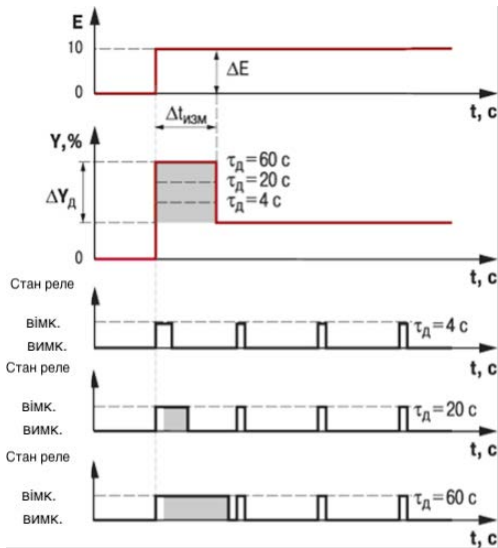


Рис. 11. Вихідний сигнал ПІД-регулятора та тривалість керуючих імпульсів при різних значеннях  $\tau_0$  та  $E = 10$

При роботі приладу в режимі ПІ-регулятора величина вихідного сигналу  $Y_i$  залежить від величини відхилення  $E_i$ , так і від суми попередніх неузгодженостей:

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left[ E_i + \frac{1}{\tau_u} \sum_{i=0}^n E_i \Delta t_{зм} \right] \cdot 100\% \quad (4)$$

$X_p$  – смуга пропорційності

$E_i$  – неузгодженість

$\tau_u$  – постійна часу інтегрування

$\sum E_i$  – накопичена в  $i$ -й момент часу сума неузгодженостей (інтегральна сума)

З малюнка видно, що у момент часу, коли немає відхилення ( $E_i = 0$ ), немає й вихідного сигналу ( $Y_i = 0$ ). З появою відхилення  $E_i$  з'являються імпульси, тривалість яких збільшується. В імпульсах є пропорційна складова, яка залежить від величини  $E$  (незаштрихована частина імпульсів) і інтегральна складова (заштрихована частина). Збільшення тривалості імпульсів відбувається за рахунок зростання інтегральної складової, яка залежить від неузгодженості  $E_i$  та коефіцієнта  $t_i$ .

Як відомо, налагоджування ПІД-регулятора зводяться до підбору коефіцієнту пропорційності ( $K_p$ ), часу інтегрування та часу диференціювання. Також відомо, що для регуляторів температури час диференціювання береться близько 0, а  $K_p$  прийнято брати близько 1.

Відповідно до рисунку 9 пропонується визначати  $K_p$  не як сталу величину, а як динамічно змінну, що визначається відношенням реального значення струму у колі до встановленого значення максимального струму відповідно до електроне-

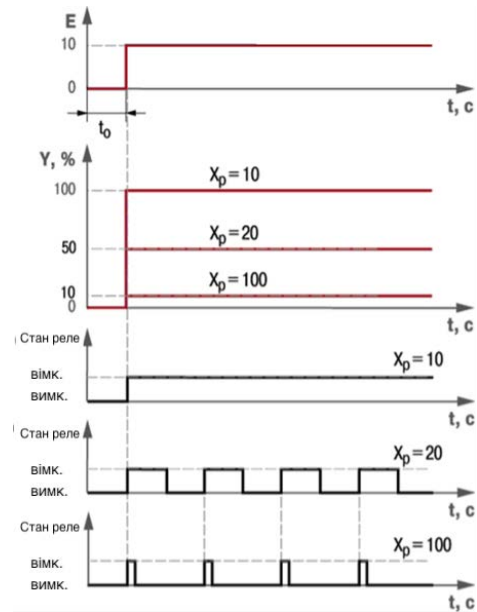


Рис. 12. Вихідний сигнал ПІ-регулятора та тривалість керуючих імпульсів при різних значеннях  $X_p$  та  $E = 10$

режі живлення. Таким чином реалізується коло контролю обмеження струму в навантаженні.

Функціональна схема пристрою з урахуванням розглянутих пропозицій приведено на рис. 13.

Призначення блоків:

1, 2, 4 – Термопара E – типу

3 – Нагрівальний елемент

5 – Перетворювач струм – напруга (струмовий сенсор)

6, 7, 9 – Контролер терморпарі (перетворювач напруга – код SPI)

8 – Перемикальний елемент (симістор)

10 – Мікросхема драйвер симістора

11 – Постійний запам'ятовуючий пристрій

12 – Оперативний запам'ятовуючий пристрій

13 – Блок SPI інтерфейсу мікроконтролера

14 – Цифровий потенціометр (перетворювач код – опір)

15 – Ключ аварійної відсічки

16 – Процесор

17 – АЦП

18 – LCD дисплей

19 – Блок портів вводу/виводу

20 – Блок живлення (5В, 15В)

21 – Клавіатура

За вказаною схемою, 3-5-17 блоки відповідають за струмовий зворотній зв'язок в системі нагрівання. Вимірювач струму, розташований в ланцюзі живлення нагрівача, передає дані про

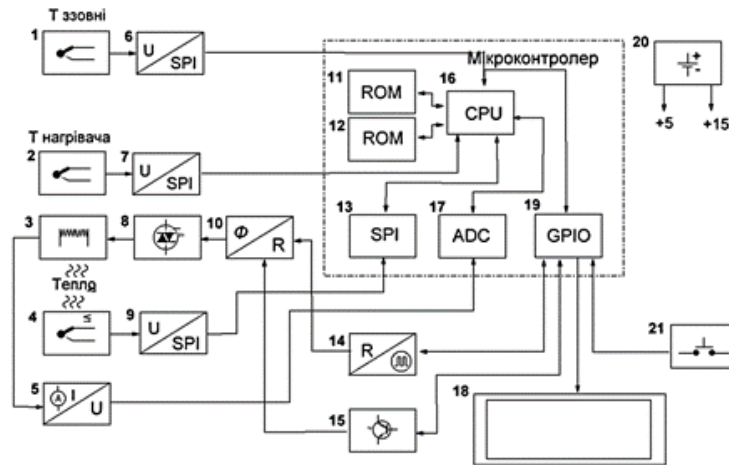


Рис. 13. Функціональна схема терморегулятора

струм на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) і контролер. Контролер обробляє, обчислює і порівнює отримані дані.

Зворотній зв'язок за температурою реалізується через середовище нагрівання за допомогою теплових хвиль (на схемі блоки 3, 4).

Датчики температури і струму зчитують інформацію, яка передається на контролер через АЦП. Контролер, з використанням програмного ПД-ШІМ регулятора, виробляє команду для керування силовим ключем.

Таким чином, мікроконтролер виконує обробку і керування системою нагрівання на основі отриманих даних про струм і температуру, забезпечуючи необхідні умови нагріву за допомогою зворотнього зв'язку.

Блок 15 відповідає за примусове відключення управління в разі перегріву нагрівального елемента. Це безпечний захисний механізм, що дозволяє запобігти пошкодженню нагрівального елемента або небезпечному перегріву системи в цілому.

Примусове відключення управління в разі перегріву нагрівального елемента є важливою функцією для забезпечення безпеки та надійності системи нагріву. Воно запобігає можливим ураженням електричним струмом, пожежам або пошкодженню елементів системи.

**Висновки.** У даній статті розглянуто методи реалізації та функціональне наповнення терморегуляторів різного призначення. На їх основі пропонується розробити багатофункціональний терморегулятор, функціями якого є:

- робота за розкладом
- відстеження запобігання перегріву нагрівального елемента
- можливість погодозалежного регулювання, коли є гідравлічна система опалення на електричному котлі з програмним підключенням графіків опалення.

Але найважливішою його функцією є обмеження потужності нагрівального елемента. Обмежити струм задля уникнення перевищення максимального струму споживання та перегріву дроту живлення пропонується виконати шляхом застосування нестандартного підходу до будівництва ПД-ШІМ регулятора, керуючого силовим напівпровідниковим ключем. Керування реалізовано фазовим регулюванням з випереджаючим кутом управління.

Таким чином, це ставить його в низку професійних промислових пристроїв і розширює спектр застосування цієї розробки для великого кола споживачів.

Створена концепція побудови системи дозволяє перейти до безпосередньої розробки такого приладу.

#### Список літератури:

1. Навіщо потрібен і як вибрати терморегулятор: веб-сайт. URL: <https://ecoteplo.net/news/navischo-potriben-i-yak-vibrati-termoregulyator>
2. Фазовий регулятор потужності. Вікіпедія: веб-сторінка. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-fired\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-fired_controller)
3. Фазове регулювання. Вікіпедія: веб-сторінка. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазове\\_регулювання](https://uk.wikipedia.org/wiki/Фазове_регулювання)

4. PID controller. Вікіпедія: веб-сторінка. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/PID\\_controller](https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller)

5. P, I, D, PI, PD, and PID control: веб-сайт. URL: [https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial\\_and\\_Systems\\_Engineering/Chemical\\_Process\\_Dynamics\\_and\\_Controls\\_\(Woolf\)/09%3A\\_Proportional-Integral-Derivative\\_\(PID\)\\_Control/9.02%3A\\_P%2C\\_I%2C\\_D%2C\\_PI%2C\\_PD%2C\\_and\\_PID\\_control](https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Industrial_and_Systems_Engineering/Chemical_Process_Dynamics_and_Controls_(Woolf)/09%3A_Proportional-Integral-Derivative_(PID)_Control/9.02%3A_P%2C_I%2C_D%2C_PI%2C_PD%2C_and_PID_control)

#### **Tymchenko A.O., Gubar V.G. RESEARCH AND SOLUTION OF THE PROBLEM OF HEATER CURRENT CONTROL IN THERMOSTATS**

*The article considers the concept of building a device that is a universal thermostat for electric heating devices with advanced functionality.*

*The relevance of the development is to offer a device that can maintain the set temperature for various types of heating elements: underfloor heating, warm carpets, oil or ceramic radiators, as well as thermoelectric heaters (TEHs), electric water boilers. This article discusses the proposal to build a thermostat based on a microcontroller, which will significantly expand the functionality of the thermostat – to control several temperatures (outside in the room, the temperature of the heating element and the temperature of the coolant in hydraulic systems), to control heating according to a given ambient temperature, according to a time schedule, as well as the ratio of the outdoor temperature to the required indoor temperature.*

*The main feature of the proposed thermostat is the function of controlling the current through the electric heating element using the pulse width modulation (PWM) method. This function is used to match the wide power range of heating elements with the capacity of household power grids. Implementation of this function will allow to avoid a fire hazardous situation in case of overloading of the wiring that supplies current and reduces such a device to the category of fireproof.*

*In this article, it is proposed to consider such a device based on commonly used elements and the Atmega 328 microcontroller.*

**Key words:** thermostat, "smart house" system, PWM controller, ARDUINO, Atmega 328, triac key, heating element, fire safety, PID controller, phase control.

**Тимченко К.О.**

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

**Губар В.Г.**

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

## ПРОБЛЕМООРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОННОГО ГОДИННИКА

*У роботі запропоновано принцип побудови електронного годинника призначеного для осіб похилого віку або з обмеженими можливостями зору. В статті проводиться дослідження сучасного ринку електроніки та розглядається значущість розробки такого приладу з огляду на відсутність готових комплексних рішень, які б задовольняли унікальні потреби даної соціальної групи та сприяли покращенню якості життя цільової аудиторії.*

*Основною метою даної статті є презентація функціонально наповненого годинникового пристрою, який забезпечує не тільки інформацію про поточний час та навколишнє середовище, але й слугує електронним секретарем. У роботі запропоновано використання голосових функцій нагадування та керування. Це робить годинник доступним і зрозумілим для користувачів зі зниженою зоровою функцією.*

*Підхід до розробки такого приладу в даній статті пропонується дослідити на базі елементів широкого застосування під управлінням мікроконтролера Atmega 328. Використання даного мікроконтролера дозволяє ефективно керувати функціями годинника і забезпечує високу надійність його роботи. Окрім того, він має достатні розширювальні можливості для додавання нових функцій у майбутньому. Тож, запропонована концепція може служити основою для подальших розробок і вдосконалень в області електронних годинників для осіб з обмеженими можливостями зору. Дослідження в цьому напрямку може сприяти створенню нових інноваційних рішень, які враховують унікальні потреби цільової аудиторії.*

**Ключові слова:** електронний годинник, метеостанція, семисегментний LED дисплей, голосове керування, голосове повідомлення, голосове нагадування, мікроконтролер, ARDUINO, Atmega 328.

**Постановка проблеми.** Старіння населення є достатньо актуальною соціально-демографічною тенденцією, що вимагає уваги та спеціальних рішень для задоволення потреб осіб похилого віку. У сучасному світі розвиток технологій швидко прогресує, що вимагає від користувачів адаптації до нових пристроїв та інтерфейсів. Однак, старше покоління, яке не встигає за цими змінами, може зазнавати проблем та перешкод у використанні сучасних технологічних пристроїв.

Одна з основних проблем полягає у недостатній доступності та незручності використання традиційних годинників. Цифрові дисплеї цих приладів зазвичай мають невеликі розміри та маленькі цифри, що ускладнює їх сприйняття людьми з поганим зором, а це найбільш розповсюджена проблема літніх людей. Годинники з великими екранами зазвичай містять інформацію лише про час, а екземпляри з додатковими функціями потребують хоча б базових вмій і навичок користування цифровими пристроями.

Не менш важливою проблемою осіб похилого віку є дефіцит пам'яті та забудькуватість. В контексті старіння та погіршення когнітивних здібностей, виникає потреба у розробці технологічного рішення, яке б допомагало відновити і підтримувати функції пам'яті. Серед сучасних приладів є так звані «електронні секретарі», що впроваджують функції пам'яті та нагадують про розклад важливих подій і завдань, однак їхній функціонал обмежується тільки даними опціями.

Основною важливою прогалиною серед пропозицій сучасного ринку є нестача годинникових приладів, у яких впроваджена можливість голосової взаємодії.

Також нерідко літні люди страждають від метеозалежності або мають проблеми зі здоров'ям, пов'язані з коливаннями погоди (температура, вологість, тиск та інше). Тож, функція моніторингу температури навколишнього середовища, вологості повітря та барометричного тиску є необхідною опцією, що надає користувачам життєво

важливу інформацію, однак міститься не у всіх пристроях такої категорії.

Таким чином, загальна проблема полягає у нестачі саме *комплексних* рішень, спрямованих на задоволення унікальних потреб літньої категорії суспільства. На сучасному ринку відсутні електронні годинники з повним інтегрованим функціоналом, який включає засоби полегшення візуального сприйняття, аудіо-супровід, керування голосом, а також синхронізацію пристрою із віддаленими хмарними сервісами (часовим, розклад подій тощо).

**Аналіз наявних рішень.** Звичайно, на сучасному ринку електроніки вже існують годинники, спеціально призначені для осіб із зоровою недостатністю. Наприклад, у деяких розробках використовують великі та яскраві дисплеї з високим контрастом, що полегшує отримання візуальної інформації. Деякі мають вбудовані аудіо-функції, які озвучують час і дату голосом. Це сприяє більш зручному сприйняттю інформації без візуальної демонстрації. Існують також годинники, що використовують технологію Брайля, яка дозволяє відображати час та дату у вигляді пунктів, що можна прочитати та сприймати тактильно – дотиком. Це особливо корисно для людей зі зниженою зоровою гостротою, оскільки вони можуть відчуті та розпізнати інформацію без необхідності читати її на екрані.

Таким чином, можна виділити кілька актуальних напрямків досліджень електронних годинників для людей із поганим зором:

1. Голосовий інтерфейс. Розробка ефективних алгоритмів розпізнавання та синтезу голосу, а також інтеграція з системами штучного інтелекту дозволяє забезпечити користувачам зручну та інтуїтивно зрозумілу взаємодію з годинником [1].

2. Великі та контрастні дисплеї. Використання великих та яскравих дисплеїв з підвищеним контрастом дозволяє полегшити сприйняття візуальної інформації користувачами з обмеженими можливостями зору. Дослідження в цій області спрямовані на розробку алгоритмів, що забезпечують чітке відображення часу та дати, а також адаптивне налаштування яскравості та контрасту залежно від умов освітлення.

3. Тактильний зворотній зв'язок. Розробка можливостей використання тактильного відгуку для полегшення взаємодії з годинником. Це можуть бути вібрації, акустичні сигнали або дотикові поверхні, які дозволяють користувачеві отримувати специфічні сигнали часу, нагадувань або налаштувань.

4. Інтеграція з мобільними пристроями. Дослідження спрямовані на розробку годинників, які можуть синхронізуватися з мобільними пристроями за допомогою засобів інтернету. Це дозволяє не тільки синхронізувати час та календарні події, але й отримувати оновлення, налаштування та інші корисні функції через мобільний додаток.

5. Адаптивне керування та персоналізація. Дослідження спрямовані на створення годинників, які можуть адаптуватися до індивідуальних потреб користувача. Це включає налаштування шрифтів, розмірів, режимів відображення та інших параметрів з метою забезпечення максимальної зручності та комфорту.

Деякі компанії вже пропонують готові реалізації, що включають описані вище функції. Наприклад, такі розробки від відомих виробників як: Apple Watch Accessibility [2], Samsung Galaxy Watch Accessibility [3], Fitbit Versa [4], Casio Pro Trek [5] мають ряд переваг, у деяких є ще й додаткові трекери та датчики, наприклад вимірювач пульсу, крокомір тощо. Але їх суттєвий недолік полягає у тому, що всі ці годинники наручні і скоріше зорієнтовані на більш молодіжну аудиторію.

Більш придатними до використання літніми людьми є настільні або настінні екземпляри також від провідних виробників. Нижче наведені деякі приклади.

1. Reizen Talking Atomic Clock [6]. Цей настільний годинник має вбудований голосовий модуль, який погодинно оголошує час з 8:00 до 22:00 та дату. Він синхронізується з атомними годинниками для точного відображення часу, а також має великий та контрастний дисплей для полегшення читання інформації (рис. 1).



Рис. 1. Reizen Talking Atomic Clock

Однак, проблема такого годинника (рис. 1) полягає у відсутності *голосового керування та озвученні* не повного денного часового інтервалу.

2. Serene Innovations CentralAlert CA-360 [7]. Це настільний годинник, який не тільки оголошує час, а й підтримує функцію світлової індикації для

сповіщення про важливі події, такі як телефонні дзвінки чи сповіщення, наприклад, про пожежну тривогу від відповідних систем (рис. 2). Годинник також може бути підключений до інших пристроїв, наприклад, дверних дзвінків або димових детекторів, для отримання аудіо- та візуальних сигналів.



Рис. 2. Serene Innovations CentralAlert CA-360

Годинник, зображений на рис. 2, має багато цікавих додаткових функцій, навіть підключення до системи сигналізації [8], однак, не містить інформацію про дату та температуру навколишнього середовища.

3. DayClox Digital Calendar Clock [9]. Цей настільний годинник має великий та контрастний дисплей з великими цифрами, що полегшує сприйняття інформації людьми із поганим зором (рис. 3). Він також має функцію оголошення часу та дати за допомогою голосового модуля.



Рис. 3. DayClox Digital Calendar Clock

Годинник на рис. 3 має достатньо великий розмір цифр і літер, відображає поточний день, час і дату, має функцію голосового оголошення, але не несе інформації про температуру, і так само, як і попередні зразки, не має функції голосового управління.



Рис. 4. Рідкокристалічні годинники

На рис. 4 представлено годинники з великою кількістю інформації на рідкокристалічному дисплеї. Тут міститься достатньо багато корисної інформації, але її зчитування потребує неабияк напружувати зір та не одразу легко зорієнтуватися в інформації що надається.



Рис. 5. Годинник з дзеркальним екраном

На рис. 5 зображено годинник із дзеркальним екраном. Розмір цифр досить великий, але за дзеркалом. Розгледіти трохи складно, особливо при яскравому освітленні.

Тож, хоча на ринку й існують окремі розробки електронних годинників для осіб із поганим зором, жодна з них не об'єднує всі описані функції.



Рис. 6. Структурна схема функціоналу годинника





Рис. 7. Макет розміщення інформації на екрані годинника

**Постановка завдання.** Зважаючи на те, що наявні на ринку екземпляри, пропонують обмежений функціонал, у статті розглядається концепція комплексного рішення електронного годинника для літніх людей зі зниженою зоровою функцією. Ідея наповнення такого прикладу поєднає голосовий інтерфейс, великий контрастний дисплей, інтеграцію з віддаленими серверами та адаптивне керування.

Рекомендоване функціональне наповнення годинника зображено на рис. 6. Керування основних і додаткових модулів розширення та датчиків здійснюється мікроконтролером широкого застосування Atmega 328.

За зразок ергономічного дизайну пропонується розглянути годинник CX 4622 LED [10]. На його дисплеї великими цифрами відображається поточний час, а додаткова інформація з календаря та термометрів розміщується в нижній частині екрану меншими розмірами (рис. 7). Розміщення інформації за таким шаблоном допоможе запобігти проблемі перенасичення зорового сприйняття.

**Виклад основного матеріалу.** Оскільки основною функцією годинника є демонстрація поточного часу і його відображення має бути достатньо великим, це може призвести до високої собівартості кінцевого виробу. Адже, чим більші семи-сегментні індикатори у розмірі, тим вища їхня ціна [11]. Аби зарадити цій проблемі великі цифри основного годинникового дисплею можна виконати з відрізків світлодіодної стрічки [12]. Яскравість відображення інформації підлаштовується автоматично в залежності від освітлення приміщення за допомогою блоку датчика освітлення (рис. 6).

Використання додаткових датчиків температури, відносної вологості та тиску дозволяє отримати маленьку метеостанцію. Відображення інформації про температуру у приміщенні та на вулиці пропонується розмістити за шаблоном, наданим на рис. 7, в одному просторі, методом перемикавання показників температури (то ззовні, то всередині) кожні 3 секунди. Показники вологості та тиску пропонується не виводити на екран,

а впровадити можливість її трансляції в голосовому сповіщенні по запиті «погода». Така організація простору дозволить зменшити візуальне навантаження екрану та водночас наповнити пристрій всією необхідною інформацією. Реалізація відтворення голосової інформації про поточний час, день тижня або дату, за таким самим принципом, дозволить вирішити проблему голосового управління пристроєм. Це дасть можливість будь-якому користувачу легко взаємодіяти з годинником навіть при обмеженій моториці або повній відсутності зору.

Унікальність ідеї голосових нагадувань полягає у їх автоматичному відтворенні, відповідно до сформованого розкладу, що синхронізується із вбудованими таймерами. Використання вбудованого модуля Wi-Fi дозволить за необхідності синхронізувати розклад з Google акаунтом, а також дистанційно отримати відомості про час і погодні умови поза приміщенням, в якому знаходиться пристрій. Якщо прилад використовується за умов відсутності інтернет зв'язку, то для синхронізації точного відліку додатково можна використовувати вбудований GPS-модуль.

Безперебійна система живлення дозволить зберегти відлік часу та енергонезалежну пам'ять, мати синхронізацію зі світовим часом [13]. Таким чином, є можливість забезпечення автономності роботи годинникового приладу.

Створена концепція побудови системи дозволяє перейти до безпосередньої розробки такого пристрою.

**Висновки.** У статті представлено унікальне інноваційне рішення – інклюзивний електронний годинник, спеціально розроблений для людей похилого віку, з проблемами зору або недосвідчених користувачів електронних пристроїв.

Хоча ідея створення електронного годинника, що задовольняє особливі потреби людей цієї категорії, не є новою, аналіз аналогів показав, що пристрій, який було описано в статті, має унікальний функціональний набір, відсутній у наявних рішеннях на ринку. Крім того, його доступна ціна робить його привабливим варіантом для широкого кола користувачів.

Пристрій відзначається своїм функціональним наповненням, що включає відображення поточного часу, дати, температури приміщення та навколишнього середовища, відносної вологості та барометричного тиску, а також синхронізацію із зовнішнім сервісом точного часу та можливість голосової взаємодії із користувачем. Голосове управління, а також можливість запису та відтворення

голосових нагадувань – це не просто зручна функція, а й основа перевага пристрою, що має змогу допомогти пристосувати людей похилого віку до реального часу.

Запропонована концепція побудови годинника дозволяє охопити більш широкі верстви населення, особливо людей похилого віку, які

мають певні вимоги щодо отримання візуальної інформації. Крім того, дана розробка відкриває перспективи для подальших досліджень та може сприяти розвитку технологій, забезпечувати соціальний прогрес і створювати нові можливості для комерціалізації електронних годинників з подібним функціоналом.

#### Список літератури:

1. Цифрові настільні годинники з голосовим управлінням. Інтернет-магазин «Росет» : веб-сайт. URL: <https://roset.uaprom.net/ua/p1096405937-tsfrovye-nastolnye-chasy.html>
2. Apple previews innovative accessibility features combining the power of hardware, software, and machine learning. apple.com : веб-сайт. URL: <https://www.apple.com/newsroom/2022/05/apple-previews-innovative-accessibility-features/>
3. Accessibility features on your Samsung smart watch. samsung.com : веб-сайт. URL: <https://www.samsung.com/us/support/answer/ANS00080311/>
4. Fitbit Versa Specifications. Mobile Mob : веб-сайт. URL: <https://mobilemob.com.au/blogs/news/fitbit-versa-specifications>
5. Casio Pro Trek. Time Unique : електронний портал. URL: <https://timeunique.com/en/casio-pro-trek/>
6. Reizen Talking Atomic Alarm Clock. MaxiAIDS.com : веб-сайт. URL: <https://www.maxiaids.com/reizen-talking-atomic-alarm-clock>
7. Serene Innovations CA-360 Central Alert System - ONLY RECEIVER. diatec : веб-сайт. URL: <https://diatec-diagnostics.ca/en/serene-innovations-ca-360r-central-alert-system>
8. Електронний годинник із звуковою сигналізацією: пат. 3644 Україна: 66227/SU; заявл. 22.08.1973; опубл. 27.12.1994, бюл. № 6-II/1994
9. DayClox Original Memory Loss Digital Calendar Day Clock - «FREE SHIPPING». Senior Care Shop. com : веб-сайт. URL: <https://seniorcareshop.com/products/dayclox-dementia-day-clock>
10. Годинники електронні CX 4622 LED number clock. MEGA-X-SHOP : веб-сайт. URL: <https://x-shop.in.ua/ua/p1481763150-elektronnye-chasy-4622.html>
11. Індикатор 17.5 см. MICROтехнік : веб-сайт. URL: [https://m-teh.com.ua/indikator-1-rozryad-7chervoniy-anod-chorniy-fon-kl-70011-bsr/?gclid=Cj0KCQjwmtGjBhDhARIsAEqfDEenmamVIZ349C26CMNgtbrcg9IZmQ1LHKEDu8T8gM9orBZBbWouZQQaAhaYEALw\\_wcB](https://m-teh.com.ua/indikator-1-rozryad-7chervoniy-anod-chorniy-fon-kl-70011-bsr/?gclid=Cj0KCQjwmtGjBhDhARIsAEqfDEenmamVIZ349C26CMNgtbrcg9IZmQ1LHKEDu8T8gM9orBZBbWouZQQaAhaYEALw_wcB)
12. circuiteffects project. part-1 how to make digital clock using arduino with pixel led strip || arduino digital clock. YouTube : video-hosting. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=W5WD7k3HUHY&ab\\_channel=circuiteffectsproject](https://www.youtube.com/watch?v=W5WD7k3HUHY&ab_channel=circuiteffectsproject)
13. Сервер точного часу. time.in.ua : веб-ресурс. URL: <http://time.in.ua/ua/>

#### **Tymchenko K.O., Gubar V.G. A PROBLEM-ORIENTED APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC WATCHES**

*The paper discusses the principle of building an electronic watch specifically designed for the elderly or visually impaired. The article conducts a study of the modern electronics market and considers the importance of developing such a device in view of the lack of ready-made integrated solutions that would meet the unique needs of this demographic group and contribute to improving the quality of life of the target audience.*

*The main purpose of this article is to present a functionally rich watch device that provides not only information about the current time and environment, but also serves as an electronic secretary. The paper proposes the use of voice reminder and control functions. This makes the watch accessible and understandable to users with reduced visual function.*

*The approach to the development of such a device in this article is proposed to be studied on the basis of elements of wide application under the control of the Atmega 328 microcontroller. The use of this microcontroller allows to effectively control the functions of the watch and ensures high reliability of its operation. In addition, it has sufficient expansion capabilities to add new functions in the future. Therefore, the proposed concept can serve as a basis for further developments and improvements in the field of electronic watches for the visually impaired. Research in this area can contribute to the creation of new innovative solutions that take into account the unique needs of the target audience.*

**Key words:** *electronic watch, weather station, seven-segment LED display, voice control, voice message, voice reminder, microcontroller, ARDUINO, Atmega 328.*

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 519.688

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/09>**Абрамова А.О.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ПРОЕКТУВАННЯ ІОНООБМІННИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД У MATLAB

У статті розглянуто процес очищення стічних вод методом іонного обміну. Цей метод є розповсюдженим через можливість проводити утилізацію кошових домішок і забезпечувати очищення до гранично допустимих концентрацій. Проаналізовано та виділено основні процеси, що відбуваються при очищенні стічних вод на основі іонообмінних процесів. Складені такі математичні моделі: процесу сорбції в іонообмінному фільтрі, процесу регенерації іоніту, процесу відмивання на підставі аналізу існуючих математичних моделей процесів, що функціонують у іонообмінних системах. Обрано метод прогону як метод розрахунку коефіцієнтів моделей без проведення експерименту. Розроблено програмний комплекс з метою автоматизації проектування складових іонообмінних процесів очищення стічних вод. Програмний комплекс створено з використанням *m*-сценаріїв у системі *Matlab*. Специфіка роботи програмного комплексу полягає у взаємодії з користувачем у консольному діалоговому режимі. Для розрахунку користувач повинен завчасно підготувати файли даних, опис формату яких надається програмою, після цього вказати ці файли на початку роботи у головному вікні програмного комплексу. Виконано розрахунок вузла іонообмінного очищення продувних і поверхневих стічних вод. Розглянуто технологічну схему робочої лінії по очищенню продувних стічних вод. Кожна лінія являє собою наступні послідовно з'єднані апарати: механічний зернистий фільтр, *H*-катіонітовий фільтр, декарбонізатор з баком для декарбонізованої води та *ОН*-аніонітовий фільтр. В результаті розрахунків сформовано зведені таблиці основних показників фільтрів досліджуваної технологічної схеми робочої лінії. Отримано розподіл концентрації іонів у воді по висоті колони на виході з кожного фільтру у графічному та числовому вигляді. У статті представлено результати для *H*-катіонітового фільтру.

**Ключові слова:** іонний обмін, іонообмінний фільтр, сорбція, регенерація, очищення стічних вод, автоматизація, математичне моделювання.

**Постановка проблеми.** Очищення стічних вод є обов'язковим елементом сучасних хімічних виробництв і підприємств, що мають цехи хімічного профілю. Вибір методів очищення стічних вод залежить від вимог до якості очищення, типу домішок та сфери подальшого використання оброблених стоків. Очищення стічних вод методом іонного обміну одержало широке поширення, тому що цей метод дає змогу утилізувати кошові домішки і забезпечує очищення до гранично допустимих концентрацій [1]. Метод іонного обміну досить добре вивчений по фізико-хімічній природі. Однак існуючі методи проектування практично не використовують потенціалу накопиченої науково-дослідної інформації [2]. З однієї сторони не формалізовані результати багатьох досліджень

не дозволяють їх безпосередньо використовувати в проектних розробках, а з іншого боку – існуюча практика проектування виключає таку можливість.

Комп'ютеризація інженерної праці в області проектування дозволяє системно зберігати, аналізувати і використовувати величезний науково-практичний матеріал з метою розроблення якісних проектів у разі створення нових і реконструкції діючих схем очищення стічних вод.

Використовувані проектувальниками наближені методи розрахунку не дозволяють провести оптимізацію режимів функціонування окремого устаткування і технологічних схем у цілому на стадії проектування. Цю задачу дозволяють вирішувати методи математичного моделювання, що через обсяги проведених розрахунків безпосередньо

пов'язані з впровадженням обчислювальної техніки в процес проектування. У зв'язку з цим задача розроблення програмного комплексу проектування іонообмінних систем очищення стічних вод є **актуальною**.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш розповсюдженими для організації процесу іонного обміну в системах очищення стічних вод з метою коректування сольового складу чи демінералізації є іонообмінні фільтри. Вони характеризуються високими надійністю і продуктивністю, завантажуються, як правило, зернистими іонами. З їхньою допомогою здійснюються різні методи іонування при спадному і висхідному потоках води, що очищаються [3, 4]. Аналізування існуючих способів технологічної організації коректування сольового складу оборотних і стічних вод дозволив виділити, як найбільш розповсюджений, іонообмінний апарат з нерухомим шаром іоніту (іонообмінний фільтр). Основними складовими стадіями (процесами) його функціонування є: сорбція (видалення домішок приготуванням іонітом), розпушення шару іоніту, регенерація відпрацьованого іоніту і відмивання від продуктів регенерації і надлишку регенераційного розчину.

Аналізуючи математичні моделі опису сорбції авторами [5, 6] доведено, що найбільш характерною особливістю динаміки обміну сумішей є витіснення менш сорбованих компонентів більш сорбованими, що обумовлене розходженням у їх сорбованості, у результаті чого швидкість руху фронтів усіх компонентів суміші, крім найбільше сорбованого, при обміні в суміші стає більше, ніж швидкість руху кожного з цих іонів при індивідуальному обміні (якщо концентрації іонів при індивідуальному обміні і при обміні в суміші рівні). У результаті розходження у швидкостях руху відбувається поділ суміші, що виявляється в утворенні декількох зон. Авторами [7, 8] встановлено, що значення правильного прогнозування умов регенерації іонітів в іонообмінних системах очищення стічних вод важко перебільшити. Виділено кілька факторів, що це підтверджують: по-перше, оскільки іонообмінні фільтри – апарати, як правило, періодичної дії і час регенерації визначає (разом з міжрегенераційним періодом) час нормальної експлуатації; по-друге, якість регенерації значною мірою визначається типом забруднюючих домішок (тих, що нагромадив іоніт) і кількістю утриманої порами іоніту води; по-третє, значний вплив на ступінь регенерації робить і сам регенераційний розчин, що був обраний, а це обумовлює

і термін роботи іоніту і якість води, що очищається. Процес відмивання найменш вивчений, проте в роботі [9] представлена математична модель процесу відмивання, побудована на припущенні про водяну адсорбцію з опуклою ізотермою, а основна розрахункова залежність визначає час відмивання, після закінчення якого у фільтраті з'являється якась концентрація електроліту. Проведений аналіз існуючих математичних моделей досліджуваних процесів дає змогу сформулювати алгоритм програмного комплексу проектування іонообмінних систем очищення стічних вод.

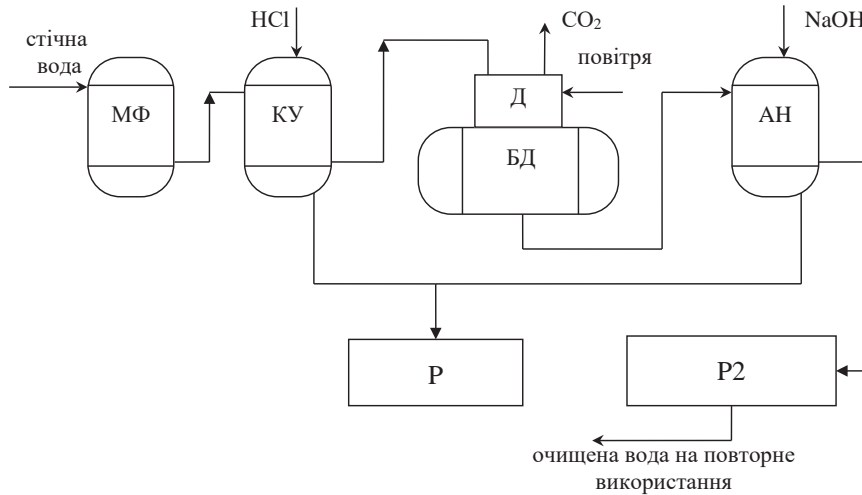
**Метою статті** є розроблення програмного комплексу проектування іонообмінних систем очищення стічних вод на основі сформованих математичних моделей процесів у іонообмінних системах.

**Виклад основного матеріалу.** Іонний обмін є різновидом рідинної адсорбції, тому при розрахунку процесу іонного обміну доцільно використати прийоми й принципи адсорбції. Іонний обмін використовується для очищення стічних вод різних хімічних виробництв, а також для вилучення індивідуальних іонів кольорових металів з наступним їхнім поверненням на повторне використання [9].

В схемах іонообмінного очищення можна виділити три основних вузла іонообмінного очищення стічних вод: катіонування, декарбонізація, аніонування.

У роботі розглядається принципова технологічна схема робочої лінії, що представлена на рис. 1 [10]. Запропонована технологічна схема враховує особливості компонентного складу води, що надходить на очищення.

Станція знесолення продувних і поверхневих стічних вод продуктивністю 300 м<sup>3</sup>/год (2,3 млн. м<sup>3</sup>/рік) включає чотири технологічні лінії по 150 м<sup>3</sup>/год, з'єднані за блоковою схемою, і бакове господарство. Кожна лінія являє собою наступні послідовно з'єднані апарати: механічний зернистий фільтр, Н-катіонітовий фільтр, декарбонізатор з баком для декарбонізованої води та ОН-аніонітовий фільтр. З чотирьох ліній три робочі, одна знаходиться в резерві. У фільтри резервної лінії іоніти не завантажені, натомість передбачена можливість гідравлічного перевантаження іонітів з робочих фільтрів у резервні [11]. Знесолення стічних вод здійснюється безупинно на двох із трьох робочих ліній, третя в цей час регенерується. Іонообмінний вузол призначений для очищення продувних і поверхневих стічних вод з характерним вмістом наступних домішок.



**Рис. 1. Технологічна схема робочої лінії по очищенню продувних стічних вод: МФ – механічний зернистий фільтр; КУ – Н-катионітовий фільтр; Д – декарбонізатор; БД – бак для декарбонізованої води; АН – ОН-аніонітовий фільтр; Р – збірник елюатів; P2 – збірник очищеної води**

Вибір моделі, що описує процес іонного обміну, залежить від наступних даних [7]:

- типу апарату, в якому здійснюється процес: апарат з нерухливим чи нерухливим шаром; з киплячим шаром і ін.;
- характеристик домішок, що підлягають видаленню, чи компонентів, необхідних до видалення із системи: неорганічні чи органічні сполуки; індивідуальний компонент чи суміш і ін.;
- тип використовуваного іоніту: зернистий, гранульований, порошкоподібний, волокнистий і ін.; катіоніт, аніоніт, змішаної дії й ін.

Визначальним моментом при виборі типу іоніту є характеристика середовища, що очищається, і здатність обраного іоніту «працювати» у створюваних умовах (вплив рН середовища, температури, гідралічного навантаження, регенерації).

*Формування математичної моделі процесу сорбції в іонообмінному фільтрі.* Оскільки в практиці очищення стічних вод (глибока демінералізація) найчастіше використовується контроль по натрій-іону і хлору-іону, то імітація сорбції проходить по однокомпонентному механізму. Безумовно, це відноситься до випадку, коли в системі не протікає ніяких хімічних реакцій, крім іонного обміну, що може розглядатися, як процес масообміну з високим значенням коефіцієнта масопередачі [7]. Якщо в іонообмінному процесі беруть участь три і більше іонів, що знаходяться в рідкій і твердій фазах, то відповідно до гіпотези Нікольського Б. П. і Гапона Є. М. обмін будь-якої пари іонів протікає незалежно від інших іонів, що є присутніми у системі. Таким чином, приймаючи

за основу однопараметричну дифузійну модель для рідкої фази і з огляду на те, що процес відбувається з високим значенням коефіцієнта масо передачі, математичний опис процесу сорбції на іоніті включає наступні рівняння [11]:

– процес переносу речовини в рідкій фазі (воді):

$$D_{11} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v \frac{\partial c}{\partial x} - \beta_1 (c - c^*) = \varepsilon \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (1)$$

– процес переносу речовини у твердій фазі (іоніті):

$$D_2 \frac{\partial^2 a}{\partial x^2} + \beta_1 (c - c^*) = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \frac{\partial a}{\partial t}, \quad (2)$$

– рівновага в системі (ізотерма Нікольського):

$$\frac{a_i^{1/z_i}}{a_j^{1/z_j}} = K_{ij} \frac{c_i^{1/z_i}}{c_j^{1/z_j}}. \quad (3)$$

Система рівнянь (1)–(3) доповнена наступними початковими і граничними умовами по рідкій і твердій фазах відповідно:

$$\begin{aligned} x = 0: & \quad D_{11} \frac{\partial c}{\partial x} = v(c - c_o); \quad D_2 \frac{\partial a}{\partial x} = \beta_2 (a - a^*); \\ x = L: & \quad \frac{\partial c}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial a}{\partial x} = 0 \\ t = 0: & \quad c = c_o; \quad a = a_o; \end{aligned} \quad (4)$$

а також рівняннями зв'язку, що враховують еквімолярність системи (за умови електронейтральності рідкої фази):

$$\sum_{i \neq j}^n c_{ij} = c_o; \quad \sum_{i \neq j}^n a_{ij} = A; \quad (5)$$

де:  $a$ ,  $c$  – концентрація іонів (сумарний утримання) в іоніті і воді відповідно, мг-екв/мл;  $a_o$ ,

$c_o$  – початкова концентрація іонів в іоніті і воді відповідно, мг-екв/мл;  $a^*$ ,  $c^*$  – рівноважна концентрація іонів в іоніті і воді відповідно, мг-екв/мл;  $A$  – динамічна обмінна ємність іоніту, мг-екв/мл;  $D_{11}$  – ефективний коефіцієнт подовжньої дифузії в рідкій фазі, м<sup>2</sup>/год;  $D_2$  – ефективний коефіцієнт дифузії домішок у пористому середовищі, м<sup>2</sup>/год;  $K$  – концентраційна константа обміну для ізотерми Нікольського;  $\beta_1$  – коефіцієнт зовнішнього масопереносу, 1/год;  $\beta_2$  – коефіцієнт внутрішнього масопереносу, 1/год;  $x$  – координата (початок відліку – місце введення води, що очищується,  $0 \leq x \leq L$ ), м;  $L$  – довжина (висота) шаруючи іоніту, м;  $t$  – час ( $0 \leq t \leq T$ ), год;  $T$  – міжрегенераційний період (корисний час процесу), год;  $\varepsilon$  – пористість шару іоніту (для стандартних промислових іонітів = 0.4);  $\nu$  – приведена швидкість плинину рідини у фільтрі, м/год;  $j$  – індекси обмінюваного й обмінюючого іонів.

При складанні математичного опису шар іоніту розглядався як рівномірно розподілені по довжині мікро- і макро-пористі зони. Тому гідродинаміка і була описана рівнянням однопараметричної дифузійної моделі (1), а інтенсивність масопереносу в мікропористих зонах рівнянням (2) аналогічним за формою рівнянню дифузії Фіка. Основними параметрами математичного опису (1)–(5) є: ефективний коефіцієнт подовжньої дифузії ( $D_{11}$ ), ефективний коефіцієнт дифузії сорбованого компонента у твердій фазі ( $D_2$ ), коефіцієнт масопередачі ( $\beta_1$ ), константа іонного обміну ( $K$ ) [13].

Розрахунок коефіцієнта зовнішнього масопереносу здійснювався по залежності (6):

$$\beta_1 = \frac{Nu \cdot D_o}{d_r^2}, \quad (6)$$

Значення коефіцієнта внутрішнього масопереносу визначається за емпіричною корелюючою залежністю [12] (з урахуванням одиниць виміру):

$$\beta_2 = \frac{0.168 \cdot D_2}{d_r^2} \quad (7)$$

*Формування математичного опису процесу регенерації іоніту.* Для розгляду процесу регенерації використовуємо наступну схему: шар іоніту складається з часток іоніту, що утримують вилучені зі стічної води домішки, а вільний простір між ними заповнено чистою водою (результат розпушуючого промивання). Безпосередньо в регенерації варто виділити наступні моменти: розведення регенераційного розчину залишками промивної води, безпосередньо регенерація, віднесення продуктів регенерації. Виходячи з вищевикладеного, модель регенерації іоніту з урахуванням розведення регенераційного розчину включає наступні рівняння [7]:

$$\frac{\partial C_{Ro}}{\partial t} = T_R (C_{Rex} - C_{Ro}); \quad (8)$$

$$D_R \frac{\partial^2 C_R}{\partial x^2} - \nu_R \frac{\partial C_R}{\partial x} - \beta_R (C_{Ro} - C_R^*) = \varepsilon \frac{\partial C_R}{\partial t}; \quad (9)$$

$$D_{ef} \frac{\partial^2 a_R}{\partial x^2} + \beta_R (C_{Ro} - C_R^*) = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} \frac{\partial a_R}{\partial t}; \quad (10)$$

$$C_R^* = k a_R^n \quad (11)$$

Граничні і початкові умови :

$$x = 0 : D_R \frac{\partial C_R}{\partial x} = \nu_R (C_{Rex} - C_R); \quad D_{ef} \frac{\partial a_R}{\partial x} = \gamma (a_R^* - a_R);$$

$$x = L : \frac{\partial C_R}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial a_R}{\partial x} = 0; \quad (12)$$

$$0 < x < L : C_{Rex} = C_R^*;$$

$$t = 0 : C_R = C_{Ro} = C_{Rex}; \quad a_R = 0;$$

де  $T_R$  – параметр розведення розчину, 1/год;  $D_R$ ,  $D_{ef}$  – ефективні коефіцієнти дифузії в рідкій і твердій фазах, м<sup>2</sup>/год;  $\nu_R$  – приведена швидкість руху регенераційного розчину, м/год;  $\beta_R$ ,  $\gamma$  – коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього масопереносу, 1/год;  $k$ ,  $n$  – константи ізотерми;  $C_{Rex}$ ,  $C_{Ro}$  – концентрація регенераційного розчину на вході у фільтр, після розведення водою з міжфазного простору, г-екв/л;  $C_R$ ,  $a_R$  – концентрація регенераційного розчину в рідкій і твердій фазах.

Таким чином рівняння (8)–(12) описують математичну модель регенерації іоніту в іонообмінному фільтрі.

*Формування математичного опису відмивання іоніту.* Технологічно відмивання іоніту проводять після регенерації, причому використовується частина очищеної води, призначеної для власних потреб іонообмінних фільтрів. При цьому видаляється надлишок регенераційного розчину з міжіонітного простору, утримуваний іонітом.

Приймаючи модель запропоновану у [7] за основу, враховуючи також, що вода, що подається на відмивання має домішок електроліту, одержуємо залежність, що дозволяє розрахувати вихідну концентраційну криву:

$$D_{ж,о} C(t) = C_o e^{(k_{om}-1)t} [1 + \beta_o (\frac{L}{V_o m} - \frac{C_o}{a_o} t)] \quad (13)$$

де  $C$ ,  $C_{вх}$ ,  $C_o$  – концентрація електроліту на виході, у промивній воді, у регенераційному розчині, г-екв/куб.дм;  $t$  – час відмивки, г;  $L$  – висота шару іоніту, м;  $V_{om}$  – приведена швидкість відмивки км/год;  $\beta_o$  – коефіцієнт масопередачі, 1/год;  $a_o$  – повна обмінна ємність, г-екв/куб.дм;  $k_{om}$  – константа обміну.

Доповнюючи рівняння (13) розрахунком основного параметра процесу, коефіцієнта масопередачі, відповідно до рекомендації [13], і привівши розрахункові формули до одиниць, прийнятим у роботі, одержуємо наступні залежності:

$$\beta_0 = 16,667 \frac{1 - \varepsilon}{d^2 r m} D_r S_h$$

$$Sh = 2 + \frac{A(\text{Re} \cdot \text{Pr})^{1.7}}{1 + (\text{Re} \cdot \text{Pr})^{1.2}} = 2 + \frac{0,66}{[1 + (0,84 + Sc^{1/6})^3]^{0,33}} \quad (14)$$

$$\text{Re} = 0,278 \cdot \frac{d_r V_{om}}{\eta}$$

де –  $S_h$  критерій Шервуда.

Залежність (13) справедлива в інтервалі  $0 \leq \text{Re} < 3 \cdot 10^5$  і  $0 \leq \text{Pr} < \infty$ .

Для рішення математичних моделей (1)–(14) був обраний метод прогону, який одержав широке поширення у разі рішення систем різницевих рівнянь, що виникають при апроксимації крайових задач для диференціальних рівнянь другого порядку [14]. Метод прогону являє собою варіант методу послідовного виключення невідомих.

За сформованою системою математичних моделей іонообмінних процесів очищення стічних вод та обраним методом їх вирішення з метою автоматизації процесу проектування вузла іонообмінного очищення стічних розроблено програмний комплекс на мові m-сценаріїв у системі Matlab [15]. Взаємодія з користувачем відбувається у консольному діалоговому режимі. Користувач має завчасно підготувати файли даних, опис формату яких надається програмою, після цього вказати ці файли програмі.

Головне вікно програмного комплексу представлено на рис. 2.

Обираємо файли з підготовленими даними для розрахунку: «Характеристики вхідного потоку», «Початкові дані», «Діаметри фільтрів» (рис. 3).

По завантаженні даних з обраних файлів проводиться розрахунок, виводиться на екран і результат зберігається у файл звіту.

Проведено розрахунок процесу іонного обміну в нерухомому прошарку (вихідні дані для розрахунку представлено у таблиці 1, рис. 1).

Таблиця 1

**Вихідні дані**

Найменування	Одиниці виміру	Значення
Витрата води, що очищується	м³/год	150
Необхідна лінійна швидкість	м/год	15
Кращий міжрегенераційний період	год	12
Діаметри фільтрів	м	3.4
Іоніт		КУ-2-Н
Розрахункова обмінна ємність	мг-екв/мл	1.2
Концентрація домішок на вході:		
– в іоніті	мг-екв / мл	0
– у воді	мг-екв / мл	0.018
Припустима у воді концентрація на виході	мг-екв / мл	0.002
Регенерація розчином		HCL
Концентрація регенераційного розчину	%мас.	5
Кратність (еквіваленту) питомої витрати	б/р	2.5

В результаті виконання програми отримано: значення лінійної швидкості, концентрації іонів на вході і виході, кількість регенерацій, між регенераційний період, витрата регенераційного

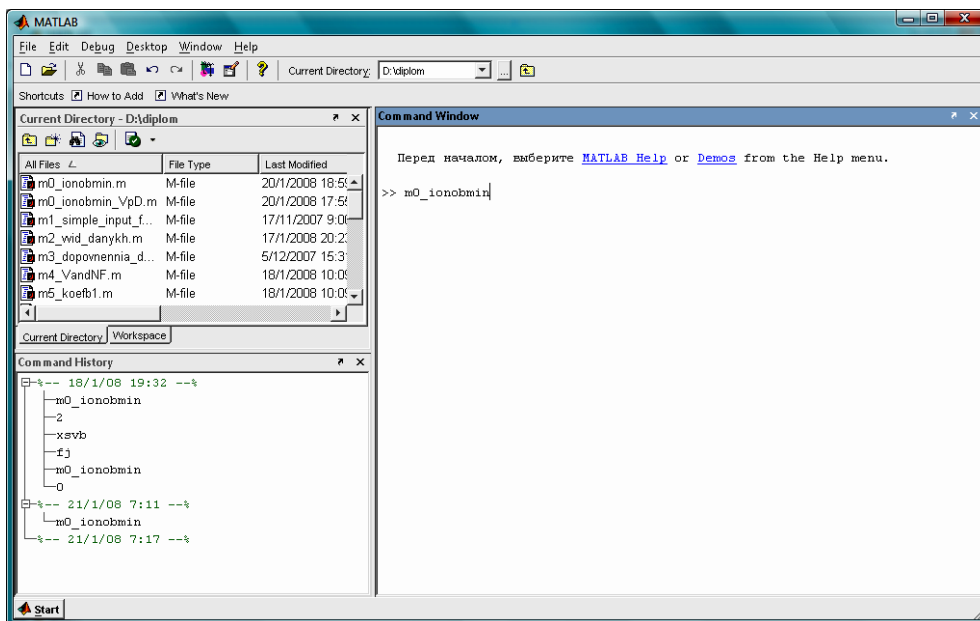


Рис. 2. Головне вікно програмного комплексу

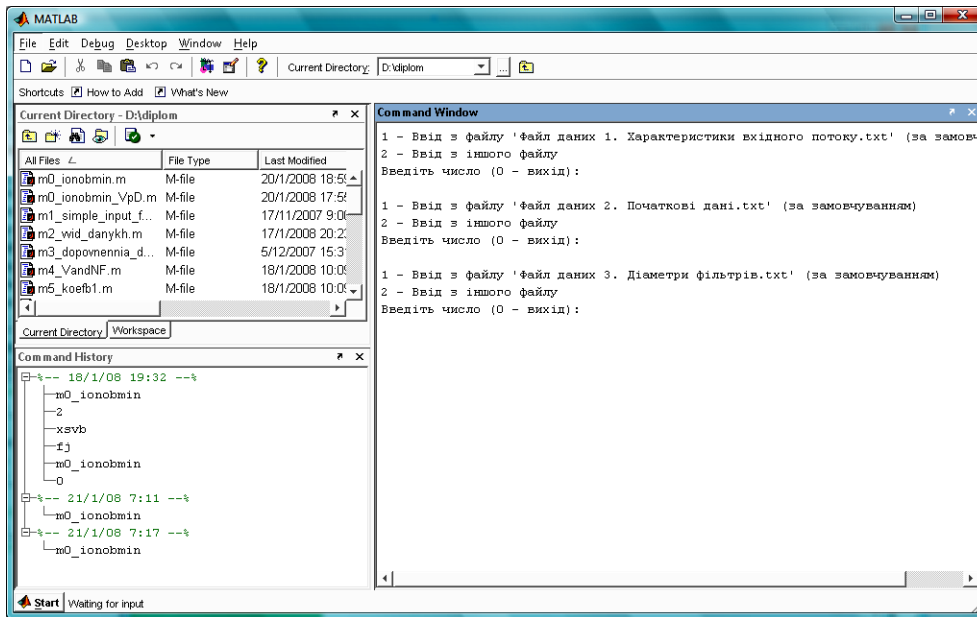


Рис. 3. Вікно введення характеристик вхідного потоку, початкових даних і діаметрів фільтру

Таблиця 2  
Розподіл концентрації іонів у воді по висоті колони на виході з Н-катионітового фільтру

Висота, м	Концентрація в іоніті	
	С <sub>вих.</sub> , г-екв/дм <sup>3</sup>	
0	1.199801	0.017997
0.8	1.196389	0.017939
1.2	1.16779	0.017445
1.6	1.031	0.015118
2	0.683366	0.009573
2.4	0.284128	0.003793
2.65	0.156619	0.001985

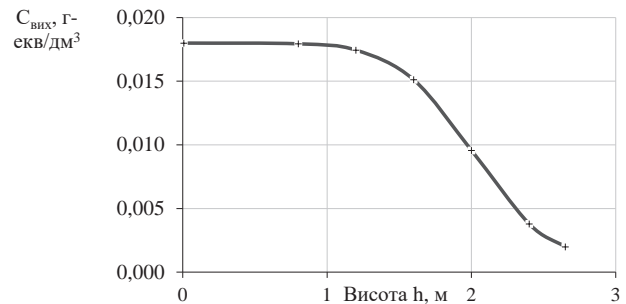


Рис. 5. Розподіл концентрації іонів у воді по висоті колони на виході з Н-катионітового фільтру

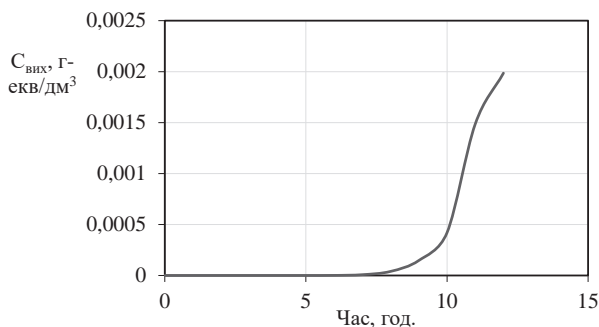


Рис. 4. Залежність концентрації іонів на виході з Н-катионітового фільтру від часу його роботи

розчину, гідравлічний опір шару, добова витрата води на 1 регенерацію, кількість очищеної води, швидкість, час для кожного фільтра робочої лінії.

Розраховано розподіл концентрації іонів на виході з фільтрів від часу роботи та по висоті

апарату. Результати розрахунку розподілу концентрації іонів у воді по висоті колони на виході з Н-катионітового фільтру представлено у таблиці 2, рис. 4, рис. 5.

Розроблений програмний комплекс проектування та розрахунку систем іонообмінного очищення стічних вод має практичне значення і може використовуватись у передпроектних розрахунках підприємств.

**Висновки.** Проведено аналізування процесу функціонування іонообмінного фільтра як найбільш розповсюдженого апарата для промислової організації процесу очищення стічних вод. У дослідженні виділені основні процеси, що потребують формування математичної моделі: сорбція, розпушення і пропуск регенераційного розчину, відмивання від продуктів регенерації і надлишку регенераційного розчину. На підставі аналізу існуючих



математичних моделей процесів, що функціонують у іонообмінних системах, запропоновано математичні моделі процесу сорбції в іонообмінному фільтрі, процесу регенерації іоніту, процесу відмивання іоніту. Розроблено програмний комплекс

проекування та розрахунку систем іонообмінного очищення стічних вод у системі Matlab. Із використанням програмного комплексу виконано розрахунок вузла іонообмінного очищення продувних і поверхневих стічних вод для підприємства.

### Список літератури:

1. Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.2: Методи очищення стічних вод. Вінниця: ВНТУ, 2014. 258 с.
2. Мінаєва В. О. Іонний обмін та іонообмінна хроматографія. Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2013. 128 с.
3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с.
4. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Під заг.ред. А.К. Запольського. К.: Лібра, 2000. 551 с.
5. Буртна. І. А., Ружинська Л. І., Мурашко М. М., Руденко Л. С. Математична модель процесу сорбції полімерними мембранними елементами рідких органічних речовин // *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. № 6(6). С. 19-23.
6. Сорбція. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш; за заг. ред. Р. А. Шмига. Львів, 2010. 181 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни „Перспективні хімічні технології” для студентів спеціальності 6.091602 – Хімічна технологія неорганічних речовин./ Укладач: Черненко Я. М. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. 85 с.
8. Трофіменко М. О., Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очищення стічних вод». Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2010. 118 с.
9. Староста В. І., Янчук О. М. Колоїдна хімія. Практикум: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Луцьк: Східноєвроп. нац. ун-т ім. Лесі Українки, 2014. 360 с.
10. Гіроль, М. М., Гіроль, А. М., Гіроль, А. М. *Технології водовідведення промислових підприємств*. НУВГП, Рівне. 2013. 625 с
11. Айрапетян Т. С. Технологія очистки промислових стічних вод : конспект лекцій, Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 73 с.
12. Сабадаш В.В. Теоретичні основи сорбційних процесів на природних та синтетичних сорбентах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08, Львів, 2019. 472 с.
13. Чуб І. М. Масообмінні процеси водопідготовки: навч. посібник. Харків. нац. ун-т міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 161 с.
14. Гой Т. П., Копач М. І., Федак І. В. Наближені методи розв'язування диференціальних рівнянь. Навчальний посібник для студентів напрямів підготовки “математика” та “прикладна математика”. Івано-Франківськ: Видавничо-дизайнерський відділ Центру інформаційних технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. 148 с.
15. Гаєв Є. О., Нестеренко Б. М. Універсальний математичний пакет MATLAB і типові задачі обчислювальної математики. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2004. 176 с.

### **Abramova A.O. DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE COMPLEX FOR THE DESIGN OF ION-EXCHANGE SYSTEMS OF PURIFICATION OF WASTE WATER IN MATLAB**

*The article deals with the process of sewage treatment by ion exchange. This method is widespread due to the ability to dispose of precious impurities and provide cleaning to maximum permissible concentrations. The basic processes that occur when sewage treatment on the basis of ion-exchange processes are analyzed and isolated. The following mathematical models are drawn up: the process of sorption in ion-exchange filter; the process of ionite regeneration, the process of laundering on the basis of the analysis of existing mathematical models of processes operating in ion-exchange systems. The method of runs was chosen as a method of calculating the coefficients of models without conducting the experiment. The software complex has been developed in order to automate the design of components of ion exchange processes of wastewater treatment. The software complex was created using m-scripts in the Matlab system. The specificity of the software complex is to interact with the user in the console dialog mode. To calculate, the user must prepare the data files in advance whose description of the format is provided by the program, then specify these files at the beginning of work in the main window of the software complex. The calculation of the ion-exchange purification of purging and surface wastewater was calculated. The technological scheme of the working line for treatment of purging wastewater is considered. Each line is the following sequentially connected apparatus: mechanical granular filter, H-kationite filter; decarbonizer with a decarbonized water tank and OH-anionite filter. As a result of the calculations, summary tables of the main indicators of the filters of the studied technological scheme of the work line were formed. The distribution of concentration of ions in water by the height of the column at the exit of each filter in graphic and numerical form was obtained. The article presents the results for the N-kationite filter.*

**Key words:** ion exchange, ion-exchange filter, sorption, regeneration, wastewater treatment, automation, mathematical modeling.

**Баженів В.Г.**

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

**Калениченко Ю.О.**

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

**Рацбарський С.С.**

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

## ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТВЕРДОСТІ СТАЛЕВИХ ЗРАЗКІВ СТРУКТУРОСКОПОМ НА БАЗІ ВИЩИХ ГАРМОНІК

*У статті розглянуто можливість використання регресійних штучних нейронних мереж для визначення твердості сталевих зразків вихрострумовим структуроскопом на базі методу вищих гармонік. Обґрунтовано доцільність використання нейронних мереж для обробки результатів вимірювання структуроскопу, проведено аналіз наукових надбань за темою дослідження, визначено задачу дослідження, яка полягає в аналізі таких структурних елементів та характеристик штучних нейронних мереж, як архітектура, функція втрат, оптимізатор.*

*Описано модель вихрострумового структуроскопа, який використовувався для набору вибірки даних. Визначена проблема використання кутів в якості вхідних параметрів нейронних мереж та запропоновано метод уникнення цієї проблеми. Проаналізовано основні типи штучних нейронних мереж для задач регресії та обґрунтовано вибір фідфорвард типу. Проведено аналіз лосс функцій для нейронної мережі, обґрунтовано вибір середньоквадратичної похибки в якості лосс функції. Проведено аналіз оптимізатора для нейронної мережі, обґрунтовано вибір оптимізатора Adam. Було описано використання вибірки даних та як вона була розбита на тренувальну, тестову та валідаційну множини.*

*Визначено декілька потенційно робочих варіантів архітектури нейронної мережі. Для кожного з варіантів було створено мережу з відповідною архітектурою та проведено навчання та тестування отриманих мереж на реальних протестованих зразках з відомою твердістю за шкалою С методу Роквеллу. Визначено середньоквадратичну та середню абсолютну похибку регресії для чотирьох варіантів архітектури. Було сформовано рекомендації щодо подальшого використання методу.*

**Ключові слова:** вихрострум, структуроскопія, штучні нейронні мережі, твердість, регресія.

**Постановка проблеми.** Структуроскопія – це дуже важлива галузь промисловості, яка дозволяє знаходити й попереджувати появу дефектів, прогнозувати ресурс роботи виробів, визначати їх механічні характеристики.

Відомо що найбільш інформативною серед фізичних неруйнівних методів є вихрострумова структуроскопія на базі методу вищих гармонік, яка дозволяє отримати велику кількість інформативних ознак, до яких входять результати вимірювань амплітуди та фази не тільки першої гармоніки, але й вищих, до дев'ятої включно при покроковій зміні сигналу збудження первинної катушки. Подібні системи потребували використання великого парку вимірювальних приладів (включаючи фазометри),

що значно обмежувало, або робило неможливим використання цього методу і також унеможливило його автоматизацію. Проте розвиток мікроелектронних систем за останні роки, таких як ПЛІС (FPGA), швидкодіючі аналогово-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, зробило їх доступними для масового комерційного використання, що дозволило авторам статті створити автоматичну цифрову систему структуроскопії на базі методу вищих гармонік., яка дозволяє автоматично отримувати цифровий масив даних і будувати графіки змін амплітуд і фаз контролюємих гармонік в залежності від амплітуди збуджуючого сигналу катушки

Проте, аналіз отриманих значень амплітуд та фаз гармонік сигналу відгуку все ще є надзви-

чайно складною проблемою, яка потребує високої кваліфікації оператора та часу на обробку, що унеможливило їх використання в поточному контролі.

Отримані значення амплітуд та фаз гармонік сигналу відгуку є цифровими значеннями, що дає можливість використання штучних нейронних мереж для їх аналізу. Це дозволить зменшити необхідну кваліфікацію оператора або зовсім його замінити, підвищить швидкість неруйнівного контролю, дозволить проведення поточного контролю замість вибіркового. Все це підвищує надійність продукту та зменшує собівартість виробництва.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Аналіз наукових надбань за темою дослідження показав, що вихрострумові методи неруйнівного контролю є досить розповсюдженими в задачах контролю стану матеріалів. Багато досліджень [1] [2], використовують вихрострумові методи виключно для знаходження дефектів, що вже утворилися, проте зустрічаються дослідження, які використовують [3] вихрострумові методи для поточного контролю структури та передбачення утворення дефектів, або розглядають [4] можливість використання вихрострумових методів для аналізу процесу термічної обробки сталі.

Дослідження щодо використання нейронних мереж в сукупності з вихрострумовими методами

також існують [5] [6] [7], але вони всі використовують нейронні мережі для характеризування та класифікації дефектів.

В цій статті розглядається можливість використання нейронних мереж в зв'язку з вихрострумовим методом вищих гармонік для визначення механічного параметру твердості сталевих зразків. В літературі на сьогоднішній день не виявлено таких досліджень.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз можливості використання нейронних мереж для визначення твердості сталевих зразків під час дослідження них вихрострумовим структуроскопом на базі вищих гармонік. Поставлена мета передбачає необхідність аналізу та обґрунтування вибору архітектури, функції втрат та оптимізатора, практична перевірка роботи моделі нейронної мережі на реальних даних.

**Виклад основного матеріалу.** В якості структуроскопу, який використовувався для вимірювання сталевих зразків було використано модель, розроблену та запатентовану командою, до якої входять автори статті [8]. Цей структуроскоп дозволяє швидко визначати амплітуди та фази непарних гармонік з першої до дев'ятої з довільно заданою частотою та амплітудою збуджувального сигналу. Вимірювання, що використовувалися для експериментів, було проведено на частоті 5 кГц та амплітудою збуджувального сигналу 23 В.

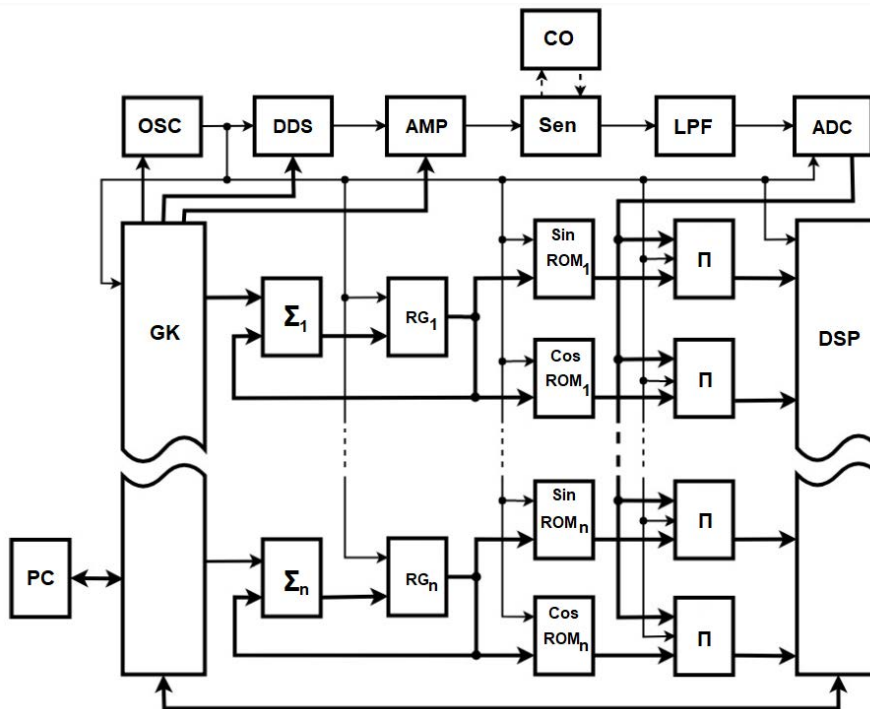


Рис. 1. Функціональна схема системи

На кресленні рис. 1 зображена функціональна схема системи. Схема містить генератор частоти дискретизації OSC, синтезатор тестового сигналу DDS, керований підсилювач потужності AMP, перетворювач тестового сигналу Sen, фільтр нижніх частот LPF, аналогово-цифровий перетворювач ADC, блок керування GK, цифрові суматори сигналів  $\Sigma$ , регістри пам'яті RG, постійні запам'ятовуючі пристрої ROM, помножувачі П, цифровий блок обробки сигналів DSP, персональний комп'ютер PC, об'єкт контролю CO.

В якості даних було використано амплітуди та фази перших п'яти непарних гармонік. Проте, постає проблема використання кута в нейронній мережі, яка полягає в тому, що кут в градусах визначається дійсним числом між 0 та 360, але геометрично 0 та 360 це одне й те саме. Але якщо використовувати кут як стандартне дійсне число то нейронна мережа зробить висновок, що 0 та 360 є дуже різними значеннями, які максимально віддалені одне від одного. Це призведе до того, що передбачення, які використовують ці екстремуми, будуть значно менш точними.

Одним з методів вирішення цієї проблеми є представлення кута  $\varphi$  як пари значень  $\sin(\varphi)$ ,  $\cos(\varphi)$ . Таке представлення вирішує три проблеми: забезпечує, що значення 0 та 360 є однаковиими, нормалізує значення вхідних даних до діапазону  $[-1; 1]$ , та дозволяє роботу з кутами менше 0 та більше 360 через періодичність функцій представлення. Таким чином представлення кута у вигляді двох змінних збільшує розмір вхідного шару з 10 до 15 нейронів, але вирішує проблеми циклічності, нормалізації та обгортки.

В результаті аналізу було встановлено, що для вирішення задач регресії використовується три основних типи нейронних мереж:

1. Фідфорвард (Feedforward) нейронна мережа – найпростіший тип штучної нейронної мережі, яка передає інформацію лише у одному напрямку, від вхідного шару до вихідного шару, без зворотного зв'язку. Це означає, що дані поширюються через мережу без циклічних залежностей.

2. Згорткова нейронна мережа (Convolutional Neural Network, CNN) – цей тип мережі часто використовується для обробки зображень. Вона має спеціальні шари, в яких здійснюється операція згортки, яка дозволяє виявляти просторові шаблони у вхідних даних. CNN здатна автоматично витягати корисні ознаки з зображень і використовувати їх для нелінійної регресії.

3. Рекурентна нейронна мережа (Recurrent Neural Network, RNN): Цей тип мережі підходить

для роботи з послідовними даними, такими як текст або часові ряди. Вона має зв'язки, які дозволяють інформації передаватися від попередніх кроків до наступних. RNN може запам'ятовувати попередні стани і використовувати їх для моделювання складних залежностей в послідовних даних.

Виходячи з того, що дані, які ми використовуємо, є табличними (tabular data), та не є послідовними, було зроблено висновок, що рекурентна та згорткові моделі нам не підходять. Таким чином, ми використовували фідфорвард модель для проведення аналізу.

В фідфорвард нейронній мережі для задач регресії архітектура може варіюватися в залежності від різних факторів, таких як складність задачі, обсяг даних та складність функції, яку намагається наблизити мережа. Відомо, що підвищення кількостей прихованих прошарків та нейронів в них зазвичай підвищує точність, але їх збільшення не тільки підвищує час на навчання, але й може призвести до перенавчання та погіршення апроксимуючих властивостей мережі. Саме тому остаточна архітектура мережі підбиралась емпірично, виходячи з точності, яку бажано отримати.

Важливим кроком під час синтезу моделі є вибір лосс функції, також відомої як функції втрат. Ця функція вимірює рівень помилки, під якою розуміється різниця між прогнозованими значеннями моделі та справжніми значеннями цільової змінної. В контексті машинного навчання вона використовується як квантифікатор того, наскільки модель добре виконує свою задачу та її мінімізація є основною метою тренування моделі. Відомо, що в задачах регресії є три найбільш популярних лосс функції:

1. Mean squared error (MSE) – середньоквадратична похибка.

2. Mean absolute error (MAE) – середня абсолютна похибка.

3. Huber loss – лосс функція, яка поєднує між собою переваги MSE та MAE. Вона розраховує MSE за замовчуванням, проте має параметр границі, і якщо MSE перевищує цю границю то значення функції втрат натомість розраховується через MAE.

Середньоквадратична функція втрат має перевагу в тому, що зі збільшенням абсолютної помилки визначення параметру лосс функція збільшується експоненційно, що призводить до значного більшого впливу окремих великих неточностей або викидів на результат тренування. В задачі визначення твердості викиди є досить

небажаним феноменом, отже видається доцільним вибір середньоквадратичної функції втрат. Під час тренування також була використана метрика середньої абсолютної похибки для оцінки розподілу похибок нейронної мережі.

Вибір оптимізатора також є дуже важливим кроком під час синтезу моделі. Відомо, що оптимізатор – це алгоритм, за яким ваги та зсуви моделі змінюються для зменшення лосс функції під час тренування. В результаті аналізу, виходячи з поставленої задачі, було визначено декілька оптимізаторів, що можуть використовуватися під час задач регресії:

1. Gradient Descent (Градiєнтний спуск): Це один з найпростіших та базових методів оптимізації. Градiєнтний спуск оновлює параметри моделі в напрямку, протилежному градiєнту лосс функції. Існує кілька варіантів градiєнтного спуску, таких як стохастичний градiєнтний спуск (SGD) та міні-пакетний градiєнтний спуск (Mini-batch GD).

2. RMSprop (Root Mean Square Propagation): RMSprop використовує експоненційно згладжений середньоквадратичний градiєнт для оновлення параметрів. Він відповідає на проблему градiєнтного спуску, де великі градiєнти можуть призводити до малих оновлень параметрів.

3. Adam (Adaptive Moment Estimation): Adam є популярним методом оптимізації, який комбiнує ідеї з методів градiєнтного спуску та RMSprop. Він використовує зважену комбiнацію моменту градiєнту та квадратів градiєнту для оновлення параметрів моделі.

4. Adagrad (Adaptive Gradient Algorithm): Adagrad адаптивно налаштовує швидкість навчання для кожного параметра залежно від його історичного градiєнту. Він добре підходить для розріджених даних, де навчання може бути сконцентроване на рідкісних ознаках.

Проаналізувавши наведені оптимізатори, видається доцільним використання оптимізатора Adam[9] через його поєднання переваг методів градiєнтного спуску та RMSProp. Adagrad було відкинуто через те, що наші дані не є розрідженими, а отже його основна перевага не є актуальною для нашої проблеми.

Дані для навчання було набрано на наборі з 9 сталевих зразків, зображених на рис. 2, які було досліджено на твердість за Роквеллом за шкалою С. Вони мали твердість між 250 та 560 одиниць.

Кожен зі зразків було виміряно 400 разів, що дає нам вибірку даних в 3600 точок. Така вибірка відповідає принципу різноманітності, який потребує щоб різні значення передбачуваної величини

були представлені в виборці приблизно в однакових пропорціях.

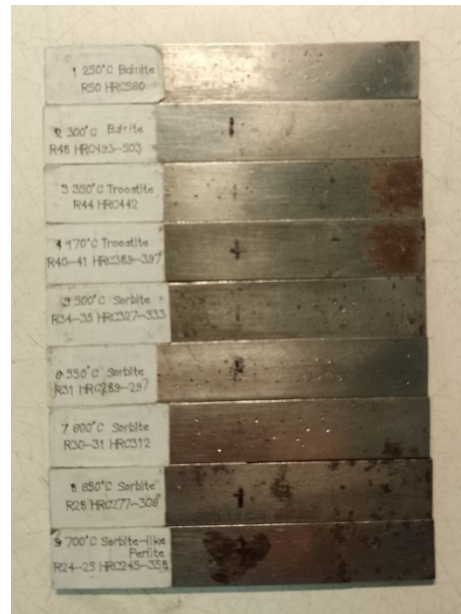


Рис. 2. Сталеві зразки

Відомо, що важливою складовою під час навчання нейронних мереж є перенавчання, яке пов'язане з занадто точним відтворенням тренувальних даних [10]. Це призводить до збільшення помилки та втрати узагальнюючих можливостей. З метою вирішення цієї проблеми вибірку було розбито на дві множини: навчальну та тестову. Навчання проводиться лише на навчальній множині, а тестова використовується для перевірки узагальнюючих можливостей мережі. Дані цих множин не перетинаються. Також під час навчання на кожному з кроків виділяється так звана валідаційна множина. На кожному з етапів навчання вона автоматично та випадковим чином відкидається з тренувальної множини з метою запобігання перенавчанню та поточної перевірки роботи мережі.

Архітектура нейронної мережі визначається емпірично. Виходячи з складності задачі, було запропоновано такі характеристики:

- Кількість прихованих прошарків  $N_l$  – 2 або 3.
- Кількість нейронів в кожному прихованому прошарку  $N_p$  – 64 або 128.

Експерименти, проведені з цими архітектурами, дозволять більш точно визначити напрямок подальших досліджень архітектури. Навчання кожної з архітектур було проведено на однаковій кількості в 400 епох.

Для кожної архітектури було навчено по п'ять мереж, з яких обрано найкращі за показником середньоквадратичної помилки. Результати навчання мереж різних архітектур наведено в таблиці 1.

Таблиця 1  
Ефективність навчених моделей в залежності від архітектури

Архітектура	$N_i=2$	$N_i=2$	$N_i=3$	$N_i=3$
	$N_p=64$	$N_p=128$	$N_p=64$	$N_p=128$
MSE	185,32	62,487	46,774	14,476
MAE	10,306	5,208	5,884	2,807

Як видно з табл. 1 найменшу похибку має найбільш складна архітектура. Використання тестового та валідаційного масивів даних значно зменшує можливість перетренування. Менш складні архітектури мають занадто велику похибку щоб їх використовувати. Це дозволяє дати рекомендацію використовувати щонайменше 3 прихованих прошарки з щонайменше 128 нейронами в кожному. Збільшення цих характеристик може призвести до підвищення точності, але тоді перетренування стане більш актуальною проблемою, яка буде потребувати окремих кроків для вирішення.

**Висновки.** У роботі досліджена можливість реалізації визначення твердості сталевих зразків на результатах вихрострумowego контролю методом вищих гармонік за допомогою штучних нейронних мереж. Було проаналізовано та запропоновані найбільш оптимальні архітектури, лосс-функцію та оптимізатор для проведення регресії, навчено моделі. Вперше запропонована модель яка досягла середньоквадратичної похибки в 14,476 одиниць та середньої абсолютної в 2,807 одиниць за Роквеллом за шкалою С. Враховуючи, що використані для тренування зразки мали діапазон між 250 та 560 одиниць твердості, отриманий результат є дуже гарним та доводить можли-

вість використання штучних нейронних мереж для аналізу твердості за результатами вихрострумовой структуроскопії на базі методу вищих гармонік. Враховуючи, що людина-оператор може визначати твердість лише наближено та потребує величезного досвіду роботи та часу на аналіз інформації, регресійна нейронна мережа визначає твердість дуже точно та швидко. Результати експерименту дають можливість сформулювати рекомендації щодо архітектур нейронних мереж для подальшого розвитку методу. Натренована модель машинного навчання інтегрована в систему запропонованого авторами цифрового структуроскопа на базі вищих гармонік та використовується для визначення твердості за період часу, що не перевищує 5–10 секунд. Перспективи подальших досліджень ґрунтуються на збільшенні виборки інформації, збільшенні кількості зразків з різними твердостями для розширення шкали, збільшення точності та покращення узагальнюючих властивостей нейронних мереж. Також розглядається можливість використання аналогічного методу регресії за допомогою штучних нейронних мереж для визначення інших механічних, структурно-хімічних та електромагнітних характеристик сталі. На сьогоднішній день в світі відсутні аналоги подібних систем. Частина досліджень по впровадженню штучного інтелекту в систему виконується за рахунок європейського гранту за Рамковою програмою досліджень та інновацій Horizon 2020 Європейської комісії, другого відкритого конкурсу «DII-World — Прискорення розгортання та зрілості DII на користь оцифрування європейських МСП», Grant Agreement № 952176, отриманого авторами проекту

#### Список літератури:

1. Janovec, M., Bugaj, M., & Smetana, M. Eddy current array inspection of riveted joints. *Transportation Research Procedia*, №43, pp. 48-56, 2019.
2. Krysztofik, J., & Malicki, M. Detection of Sub-Surface Defects in Semi-Finished Products from Aluminum Alloys by the Eddy Current Method. *Fatigue of Aircraft Structures*, 2021(13), pp. 31-39, 2021.
3. Butusova, Y. N., Mishakin, V. V., & Kachanov, M. On monitoring the incubation stage of stress corrosion cracking in steel by the eddy current method. *International Journal of Engineering Science*, №148, 103212, 2020
4. Beneš, P., Průcha, V., Hájek, J., & Vítovec, V. Possibility of Using Eddy Current Evaluation of the Heat Treatment of Steel. 2019
5. Kuzmin, E. V., Gorbunov, O. E., Plotnikov, P. O., Tyukin, V. A., & Bashkin, V. A. Application of neural networks for recognizing rail structural elements in magnetic and eddy current defectograms. *Automatic Control and Computer Sciences*, №53, pp 628-637, 2019.
6. Rosado, L. S., Janeiro, F. M., Ramos, P. M., & Piedade, M. Defect characterization with eddy current testing using nonlinear-regression feature extraction and artificial neural networks. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, №62(5), pp. 1207-1214, 2013.
7. Alvarenga, T. A., Carvalho, A. L., Honorio, L. M., Cerqueira, A. S., Filho, L. M., & Nobrega, R. A. Detection and classification system for rail surface defects based on Eddy current. *Sensors*, №21(23), 7937, 2021.
8. Патент України на винахід №125416 UA МПК (2022.01) G01N27/72 (2006.01) G01N27/90(2021.01), G01R33/12(2006.01), G01N27/00, G01R33/00 Цифровий спосіб і система визначення структури матеріалу об'єкта / Баженов В.Г., Калениченко Ю.О., Калениченко О.Г., Баженов В.В./ від 03.03.2023, Бюл. №9 від 02.03.2023, Номер заявки a2020 02552 від 23.04.2020.

9. Kingma, D. P., & Ba, J. Adam: A method for stochastic optimization. arXiv preprint arXiv:1412.6980, 2014.
10. Hawkins, D. M. The problem of overfitting. Journal of chemical information and computer sciences, № 44(1), pp. 1-12, 2004.

**Bazhenov V.G., Kalenychenko Y.O., Ratsebarskyi S.S. USING NEURAL NETWORKS FOR DETERMINATION OF HARDNESS OF STEEL SAMPLES WITH A STRUCTUROSCOPE BASED ON HIGHER HARMONICS**

*The article considers the possibility of using regression artificial neural networks to determine the hardness of steel samples by using an eddy current structuroscope based on the method of higher harmonics. The expediency of using neural networks for processing the measurement results of the structuroscope is substantiated, the analysis of scientific assets on the topic of the study is carried out, the research task is defined, which consists in the analysis of such structural elements and characteristics of artificial neural networks as architecture, loss function, optimizer.*

*The model of the eddy current structuroscope, which was used for data collection, is described. The problem of using angles as input parameters of neural networks is defined and a method of avoiding this problem is proposed. The main types of artificial neural networks for regression problems were analyzed and the choice of the feedforward type was justified. The analysis of loss functions for the neural network was carried out, the selection of the root mean square error as the loss function was justified. The analysis of the optimizer for the neural network was carried out, the choice of the Adam optimizer was justified. The data set used and how it was split into training, test, and validation sets were described.*

*Several potentially working variants of neural network architecture have been identified. For each of the options, a network with the appropriate architecture was created, and the resulting networks were trained and tested on real tested samples with known hardness according to the C scale of the Rockwell method. The root mean square and mean absolute error of the regression were determined for four architecture options. Recommendations for further use of the method were formed.*

**Key words:** eddy current, structuroscopy, artificial neural networks, hardness, regression.

**Bezugla N.V.**

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

**Yakovenko I.O.**

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

**Filippova M.V.**

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

**Poluektov S.O.**

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

## **AUTOMATED SYSTEM FOR PHOTOMETRIC IMAGES PROCESSING OF SCATTERING SPOT**

*The article discusses the methods and technical tools for scattering spot photometric imaging, obtaining and analyzing methods for assessing its qualitative and quantitative characteristics. The using photometric images of the scattering spot spatial analysis methods advantages are substantiated and given. The morphological features of normal and pathological tissues were analyzed, and their influence on the nature of scattered light for collagen fibers with chaotic and ordered orientation was substantiated.*

*The authors proposed an automated system scheme for measuring and processing photometric images, including a measuring unit for implementing the photometry by ellipsoidal reflectors and a unit for processing photometric images of the scattering spot. Based on the proposed scheme, the installation of the measuring unit, which allows for obtaining photometric images in reflected and transmitted light, was implemented, and the experiment's methodology was described. The basis of the image processing unit is the developed algorithm, which includes procedures for spatial analysis of the scattering spot by intersections. The software was developed in Python using the libraries and modules for file processing, creating a graphical interface, working with arrays, data analysis, and graphing. Examples of the functioning of the software for processing one and several images are given. The processing results were compared using similar apps to confirm the functional adequacy of the developed software.*

*The developed system allows for photometric images of the scattering spot comprehensive analysis depending on the task. The paper results are a graphic representation of the scattering spot in the form of the pixel brightness dependence on the spatial coordinate and the relative intensity value. These results can be obtained for the entire photometric image and its central section. Also, the developed software allows arithmetic operations (addition, subtraction, multiplication, division) on two images to highlight a proper signal on the background image, evaluate the influence of one image on the other, etc.*

**Key words:** *photometric image, scattering spot, spatial distribution, photometry by ellipsoidal reflectors, Python, biological media.*

**Formulation of the problem.** A monochrome CCD camera is the most straightforward tool for obtaining photometric images of the scattering spot during laser irradiation of the biological media [1–2]. More complex systems based on the methods of photon correlation spectroscopy [3] and small-angle approximation [4–5] are used to obtain information about biological tissues at the microscopic level. In these works, the evaluation of the photometric image parameters consists in determining the scattering spot shape and size or additional analysis of the count and brightness of pixels in the obtained color images [4–5]. As shown in works [6–7], the spatial analysis

of the light distribution is also essential, allowing it to determine both the image shape and dimensions and to distinguish the distinct zones of bright pixels in the field of the photometric image. However, to determine the quantitative (pixel brightness) and qualitative (spatial distribution) characteristics of photometric images, various software tools are used to convert an image (.jpg, .bmp, .png) into a text file (.txt), determine the required intersection, build a spatial distribution of the entire image or characteristic cross-section, pixel brightness calculation.

**Analysis of recent research and publications.** From an optical point of view, the morphological



features of biological tissues (BT) are described by optical properties: scattering coefficient  $\mu_s$ , absorption coefficient  $\mu_a$ , scattering anisotropy factor  $g$ , and refractive index  $n$ . Pathological conditions in the tissues lead to changes in the structure and size of the cellular composition and partial or complete destruction of the surrounding tissues [1, 8], which in turn affects the optical properties [9–11] and manifests itself in light scattering during interaction with tissue [12, 13]. So, for example, the authors' works [1–2] show the influence of the collagen fiber orientation on the backscattered light nature presented by the monochrome photometric images. Thus, the scattering spot has an elongated shape for scar tissue with parallel fiber orientation. The scattering spot form is close to round for normal tissue with chaotic fiber orientation. In works [4, 5], the pixel brightness gradient determined differences in the fiber architecture of deformed fabrics. Also, the spatial distribution is cut off when examining samples of biological tissues with longitudinal and transverse fiber placement [14].

Analysis of the scattering spot parameters in the photometric images is a prerequisite for assessing biological tissues condition. In turn, the used analytical methods can be applied in the design of hardware and software for diffuse optical tomography [15, 16], Raman spectroscopy [17–19], dosimetry during laser therapy [20], etc.

**Task statement.** The article aims to develop an algorithm and software for the photometric images of the scattering spot automated processing for operations on a series of images and obtain results in numerical (intensity) and graphical (spatial distribution) forms.

**Outline of the main material of the study.** Based on the methods of obtaining and processing the scattering spot parameters analysis, spatial photometry of biological media was chosen as the fundamental [7]. With the help of the technique, it is possible to obtain a graphical representation of the entire scattering spot in brightness dependence form on the spatial coordinate to estimate its shape and size and the pixel brightness value. It can be used, for example, to establish the density of structural elements of biological tissue samples or relative thickness when analyzing the entire scattering spot or to compare optical properties in distinct sections. To obtain photometric images of the scattering spot, photometry by ellipsoidal reflectors was used [15].

To improve the considered methods, a scheme of an automated system for obtaining and processing photometric images was proposed, shown in Fig. 1.

The automated system consists of measuring and processing blocks, the principle of which is as follows. The light flux from the light source (helium-neon laser LGN-208a) is directed to the ellipsoidal reflector (ER) and, with the help of a flat mirror, falls on the area of the studied sample of biological tissue located in the first focal plane of the ER. Due to the peculiarities of the shape of the mirror ellipsoidal reflector, the backscattered radiation is transferred to the second focal plane of the ER, which projects the scattering spot onto the CCD matrix (video camera DMK 21AU04.AS) 6 with the help of an optical system (optical head of the MBS-10 microscope) and a connector (TV adapter). Processing of the obtained photometric images is carried out using specialized software.

The experimental setup developed according to the proposed scheme is shown in Fig. 2.

The installation elements are placed on the optical bench. To obtain a photometric image of the scattering spot in the transmitted light, two ER 3 are used in the experimental setup. At the same time, a sample of biological tissue 2 is placed between them.

The software is implemented in Python with imported libraries (Fig. 3) and according to the developed algorithm (Fig. 4).

The developed algorithm is based on the spatial photometry principles by the intersection's method [15] and arithmetic operations with matrices. Since the algorithm implementation is carried out with the image, which is presented as a pixel brightness matrix, it must be converted into a text file with the extension .txt. The algorithm divided into three branches depending on the uploaded images count, and at the same time, the available operation is selected.

The main window of the software developed based on the algorithm is presented in Fig. 5. The interface is conditionally divided into four fields. Field 1 means further work on the software with text files. Field 2 displays the path to the downloaded files. Select the required one from the drop-down list in field 3 to perform operations on one of the downloaded graphs. Field 4 selects arithmetic processes that function only when two graphs are loaded. The "analyze" operation is used to construct 3D and 2D graphs. When the "analysis" button is pressed, the relative intensity value is displayed, defined as the total pixel brightness value by their total count. All results are automatically saved in the program's location folder.

When analyzing one file, the user can obtain the overall spatial distribution of the scattering spot in the form of a three-dimensional graph, relative intensity values, and a two-dimensional graph of the central cross-section. The result of the execution of the

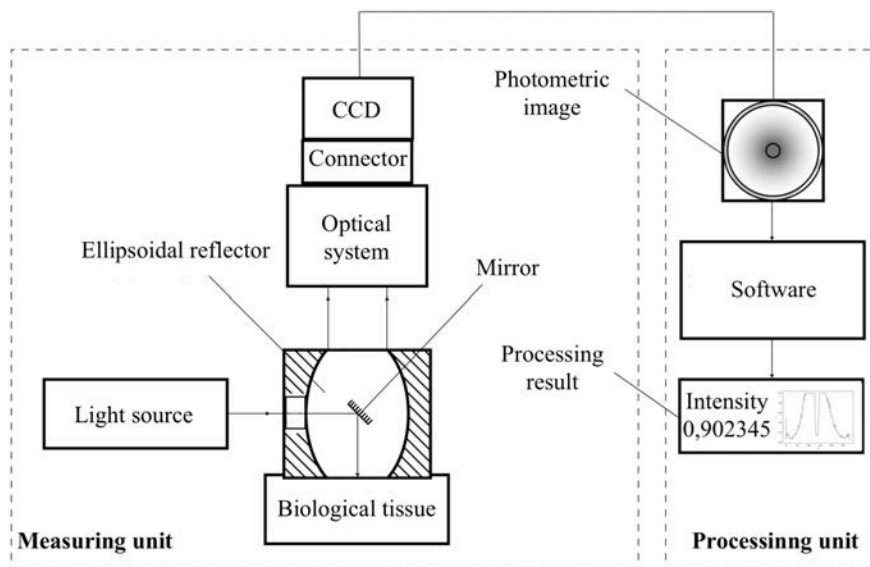


Fig. 1. Photometric images measurement and processing automated system scheme

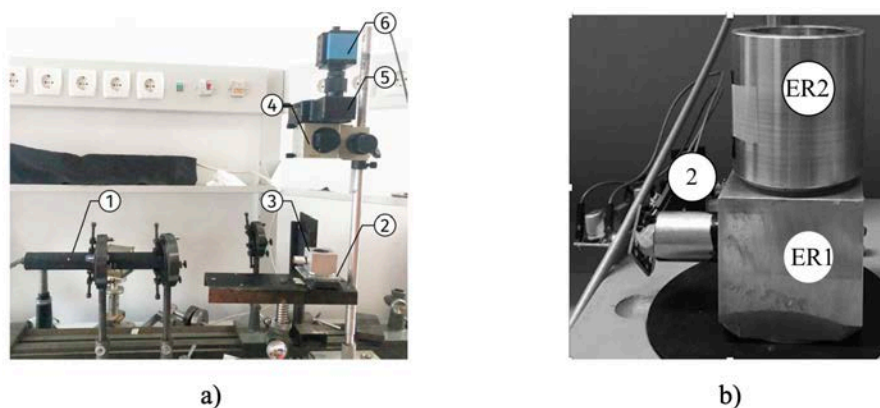


Fig. 2. Automated measurement system experimental setup: a) general view for registration in reflected light, b) placement of ellipsoidal reflectors for registration in transmitted light: 1 – laser, 2 – BT sample; 3 – ellipsoidal reflector; 4 – MBS10 microscope; 5 – TV adapter; 6 – video camera

```
import sys
import os
import random

from PyQt5 import QtWidgets
from mainWindow5 import Ui_MainWindow

import numpy as
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
```

Fig. 3. Imported libraries

described branch of the algorithm is the output of the relative intensity value and the production and saving of the obtained graphs. An example of the photometric

image analysis is shown in Fig. 6. The corresponding manipulator buttons control the position of the three-dimensional graph. When you move the mouse to a certain point on the graph, its spatial coordinate and pixel brightness value are displayed.

In analyzing two scattering spots, one can choose one of four arithmetic operations: addition, subtraction, multiplication, and division. Then, according to the algorithm, the dimensions of the matrices are checked. If the matrix's dimensions do not match, a window with the corresponding error is displayed, after which you can end work with the software or select other files. If the dimensions match, the program performs the specified operation, outputs a matrix of pixel brightness values and a three-dimensional graph of the obtained photometric

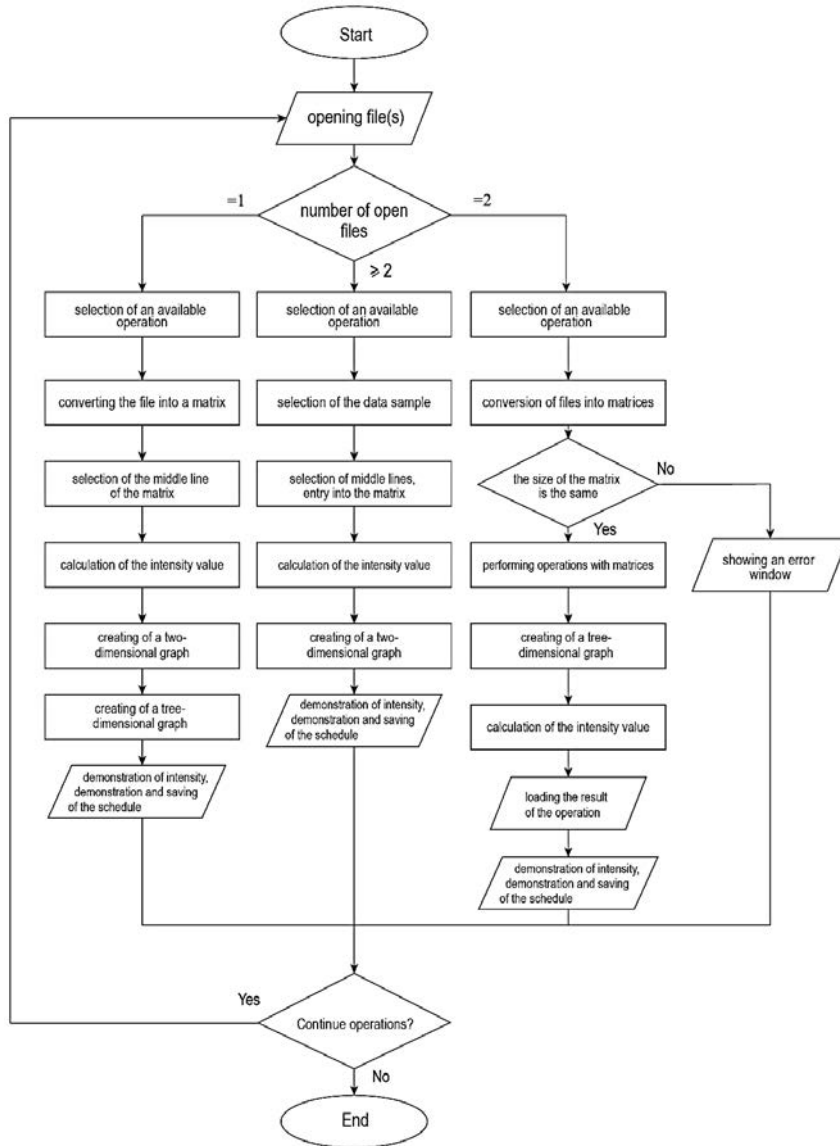


Fig. 4. The software algorithm

image, and saves them. In addition, in the “Graph selection” field (Fig. 5), you can choose one of the downloaded files and plot its central intersection. This type of processing is proper, for example, when comparing two images, subtracting background noise from an image, calibrating pixel brightness, etc.

An example of the difference in the scattering spot brightness for two photometric images is shown in Fig. 7.

When analyzing two or more files, the result is calculating the photometric image relative intensity value and constructing two-dimensional graphs of the central cross-section, which are stored in the folder where the program is located. The program allows you to build and save graphs separately (for this, you need to close the plotting window) or get graphs of central intersections of several images on one (as shown in Fig. 8).

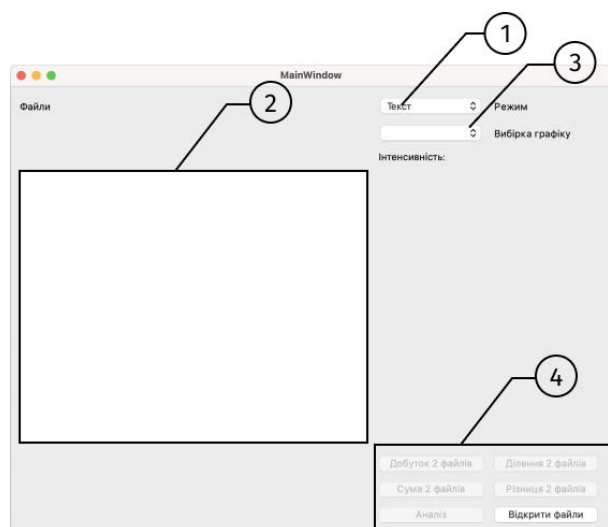


Fig. 5. The software interface

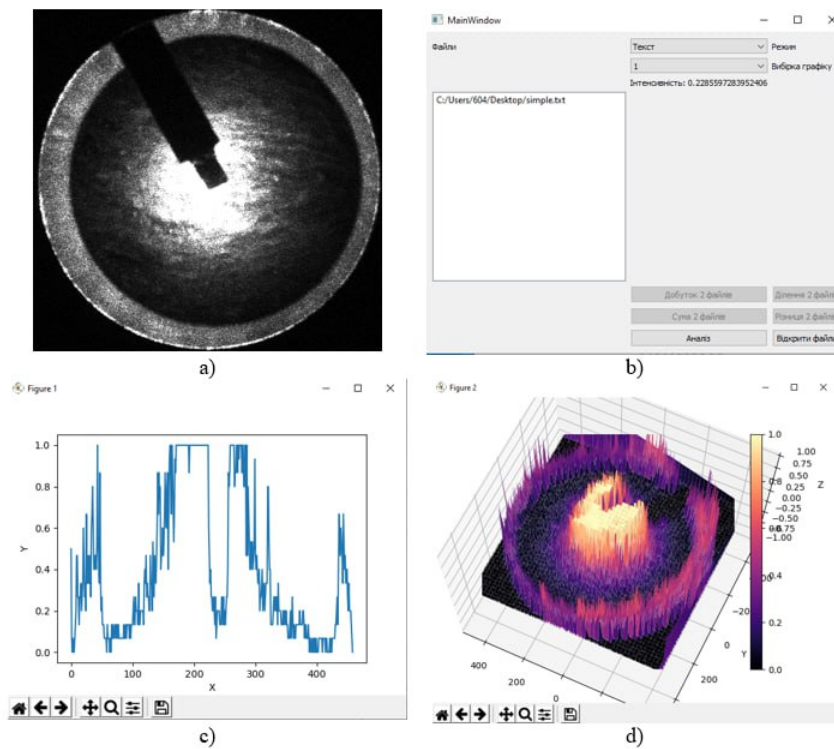


Fig. 6. One file processing example: a) photometric image, b) software interface with loaded image, c) two-dimensional graph of the central section, d) three-dimensional graph of the spatial distribution of the scattering spot

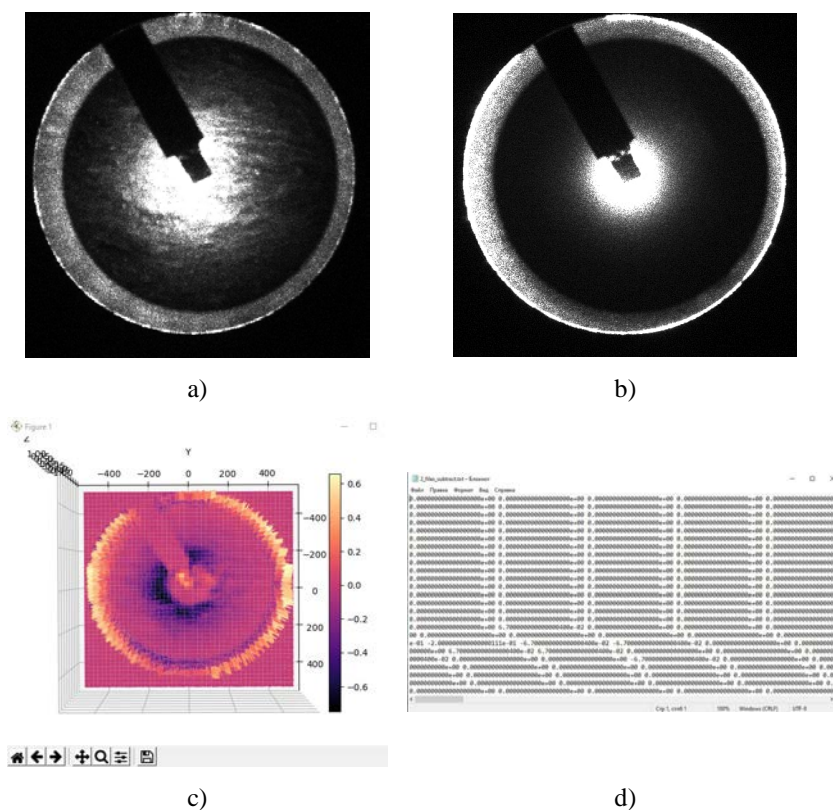
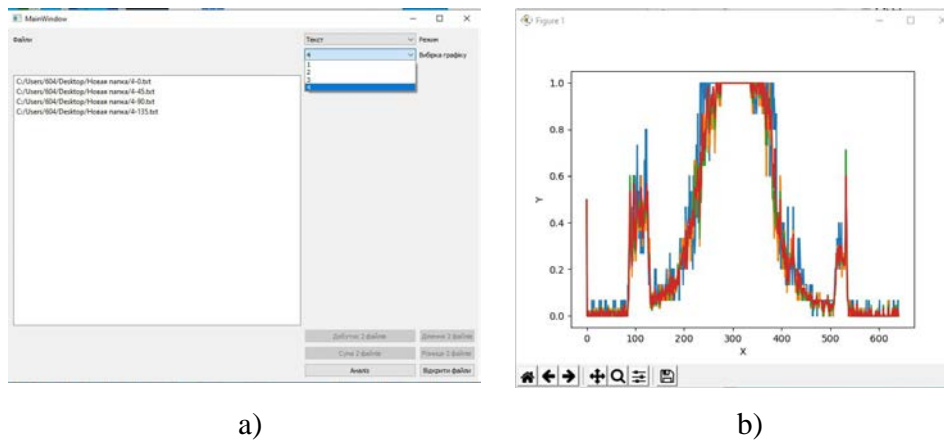


Fig. 7. The program operation example with two files: a) photometric image of scattering spot 1, b) photometric image of scattering spot 2, c) resulting graph after the subtraction operation, d) brightness values matrix of the resulting graph



**Fig. 8. Program example with four files:**  
**a) program interface with loaded image, b) graphs of central intersections**

The operation of the developed software has been tested using separate available programs of similar purposes. The relative intensity values of the photometric images scattering spot showed commensurability with the intensity values obtained using the software “Iris v. 5.59”. The spatial distribution of the scattering spot and a plot of the central cross-section was obtained using the “Gnuplot” software. At the same time, to build each graph in this software, it is necessary first to download each file separately, and secondly, to highlight the central intersection, you must use additional operations and programs (Excel, Notepad). It significantly increases image processing time, especially when multiple images need to be analyzed (from 6 times to one central section of one image to 12 times to obtain central sections of four images). The process of performing

arithmetic operations on images with the help of separate programs is even more complicated and time-consuming because first, you need to download the file to Excel to perform the arithmetic operation itself, then save it in Notepad to a text file, and only then plot the graph.

**Conclusions.** In this paper, the automated system scheme for measuring and processing photometric images of the scattering spot is proposed, based on which the installation was assembled, and the software was developed. A comparison of the results of photometric image processing performed on the developed software and with the help of separate freely available software showed the advantages of the first one. They consist in a significant reduction in processing time, especially when examining a series of images.

#### Bibliography:

1. De Vries H.j.C., Zeegelaar I.E., Middelkoop E., Gijsbers G., Van Marle J., Wildevuur C.H.R., Westerhof W. Reduced wound contraction and scar formation in punch biopsy wounds. Native collagen dermal substitutes. A clinical study. *British Journal of Dermatology*. 1995. No.132(5). Pp. 690-697. DOI: 10.1111/j.1365-2133.1995.tb00712.x
2. De Vries H. J.C., Enomoto D.N.H., Marle J., Zuijlen P.P.M., Mekkes J.R., Bos J.D. Dermal Organization in Scleroderma: The Fast Fourier Transform and the Laser Scatter Method Objectify Fibrosis in Nonlesional as well as Lesional Skin. *Laboratory Investigation*. 2002. No.80(8). Pp. 1281 – 1289. <https://doi.org/10.1038/labinvest.3780136>
3. Tseng S.-H., Hsu C.-K., Yu-Yun Lee J., Tzeng S.-Y., Chen W.-R., Liaw Y.-K. Noninvasive evaluation of collagen and hemoglobin contents and scattering property of in vivo keloid scars and normal skin using diffuse reflectance spectroscopy: pilot study. 2012. *Journal of Biomedical Optics*. No. 17(7). P. 0770051. doi:10.1117/1.jbo.17.7.077005
4. Girard M. J. A., Dahlmann-Noor A., Rayapureddi S., Bechara J.A., Bertin B.M.E., Jones H., Albon J., Khaw P.T., Ethier C.R. Quantitative Mapping of Scleral Fiber Orientation in Normal Rat Eyes. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2011. No.52(13). Pp. 9684-9693. doi: <https://doi.org/10.1167/iovs.11-7894>.
5. Gaul R.T., Nolan D.R., Lally C. The use of small angle light scattering in assessing strain induced collagen degradation in arterial tissue ex vivo. *Journal of Biomechanics*. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.10.006>.
6. Bezugla N.V., Bezuglyi M.O., Tymchuk G.S., Vonsevych K.P. The Influence of the Axial Anisotropy of Scattering Biological Media on the Accuracy of Determination the Optical Coefficients by Monte-Carlo Method. *KPI Sci News*. 2015. No. 1 (99). Pp. 85–91. <https://doi.org/10.20535/1810-0546.2015.1.88519> (in Ukrainian)

7. Bezuglaya N.V., Bezuglyi M.A. Spatial photometry of scattered radiation by biological objects. *In Proc. SPIE*. 2013. 9032. DOI:10.1117/12.2044609
8. Verhaegen P. D., van Zuijlen P. P., Pennings N. M., van Marle J., Niessen F. B., van der Horst C. M., Middelkoop E. Differences in collagen architecture between keloid, hypertrophic scar, normotrophic scar, and normal skin: An objective histopathological analysis. *Wound repair and regeneration : official publication of the Wound Healing Society [and] the European Tissue Repair Society*. 2009. No.17(5). Pp. 649–656. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475X.2009.00533.x>
9. Shapey J., Xie Y., Nabavi E., Ebner M., Saeed S.R., Kitchen N., Dorward N., Grieve J., McEvoy A. W., Miserocchi A., Grover P., Bradford R., Lim Y. M., Ourselin S., Brandner S., Jaunmuktane Z., Vercauteren T. Optical properties of human brain and tumour tissue: An ex vivo study spanning the visible range to beyond the second near-infrared window. *Journal of biophotonics*. 2022. No.15(4). P. e202100072. <https://doi.org/10.1002/jbio.202100072>
10. Wei H., Xing D., Wu, G., Gu, H., Lu, J., Jin, Y., Li, X.-Y. Differences in optical properties between healthy and pathological human colon tissues using a Ti:sapphire laser: an *in vitro* study using the Monte Carlo inversion technique, *J. Biomed. Opt.* 2005. No.10(4), P.044022. <https://doi.org/10.1117/1.1990125>
11. Troy, T.L., Thennadil, S.N. Optical properties of human skin in the near infrared wavelength range of 1000 to 2200 nm. *J Biomed Opt.* 2001. No. 6(2). Pp. 167-176. DOI: 10.1117/1.1344191.
12. Nogueira, M.S., Maryam, S., Amisshah, M., Lu, H., Lynch, N., Killeen, S., O’Riordain, M., Andersson-Engels S. Evaluation of wavelength ranges and tissue depth probed by diffuse reflectance spectroscopy for colorectal cancer detection. *Sci Rep*. 2021. No.11(1), P. 798. DOI: 10.1038/s41598-020-79517-2.
13. Zeng, Y., Rao, B., Chapman, W. *et al.* The Angular Spectrum of the Scattering Coefficient Map Reveals Subsurface Colorectal Cancer. *Sci Rep*. 2019. No. 9. P. 2998. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-39146-w>
14. Bezugla N.V., Bezuglyi M.O., Tymchyk G.S. Features of anisotropy of light scattering on fibrous biological tissues. *Bulletin of NTUU “KPI”. Series instrument making*. 2015. No.50(1). Pp. 169-175.
15. Müller P., Schürmann M., Girardo S., Cojoc G., Guck J. Accurate evaluation of size and refractive index for spherical objects in quantitative phase imaging. *Optics express*. 2018. No. 26(8). Pp. 10729–10743. <https://doi.org/10.1364/OE.26.010729>
16. Sun J., Wu J., Wu S., Goswami R., Girardo S., Cao L., Guck J., Koukourakis, N., Czarske J. W. Quantitative phase imaging through an ultra-thin lensless fiber endoscope. *Light, science & applications*. 2022. No. 11(1). P. 204. <https://doi.org/10.1038/s41377-022-00898-2>
17. Haponiuk A., Bezugla N., Vonsevych K., Bezuglyi M., Zilgaraeva A., Kisala P., Luganskaya S., Orazalieva S. Blood glucose analysis by Raman spectrophotometer with ellipsoidal reflector. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments*. 2021. No. 12040. Pp.68-73. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2613340>
18. Li N., Zang H., Sun H., Jiao X., Wang K., Liu T. C., Meng Y. A Noninvasive Accurate Measurement of Blood Glucose Levels with Raman Spectroscopy of Blood in Microvessels. *Molecules (Basel, Switzerland)*. 2019. No. 24(8). P.1500. <https://doi.org/10.3390/molecules24081500>
19. Wróbel M.S. Non-invasive blood glucose monitoring with Raman spectroscopy: prospects for device miniaturization. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2016. No. 104. P. 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/104/1/012036
20. Bezuglyi M.A., Yarych A.V., Botvinovskii D.V. On the possibility of applying a mirror ellipsoid of revolution to determining optical properties of biological tissues. *Opt. Spectros.* 2012. No. 113. Pp. 101–107. <https://doi.org/10.1134/S0030400X12070053>

## **Безугла Н.В., Яковенко І.О., Філіппова М.В., Полуєтков С.О. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБРОБКИ ФОТОМЕТРИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ПЛЯМИ РОЗСІЯННЯ**

У статті розглянуто методи та технічні засоби отримання фотометричних зображень плями розсіяння, а також проведено аналіз методів оцінки її якісних та кількісних характеристик. Обґрунтовано та наведено переваги використання методів просторового аналізу фотометричних зображень плями розсіяння. Проаналізовані морфологічні особливості здорових та патологічних тканин та обґрунтовано їх вплив на характер розсіяного світла для колагенових волокон з хаотичною та впорядкованою орієнтацією.

Авторами запропоновано схему автоматизованої системи вимірювання та обробки фотометричних зображень, яка складається з вимірювального блоку, що реалізує метод фотометрії еліпсоїдальними рефлекторами, та блоку обробки фотометричних зображень плями розсіяння. На основі запропонованої схеми реалізовано установку вимірювального блоку, що дозволяє отримувати фотометричні зображення у відбитому світлі та світлі, що пройшло, та описано методику проведення

експерименту. В основу роботи блоку обробки зображень покладено розроблений алгоритм, що включає процедури просторового аналізу плями розсіяння методом перетинів. Розроблено програмне забезпечення у програмному середовищі Python з використанням бібліотек та модулів для обробки файлів, створення графічного інтерфейсу, роботи з масивами, аналізу даних та побудови графіків. Наведено приклади функціонування програмного забезпечення для обробки одного та декількох зображень. Для підтвердження адекватності роботи розробленого програмного забезпечення порівняно результати обробки з використанням доступних аналогічних програмних засобів.

Розроблена система дозволяє проводити комплексний аналіз фотометричних зображень плями розсіяння в залежності від поставленого завдання. Результатами роботи є графічне представлення плями розсіяння у вигляді залежності яскравості пікселів від просторової координати та числове значення відносної інтенсивності. Дані результати можна отримати як для всього фотометричного зображення, так і для його центрального перетину. Також розроблене програмне забезпечення дозволяє виконувати арифметичні операції (додавання, віднімання, множення, ділення) над двома зображеннями з метою виділення корисного сигналу на фоновому зображенні, оцінити вплив одного зображення на друге тощо.

**Ключові слова:** фотометричне зображення, пляма розсіяння, просторовий розподіл, фотометрія еліпсоїдальними рефлекторами, Python, біологічне середовище.

**Бишевец Г.А.**

Волинський національний університет імені Лесі Українки

**Фуртат С.О.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Фуртат О.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Вишемірська Я.С.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У МАЛОМУ БІЗНЕСІ

*Дана стаття присвячена важливості автоматизації бізнес-процесів у секторі малого бізнесу. В останні роки спостерігається зростання інтересу до використання інформаційних технологій (ІТ) для поліпшення ефективності та продуктивності підприємств. У статті розглянуті різні пропозиції на ринку ІТ-послуг для бізнесу, а також систематизовано найпопулярніші програмні продукти, які дозволяють забезпечити ефективне управління діяльністю фірми.*

*Метою дослідження було проаналізувати програмні засоби, спрямовані на автоматизацію роботи малого бізнесу, на прикладі компанії Sigma-mobile. Аналізуючи сучасний стан малого бізнесу, автори дійшли висновку про необхідність впровадження ІТ-рішень для покращення процесів управління, оптимізації роботи персоналу та забезпечення конкурентних переваг на ринку.*

*Один із ключових аспектів цього дослідження - застосування технології візуального програмування. Вона дозволяє створювати програми за допомогою графічного інтерфейсу, що спрощує процес розробки та зрозумілості програмного коду. Це особливо корисно для малих підприємств, де може бути обмежена кількість програмістів або ІТ-фахівців.*

*На основі зібраних даних та враховуючи специфіку діяльності Sigma-mobile, були розроблені програмні засоби, спрямовані на вирішення цих проблем. До їх функцій входить автоматизація облікових процесів, створення та підтримка бази клієнтів, моніторинг стану товарів на складі, покращення комунікації між відділами та управлінням.*

*Програмні засоби реалізовані з використанням сучасних технологій програмування і баз даних, що забезпечує їх ефективність та надійність. Крім того, було проведено випробування програмних засобів на практиці, що дозволило оцінити їхню ефективність та придатність для використання у роботі Sigma-mobile.*

*Результати дослідження свідчать про успішну розробку програмних засобів, спрямованих на автоматизацію роботи малого бізнесу на прикладі Sigma-mobile.*

**Ключові слова:** автоматизація бізнес-процесів, малий бізнес, стратегічне управління, база даних, інформаційні технології.

**Постановка проблеми.** У теперішній час на тлі зростаючої конкуренції спостерігається зменшення загальної кількості торговельних точок, виходять з ринку або скорочують обсяги діяльності відомі мережеві оператори, що обумовлено стагнацією ринку внаслідок внутрішніх проблем держави. Унаслідок ситуації, що склалася, коли суб'єкти бізнесу прагнуть оптимізувати торговельні площі, складські ресурси тощо, зростає роль науково-технічного прогресу в забезпеченні конкурентоспроможності підприємства. При

цьому інформатизація та автоматизація бізнес-процесів у малому бізнесі сприяє підвищенню ефективності управління підприємством та забезпеченню більш високої результативності його роботи [10].

Отже, для управління бізнес-процесами торгової мережі потрібні сучасні інформаційні технології, відповідне програмне забезпечення і мережі, застосування яких забезпечує контроль їх протікання на всіх рівнях управління з урахуванням змін, що відбуваються.



Аналіз літературних джерел показав, що у теперішній час у різних галузях суспільної діяльності посилюється увага фахівців проблем ефективного управління. Значний інтерес викликають питання, пов'язані з встановлення передумов та особливостей процесу розвитку інформаційно-технологічної інфраструктури для підтримки конкретного виду бізнес-процесу, широко обговорюються аспекти впровадження інформаційних технологій в малому бізнесі, вивчається досвід зарубіжних країн з регулювання розвитку малого і середнього підприємництва.

Утім, не зважаючи на безперечний позитивний ефект, який досягається при завдяки автоматизації бізнес-процесів, висока вартість технічних та програмних засобів не дозволяє їх у повній мірі застосовувати в діяльності малого бізнесу, що вимагає пошуку простих типових технічних рішень, застосування безкоштовних або недорогих масових тиражних програмних продуктів та інструментальних середовищ.

**Мета дослідження** – розробити програмні засоби, спрямовані на автоматизацію роботи малого бізнесу на різних ланках організації (наприкладі роботи фірми Sigma-mobile).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з ключових напрямків останніх досліджень є використання технологій штучного інтелекту (AI) та машинного навчання (Machine Learning) для автоматизації бізнес-процесів [1, 2]. Це може включати застосування алгоритмів машинного навчання для автоматичного аналізу даних, прогнозування тенденцій, класифікації заявок або рекомендацій систем для покращення прийняття рішень. Використання розумних алгоритмів може допомогти малому бізнесу впроваджувати ефективніші та оптимізовані процеси [5, 11].

Дослідники та експерти з автоматизації бізнес-процесів звертають увагу на наступні аспекти автоматизації бізнес-процесів:

1. Вибір підходящих інструментів: у дослідженнях акцентується на необхідності правильного вибору програмного забезпечення для автоматизації бізнес-процесів у малих підприємствах. Підприємцям рекомендується аналізувати свої потреби, враховувати бюджетні обмеження та вибирати інструменти, які найкраще підходять для їхнього конкретного бізнесу [2, 3].

2. Автоматизація рутинних задач: важливим елементом автоматизації бізнес-процесів є використання інструментів для автоматичного виконання рутинних задач. Наприклад, автоматична обробка замовлень, генерація звітів, електронна

пошта, планування та інші операції можуть бути автоматизовані, що дозволяє звільнити ресурси для більш складних та стратегічних завдань [4].

3. Покращення комунікації та співпраці: автоматизація бізнес-процесів також сприяє покращенню комунікації та співпраці в межах організації. Використання спеціалізованих платформ або інструментів дозволяє забезпечити ефективну взаємодію між співробітниками, обмін документами та інформацією, ведення спільних проектів та управління завданнями.

4. Аналітика та відстеження результативності: Застосування автоматизованих систем дозволяє отримувати дані та аналітику про ефективність бізнес-процесів. Це дозволяє здійснювати відстеження результативності, виявляти проблемні моменти та вносити вдосконалення у процеси з метою підвищення ефективності та досягнення поставлених цілей.

Дослідження показують, що впровадження автоматизації бізнес-процесів може позитивно вплинути на результативність малого бізнесу, зокрема, зменшити час виконання завдань, покращити якість та точність роботи, а також забезпечити більшу ефективність використання ресурсів. В дослідженнях були розглянуті різні технології, що застосовуються для автоматизації бізнес-процесів у малому бізнесі. Серед них можна виділити роботизацію процесів (Robotic Process Automation, RPA), системи управління бізнес-процесами (Business Process Management, BPM), інтеграцію додатків та автоматизацію роботи з даними [1, 3].

**Матеріали і методи.** В ході дослідження застосовувалися наступні методи: вивчення, аналіз та систематизація наукових джерел, методи оптимізації, розробки баз даних та програмування.

Дослідження виконувалося на фірмі Sigma-mobile, що є українським виробником унікальних продуктів для ринку гаджетів.

Результати і обговорення.

Інформаційні системи та комплекси на підприємствах використовуються в різних сегментах управлінської системи й зорієнтовані на зростання продажів, зниження витрат, підвищення лояльності клієнтів і контрагентів, поліпшення якості обслуговування [10].

Так, найбільш поширеними програмними продуктами для сфери малого бізнесу визначено системи управління проектами, системи обліку відносин із замовниками (управління продажами), системи колективної роботи над інформацією, малі системи автоматизації документообігу та управління підприємствами, а також спеціальні замовні системи.

За даними О.М. Томашевський [12], натепер автоматизація аудиторських послуг здійснюється за допомогою вітчизняних програм «Івахненков & Катеньов Аудит» і «Турбо Аудит». Водночас бухгалтерська система «Pacioli» дозволяє автоматизувати облік на рівні фронт-офісу, контролює рух матеріальних та фінансових ресурсів на рівні бек-офісу, а також передає інформацію до центральної бази даних.

Водночас О. Міщенко [11] встановлено, що найпопулярнішими системами автоматизації ресторанного бізнесу є «D2 System», «Conecto», «ilikoRMS».

Наголошуючи на тому, що впровадження інформаційних технологій у процес управління підприємством здатне забезпечити його конкурентоспроможність, Т.В. Марусей [10] зазначає, що серед існуючих інформаційних систем та інформаційних комплексів, що використовуються в різних сегментах управлінської системи, система SAP Business One являє собою оригінальне управлінське рішення, яке дозволяє вирішувати ряд нагальних питань автоматизації, зокрема наступні: формалізація бізнес-процесів підприємства, здійснення контролю за їх виконанням, надання співробітникам, клієнтам і партнерам зручний доступ до інформації, необхідної для прийняття зважених рішень.

Загострюючи увагу на неможливість значної кількості фірм використовувати потужні інформаційні системи і комплекси, внаслідок чого вони змушені задовольнятися автоматизацією найбільш критичних бізнес-процесів таких як автоматизація бухгалтерії, облік продукції шляхом використання засобів MS Office, Ельперін І.В. [6] пропонує звернути увагу на хмарні сервіси, використання яких мінімізацію витрати на створення ІТ-інфраструктури.

Систематизуючи дані наукових джерел та накопичений досвід з питань автоматизації діяльності малих підприємств та основ інформаційних знань та практичних умінь щодо вибору засобів та розробки програмних продуктів [7, 8], нами запропоновано програмні рішення для автоматизації роботи малого бізнесу на різних рівнях організації на прикладі роботи фірми Sigma-mobile (рис. 1).

Так, для автоматизації роботи підрозділу стратегічного управління фірми запропоновано комп'ютерна програма «Стратегія» для автоматизації вибору стратегії розвитку фірми, розроблену за допомогою засобу розробки програмного забезпечення Visual Basic, який являє собою потужний засіб для компонентного способу створення про-

грам, що працюють під управлінням операційних систем родини Microsoft Windows. Зауважимо, що в основу запропонованої програми покладено метод SPACE-аналізу і її застосування забезпечує розв'язання завдання автоматизації стратегічного управління фірми.

З метою автоматизації роботи сервісної служби за допомогою універсального інструменту для створення форм і опитувальників Google Форми розроблено Веб-сервіс «Діагностика гаджетів», спрямований на здійснення обліку гаджетів, прийнятих на ремонт, де зазначається назва гаджета, версія прошивки та дата тестування. При цьому існує можливість сформувати готовий звіт стандартної форми щодо дат, коли гаджети певної марки надійшли на тестування, а також отримати статистичний звіт про дефекти і несправності гаджетів.

Розроблена база даних «Менеджер», реалізована за допомогою системи управління базами даних MS Access, спрямована на автоматизацію роботи відділу продажів і містить інформацію щодо товару, продавців, дати та обсягу продажів, дозволяє розрахувати прибуток за відповідний період, оцінити рівень продажів того чи іншого гаджета, з'ясувати ефективність менеджера, популярність товару, встановити наявність товару на складі та отримати звіт з товарообігу за встановлений період.

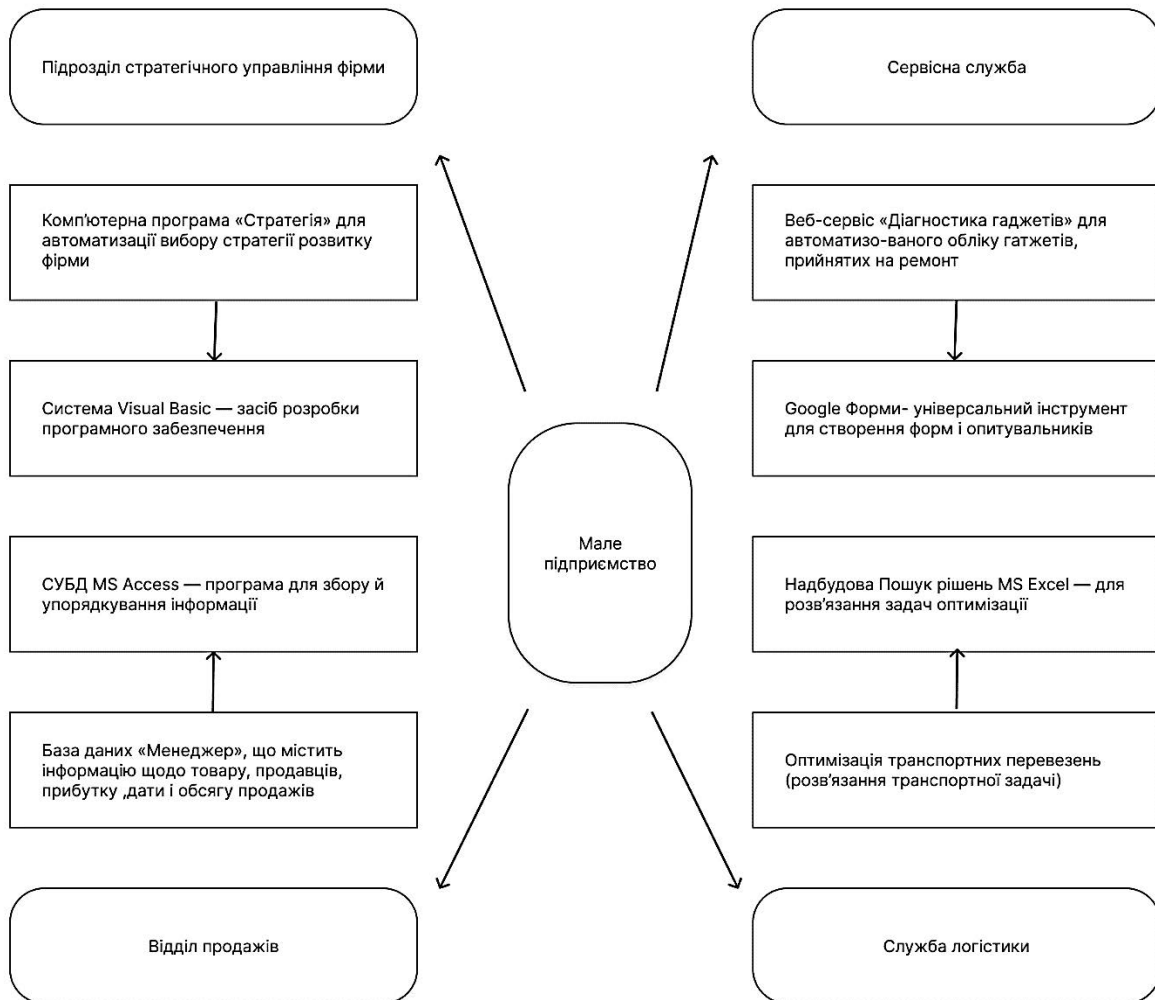
Для оптимізації транспортних перевезень запропоновано використовувати надбудову Пошук рішень MS Excel, яка дозволяє автоматизувати процес розв'язання транспортної задачі.

Таким чином, у ході дослідження представлено ряд простих рішень, які не потребують додаткових капіталовкладень, проте є ефективними для вирішення завдання для автоматизації діяльності фірми.

**Висновки.** Використання інформаційних систем і сучасних інформаційних технологій є одним з ефективних способів розвитку систем управління підприємствами.

У ході діяльності підприємств у сфері малого бізнесу часто виникає протиріччя, яке полягає у необхідності підвищення конкурентоспроможності фірми шляхом автоматизації бізнес-процесів і неможливістю застосовувати потужні інформаційні технології і системи через їх велику вартість.

Запропоновано здійснювати автоматизацію роботи малого бізнесу на різних рівнях організації шляхом застосування технології візуального програмування, комп'ютерні технології обробки інформації на основі використання систем управління базами даних, технологій розв'язання задач оптимізації, а також технологій створення Web-сервісів.



**Рис. 1. Автоматизація роботи малого бізнесу на різних рівнях організації (на прикладі роботи фірми Sigma-mobile)**

**Список літератури:**

1. A. Z. Spector and P. Norvig, Digital Transformation and Artificial Intelligence, California Management Review, vol. 62, № 4, pp. 14–34, 2020.
2. M. Weill and S. L. Woerner, Thriving in an Increasingly Digital Ecosystem, MIT Sloan Management Review, vol. 60, № 2, pp. 45–53, 2019.
3. R. Saha and S. Mukherjee, Digital Transformation and Its Implications for Business Process Management, Business Process Management Journal, vol. 25, № 3, pp. 576–594, 2019.
4. Бунке О.С. Автоматизація бізнес процесів: навчальний посібник до практичних занять: Навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 39 с.
5. Горбунова Л. М. Інформаційні технології в управлінні бізнес-процесами. Економіка регіону. 2019. № 3. С. 85–90.
6. Ельперін І.В., Автоматизація виробничих процесів. Підручник. Вид. 2-ге, виправлене: Навч посіб. Київ: Видавництво Ліра-К, 2021. 378 с.
7. Казак І.О. Інформатика: Курсова робота: навч. посіб. для підготовки бакалаврів, які навчаються за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», освітньою програмою «Інжиніринг пакувань та пакувального обладнання». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 39 с.
8. Кузьмичов А.І. Ймовірнісне та статистичне моделювання в Excel для прийняття рішень : [навч. пос.] / Бишевец Н.Г., Кузьмичов А.І., Куценко Г.В., Омечинська Н.В., Юсипів Т.В. Київ. Видавництво Ліра-К, 2019. 200 с.
9. Лисенко О. В. Інформаційні технології та автоматизація бізнес-процесів. Економічний часопис XXI. 2018. № 7-8. С. 16–19.

10. Марусей Т.В. Особливості програмного рішення SAP Business One в управлінні сучасним підприємством / Т.В. Марусей, Т.Л. Білик // Економіка і суспільство. 2018. Вип. 15. С. 956–959.
11. Міщенко О. І. Автоматизація бізнес-процесів в умовах діджиталізації економіки. Економіка та держава. 2020. № 2. С. 47–51.
12. Томашевський О. М., Цегелик Г. Г., Вітер М. Б., Дудук В. І. Інформаційні технології та моделювання бізнес-процесів. Навч. посіб. К.: «Видавництво «Центр учбової літератури», 2020. 296 с.
13. Федулова Л. Інформаційно-технологічна інфраструктура ритейлу. Вісник КНТЕУ. 2017. № 4. С. 21–42.

**Byshevets H.A., Furtat S.O., Furtat O.V., Vyshemirsk Ya.S. PROSPECTIVE WAYS OF AUTOMATING BUSINESS PROCESSES IN SMALL BUSINESS**

*This article is devoted to the importance of automating business processes in the small business sector. In recent years, there has been a growing interest in the use of information technology (IT) to improve the efficiency and productivity of enterprises. The article considers various offers on the market of IT services for business, as well as systematizes the most popular software products that allow for effective management of the company's activities.*

*The purpose of the study was to analyze software tools aimed at automating the work of a small business, using the example of the Sigma-mobile company. Analyzing the current state of small business, the authors came to the conclusion of the need to implement IT solutions to improve management processes, optimize the work of personnel and ensure competitive advantages in the market.*

*One of the key aspects of this research is the application of visual programming technology. It allows you to create programs using a graphical interface, which simplifies the development process and the comprehensibility of the program code. This is especially useful for small businesses where the number of programmers or IT specialists may be limited.*

*Based on the collected data and taking into account the specifics of Sigma-mobile's activities, software tools aimed at solving these problems were developed. Their functions include automating accounting processes, creating and maintaining a customer base, monitoring the condition of goods in the warehouse, improving communication between departments and management.*

*Software tools are implemented using modern programming technologies and databases, which ensures their efficiency and reliability. In addition, the software was tested in practice, which made it possible to evaluate their effectiveness and suitability for use in the work of Sigma-mobile.*

*The results of the study testify to the successful development of software aimed at automating the work of small businesses using the example of Sigma-mobile.*

**Key words:** *automation of business processes, small business, strategic management, database, information technologies.*

УДК 697.341

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/13>**Бунь В.П.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Баган Т.Г.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ПАЛАТИ В ЛІКАРНІ

У статті досліджено систему вентиляції і кондиціонування повітря для палати лікарні. Основним видом управління системи вентиляції повітря є автоматизоване управління, технічна сутність якого полягає в централізації управління процесами нагріву, охолодження, зволоження повітря для лікарні, що обслуговується, при забезпеченні автоматичного захисту від розвитку аварії в разі виникнення аварійних ситуацій. Для систем кондиціонування повітря лікарні як об'єкта управління характерні збурення на вході (вологість і температура зовнішнього повітря), а так само важливо враховувати температуру і вологість повітря. Висока ефективність системи кондиціонування повітря може бути забезпечена тільки при злагодженій роботі всіх технологічних ланок: секції нагріву, секції охолодження і секції зволоження, що може бути забезпечено застосуванням системи керування. Таким чином, система автоматичного керування процесом нагрівання, охолодження повітря не виконує всіх необхідних функцій з управління та контролю параметрів. Тому розробка системи автоматичного керування технологічними процесами нагріву, охолодження і зволоження повітря є актуальною. В роботі було поставлено за мету розробити систему автоматизації вентиляційної установки в приміщенні спеціального призначення – палата лікарні.

Функції контролю, індикації, сигналізації та регулювання реалізовано на контролері Siemens Climatix POL648, також підбрано інші технічні засоби для системи. Виконано аналіз та синтез системи керування повітря. Розроблена параметрична модель системи чистого приміщення з калорифером нагріву та охолоджувачем. Розраховано каскадну систему регулювання та коефіцієнти ПІ-регуляторів системи.

Спроектована система є дворівневою: I рівень – контролерний, II рівень – супервізорний. Розглянуто основні тенденції розвитку SCADA, проаналізовані основні вимоги та порушення, які не дають обслуговуючому персоналу контролювати процес та робити правильні висновки стосовно роботи автоматизованої системи керування.

На супервізорному рівні знаходиться розроблена HMI/SCADA. Зв'язок між SCADA-системою та контролером відбувається за протоколом Modbus TCP.

Проведено імітаційне моделювання роботи дворівневої системи в реальному часі з використанням контролера Siemens Climatix POL648 та SCADA. Такий підхід при розробці проєкту покращує інформаційно-керуючу систему мікроклімату лікарні та значно заощаджує час на пусконаладжувальні роботи на реальному об'єкті.

**Ключові слова:** система вентиляції і кондиціонування, мікроклімат лікарні, припливно-витяжна система вентиляції, каскадна схема керування, ПІ регулятор, SCADA.

**Постановка проблеми.** Головною метою є розробка автоматизованої системи при якій забруднене повітря з адміністративного приміщення не потрапляє в палату лікарні. Об'єктом дослідження є система вентиляції та кондиціонування для лікарні. Головними задачами є подолання проблем при розробці системи керування та створення ефективного рішення автоматизації шляхом створення комплексного підходу для побудови палати лікарні нового рівня [1]. Осно-

вними проблемами, що потребують вирішення на подібних об'єктах є: створення якісної системи вентиляції саме палати; підтримка показників температурного режиму; підтримка показників вологості, зберігання необхідного їх рівня; створення рішення для збереження чистоти повітря; контроль перепаду тиску на фільтрах; контроль роботи електродвигунів вентиляторів; контроль роботи електрокалориферів; контроль роботи водяних охолоджувачів; контроль положення

жалюзі повітряних заслінок; контроль роботи перетворювачів частоти вентиляторів; контроль температури і вологості повітря в приміщеннях; захист електронагрівачів систем від перегріву; відключення системи при пожежі; управління приводами клапанів калориферів і повітроохолоджувачів; SCADA-система, яка була би зручною для їх використання персоналом з різним рівнем кваліфікації [2]. Для вирішення наведених проблем розроблена система автоматизації вентиляційної установки в приміщенні спеціального призначення – палата лікарні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для підтримки чистоти повітря системи вентиляції і кондиціонування у чистих приміщеннях мають відповідати спеціальним вимогам щодо фільтрації повітря, швидкості повітрообміну та перепаду тиску, щоб запобігти забрудненню [3, 4].

Чисті приміщення класифікуються на основі кількості та розміру часток, дозволених на кубічний метр повітря. Загалом, майже всі особливості системи вентиляції і кондиціонування викриваються саме тоді, коли ці системи встановлені у чистих приміщеннях. Найголовнішою ціллю системи вентиляції і кондиціонування таких приміщень є забезпечення оптимальної якості повітря (Таблиця 1) [5].

Таблиця 1

**Таблиця оптимальних параметрів повітря**

Параметр	Рівень
Рівень чистоти повітря	Клас чистоти: ISO 5-9 або EU GMP A-B
Вологість	40-60%
Температура	20-25°C
Швидкість потоку повітря	0.25-0.5 м/с
Рівень CO2	Менше 1000 ppm

Виконано аналіз застосування наступних фільтрів:

- високоефективні повітряні фільтри HEPA (*High Efficiency Particulate Air* – високоефективне утримання часток);

- фільтри попереднього очищення;
- вугільні фільтри;
- багаторазові фільтри.

Високоефективні повітряні фільтри (HEPA) – одні з основних компонентів фільтрації, які використовуються у системах вентиляції та кондиціонування. Вони призначені для захоплення та видалення частинок розміром до 0,3 мікрона з ефективністю 99,97%. Фільтри HEPA необхідні для видалення забруднювачів повітря, включаючи бактерії, віруси, пил, пилок та інші тверді частинки.

Фільтри попереднього очищення. Фільтри попереднього очищення встановлюються перед фільтрами HEPA для видалення з повітря великих часток, таких як пил і сміття. Вловлюючи ці більші частинки, попередні фільтри допомагають подовжити термін служби фільтрів HEPA та підвищити їх загальну ефективність, оскільки останні розраховані на малі частинки.

Вугільні фільтри. Також на додаток до фільтрів HEPA, фільтри з активованим вугіллям часто використовуються для видалення запахів, газів і летких органічних сполук з повітря. Ці фільтри містять активоване вугілля, яке має велику площу поверхні, яка може адсорбувати та вловлювати широкий спектр хімічних забруднюючих речовин. Особливістю є те, що, оскільки ці фільтри видаляють запахи летких органічних сполук, то вони встановлюються майже у всіх системах вентиляції чистих приміщень.

Фільтри, які можна очищати (багаторазові). Деякі системи вентиляції і кондиціонування можуть використовувати фільтри, які можна мити або по іншому чистити, щоб видалити накопичені частинки. Фільтри, які можна очищати, забезпечують економію коштів порівняно з одноразовими фільтрами та часто використовуються в місцях з більшими частинками або де потік повітря відносно чистий. Повітря проходить через фільтри попереднього очищення, багаторазовий фільтр, вугільний фільтр і в кінці через HEPA фільтр.

Щоб забезпечити чистоту приміщення-палати запропоновано спосіб управління тиском, необхідно перевірити різницю тиску чистого приміщення до шлюзів для персоналу та матеріалів, будь-яких чистих приміщень інших класів чистоти, а також до навколишнього середовища. Слід також провести перевірку перепаду тиску на фільтрі. Різниця тиску встановлюється між різними зонами, щоб контролювати напрямок потоку повітря. Різниця тиску між сусідніми зонами ретельно підтримується, щоб забезпечити потік повітря з більш чистих зон до менш чистих. Це запобігає міграції забруднень і допомагає підтримувати бажаний рівень чистоти в кожній зоні. Чисті приміщення та критичні зони часто мають позитивний перепад тиску. Позитивний тиск означає, що тиск повітря всередині чистої палати трохи вищий, ніж у оточуючих приміщеннях. Таке налаштування допомагає запобігти проникненню забрудненого повітря з менш чистих місць у контрольоване середовище. Це гарантує, що будь-які потенційні витоки відбуваються з чистого приміщення в зовнішнє середовище, мінімізуючи ризик забруднення.

### Технічне вирішення завдання системи вентиляції і кондиціонування

Одним із головних завдань є вирішення підтримки чистоти повітря в палаті. Для цього на етапі створення будівлі було вирішено побудувати приміщення перед палатою далі назване як шлюз. Це приміщення пов'язане з палатою через загальну вентиляційну систему. На обидва приміщення встановлено давач перепаду тиску. Ідея полягає в тому, що тиск в палаті повинен бути більшим за тиск в шлюзі для того, щоб при відкритті дверей в палату повітря виходило з неї. Таким чином ми зможемо захистити повітря в палаті від забруднення та зберегти мікроклімат [6].

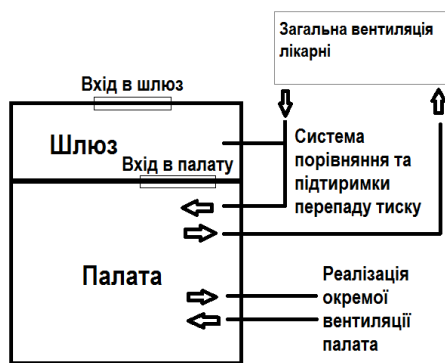


Рис. 1. Приклад вирішення завдання контролю чистоти повітря

Під час проектування системи було виконано наступні завдання:

Створення шлюзу – приміщенні перед палатою де завдяки приводам VAV- клапанів (*Variable Air Volume* – «змінний об'єм повітря») ми створюємо перепад тисків, який дозволяє зберігати мікроклімат палати. Це зроблено для того, щоб в палаті зберігався тиск вищий за шлюз тоді при відкритті дверей чисте повітря буде виходити з приміщення, а брудне не зможе в палату потрапити. Встановлені VAV клапани – це енергоефективна система з автоматичною підтримкою постійного тиску в повітряному каналі.

Основні призначення даної системи: зниження експлуатаційних витрат і компенсація забруднення фільтрів.

З диференціального датчика тиску, який встановлений на платі контролера, автоматика розпізнає тиск в каналі і автоматично вирівнює його шляхом збільшення або зменшення оборотів вентилятора. Припливний і витяжний вентилятори при цьому працюють синхронно.

Компенсація забруднення фільтрів. При експлуатації системи вентиляції фільтри неминуче

забруднюються, збільшується опір вентиляційної мережі і зменшується обсяг подається в приміщення повітря. VAV-система дозволить підтримувати постійну витрату повітря протягом усього терміну експлуатації фільтрів. VAV-система найбільш актуальна в системах з високим рівнем очищення повітря, де забруднення фільтрів призводить до відчутного зниження обсягу повітря, що подається.

Зниження експлуатаційних витрат. VAV-система дозволяє істотно скоротити експлуатаційні витрати, особливо це помітно на припливних системах вентиляції, у яких високе енергоспоживання. Домагаються економії шляхом повного або часткового відключення вентиляції окремих приміщень.

Створена система рециркуляції повітря індивідуально для приміщення палати в яку закладені декілька фільтрів для очистки повітря, один із яких HEPA. HEPA-фільтри відносяться до фільтрів тонкого очищення. Ефективність фільтрів тонкого очищення визначається в лабораторних випробуваннях по відсотку затриманих мікрочастинок. Для таких лабораторних тестів використовується аерозоль з суміші синтетичних мікрочастинок розміром близько 0,3 мкм (від 0,1 до 0,5 мікрон).

Впроваджено систему охолодження повітря та нагріву, в сумі які дають нам можливість осушити повітря до необхідного рівня. Це зроблено для того, щоб підтримувати рівень вологості яких за Держстандартом повинна бути в межах 40–60%.

Як результат, кожна палата буде мати індивідуальну систему вентиляції, яка буде ефективно виконувати поставлені задачі та дозволить підтримувати мікроклімат для комфортного перебування пацієнтів, а простий для розуміння графічний інтерфейс системи дозволить різнорівневому обслуговуючому персоналу швидко та легко редагувати значення параметрів та відслідковувати стан системи в цілому.

Таким чином, основною задачею є комплексний підхід до вирішення поставлених проблем та запропоновані рішення з автоматизації та диспетчеризації системи:

1. Впровадження автоматизованої системи управління.

Проблема неякісного регулювання технологічними параметрами в ручному режимі є найпоширенішою та її рішення постійно еволюціонує. На сьогоднішній день найбільш якісним рішенням даної проблеми є використання програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, що включає в себе набір датчиків, які в реальному часі неперервно вимірюють значення технологічних

параметрів, програмовні логічні контролери (ПЛК), які за заздалегідь заданим алгоритмом та налаштуваннями регуляторів керують виконавчими механізмами, які в свою чергу безпосередньо впливають на зміну значень технологічних параметрів. У випадку задачі підтримки температури вентиляційної системи найпоширенішим варіантом є встановлення датчиків з уніфікованими вихідними сигналами, налаштування ПІ-регулятора на ПЛК та використання регулюючих клапанів з електричним або пневматичним приводом.

Для ідентифікації параметрів за критерій прийнятності було обрано метод найменших квадратів. Розроблено каскадну систему керування системою вентиляції. Було обрано ті налаштування, що забезпечують необхідну якість регулювання для досягнення необхідних температурних параметрів у приміщенні, а також забезпечують необхідні показники ефективності обладнання. У якості закону регулювання прийнято пропорційно-інтегральний закон, що забезпечує отримання перехідного процесу з мінімальним показником перерегулювання для найменшої з можливих тривалостей перехідного процесу

Показники якості такого регулювання наведені в Таблиці 2.

Таблиця 2

**Прямі показники якості по обом каналам для нагрівача**

Показник якості для калорифера	Канал	
	Завдання-вихід	Збурення-вихід
Статична похибка	0	0
Динамічна похибка	0,58	$1,72 \cdot 10^{-3}$
Час регулювання, с	2380	3460
Степінь затухання	0,93	0,88
Перерегулювання, %	20	62

**Впровадження системи дистанційного керування технологічним процесом**

На рис. 2 представлена схема програмно-технічного комплексу засобів автоматизації, який включає в себе ПК та ПЛК, з'єднані між собою польовою шиною. Нижній рівень АСУ являє собою контролер з вимірювальною та виконавчою апаратурою, а верхній – супервізорний.

Елементною базою нижнього рівня є Siemens Climatix POL648. В даній схемі контролер регулює температуру тиск та вологість в палаті.

Siemens Climatix POL648 вільно конфігурується та є модульним контролером з додатком для вентиляційної установки. Для нього є можливість

розширення функціональних можливостей за допомогою додаткових модулів (модулі входів / виходів та інтерфейсні модулі).

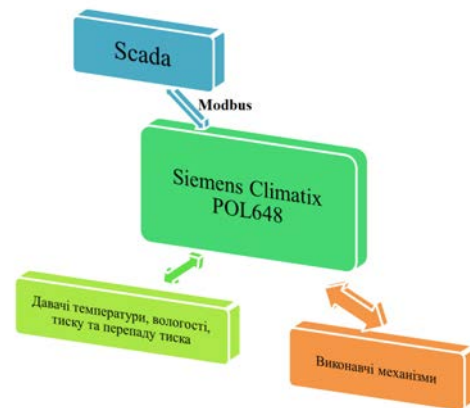


Рис. 2. Структурна схема ПТКЗА

Найбільш розповсюдженим рішенням питання диспетчеризації виробництва є впровадження SCADA-систем (*Supervisory Control And Data Acquisition*), яка надає велику кількість переваг для керування технологічним процесом та виконує наступні функції:

- НМІ (Human-machine interface) – візуалізація об'єкта управління і всіх поточних параметрів (мнемосхеми);

Людино-машинний інтерфейс в SCADA-системах реалізується у вигляді мнемосхем. На мнемосхемах відображається основне обладнання, сигнали, стан регулюючих органів та інші частини системи. Мнемосхеми можуть відображати як загальну картину стану системи, технологічного процесу, так і стан окремих агрегатів, пристроїв, значення параметрів і т. п. НМІ система може мати декілька десятків вікон з мнемосхемами, трендами, алармами і т. д. Оператор може перемикатися між ними і працювати з тим чи іншим елементом технологічного процесу, тобто з тієї чи іншої мнемосхемою. Мнемосхема - основний посередник при передачі інформації від системи оператору або інженеру.

- Збір і архівація всіх даних, які приходять від контролерів;

Обмін даними здійснюється за допомогою певного протоколу (мови передачі даних). Таким чином, комп'ютер зі встановленою SCADA повинен мати відповідні порти і підтримувати протоколи обміну даних за допомогою яких «спілкується» контролер, встановлений на нижньому рівні системи. SCADA збирає дані з усіх контролерів і пристроїв нижнього рівня і зберігає їх в одному місці стільки часу, скільки необхідно.



Такий підхід забезпечує зручний доступ до інформації про процеси в системі і можливість її подальшого аналізу. Доступ до інформації, яку збирає SCADA можуть мати тільки користувачі, яким такий доступ дозволений. Тобто керівник може бачити всю картину мікроклімату в лікарні.

- Відображення даних та оповіщення про події в системі;

Функція, не менш важлива, ніж Людино-машинний інтерфейс і збір та зберігання даних. Після того як ми зібрали всі дані в одному місці і зберегли їх, нам потрібно навчитися виділяти з даних безпосередньо інформацію. Так склалося історично, що один з найбільш зручних для сприйняття методів подачі інформації є тренди. Тренд – графік залежності параметра від часу. SCADA-система дозволяє дивитися як змінюються параметри технологічного процесу в реальному часі а так само переглядати інформацію за певний період в минулому. Тренд дозволяє бачити цілісну картину за конкретними параметрами виробництва, швидко аналізувати цю картину і приймати рішення про подальші дії.

- Ведення журналу подій;

Всі події архівуються системою і в разі необхідності можуть бути переглянуті і використані під час аналізу. SCADA-система веде облік всіх подібних дій і подій. У разі необхідності можна подивитися, хто був на зміні в той чи інший період часу, які були вчинені дії.

- Розмежування прав користувачів;

SCADA система передбачає її використання кількома користувачами з різними повноваженнями. Будь-який користувач при вході в систему повинен пройти авторизацію. Це допомагає фіксувати час виходу на зміну користувачів і захищає систему від несанкціонованого доступу. Відповідно кожен користувач повинен бачити тільки ту інформацію, яка необхідна йому для роботи. В нашому випадку інженер системи, головний лікар, медсестра та обслуговуючий персонал буде мати різні права на користування та можливість змінювати параметри системи. Оскільки частіше змінювання значень мікроклімату будуть реалізовувати медсестри (за технічним завданням) інтерфейс повинен бути для них максимально зрозумі-

лим та не давати можливість змінювати параметри до критичного положення, але інженер повинен мати доступ до всіх функцій системи в тому числі для її перевірки в аварійному режимі роботи. Всі ці функції дозволяють уникнути неприємних наслідків безграмотності або необережності персоналу.

- Реалізація системи звітності;

SCADA-система формує звіти у вигляді таблиць, графіків, діаграм і т.д. Деякі системи мають вбудовану систему звітності, але найчастіше для цього використовується табличний програма MS Excel. В цілому на етапі розробки системи користувач сам може вибрати зручну для нього форму надання звітів по необхідним для нього параметрами і надалі отримувати всю інформацію «в один клік». Дані в SCADA на 100% достовірні так як виключають людський фактор. Система звітності дозволяє вибирати тільки найнеобхіднішу інформацію і робити на підставі неї правильні висновки щодо роботи системи що в свою чергу призводить до оптимізації і поліпшення ефективності роботи.

- Реалізація специфічних функцій управління за допомогою скриптів.

**Висновки.** У статті досліджено систему вентиляції і кондиціонування повітря для палати лікарні. Для неї запропонована SCADA-система, яка задовольнятиме умовам користувача та буде комфортною під час використання та експлуатації. Головним технічним рішенням є створення додаткового приміщення перед палатою та зберігання перепаду тиску між ними для того, щоб не давати забрудненому повітрю потрапляти в палату. Проведено аналіз фільтрів, які можна було б використати в системі. Щоб забезпечити чистоту приміщення-палати запропоновано спосіб управління тиском. Розроблена система автоматизації вентиляції та кондиціонування повітря для палати лікарні. Проведено імітаційне моделювання роботи дворівневої системи в реальному часі з використанням контролера Siemens Climatix POL648 та SCADA. Такий підхід при розробці проекту покращує інформаційно-керуючу систему мікроклімату лікарні та значно заощаджує час на пусконаладжувальні роботи на реальному об'єкті.

### Список літератури:

1. Наказ № 259 від 02.04.2013 Про затвердження Державних санітарних норм і правил «Санітарно-протиепідемічні вимоги до закладів охорони здоров'я, що надають первинну медичну (медико-санітарну) допомогу» Із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства охорони здоров'я № 280 від 01.02.2019.
2. Methods of supporting the microclimate in pharmacological production / Т. Bahan, V. Boun, J. Skovoroda // Актуальные научные исследования в современном мире. ISCIENCE.IN.UA – Переяслав, 2020. – № 4 (60). – С. 17-20.

3. Cleanrooms and associated controlled environments – Part 15: Assessment of suitability for use of equipment and materials by airborne chemical concentration (ISO 14644-15:2017) / Національний стандарт США – США, 2017 – 28 с.
4. Мікроклімат та його вплив на працездатність людини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://surl.li/fjogr>
5. Авраменко Д.О. «Мікроклімат приміщень. Види теплопередачі. Теплообмін теплопровідністю. Мікроклімат приміщень. Види теплопередачі. Теплообмін конвекцією», с. 10, березень 2016.
6. Іщейкіна Ю.О. Гігієна та екологія / Ю.О. Іщейкіна, Л.В. Буря. – Україна, 2017. – 305 с.

#### **Boun V.P., Bahan T.H. VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS FOR A HOSPITAL WARD**

*The article examines the ventilation and air conditioning system for a hospital ward. The main type of control of the air ventilation system is automated control, the technical essence of which is the centralization of control of the processes of heating, cooling, air humidification for the hospital being served, while providing automatic protection against the development of an accident in case of emergency situations. Hospital air conditioning systems as a control object are characterized by disturbances at the entrance (humidity and temperature of the outside air), and it is equally important to take into account the temperature and humidity of the air. The high efficiency of the air conditioning system can be ensured only with the coordinated operation of all technological links: the heating section, the cooling section and the humidification section, which can be ensured by the use of a control system. Thus, the system of automatic control of the process of heating and air cooling does not perform all the necessary functions of control and control of parameters. Therefore, the development of a system for automatic control of technological processes of heating, cooling and air humidification is relevant. The aim of the work was to develop an automation system for a ventilation unit in a special-purpose room - a hospital ward.*

*Control, indication, signaling and regulation functions are implemented on the Siemens Climatix POL648 controller, and other technical means for the system have also been selected. The analysis and synthesis of the air control system was performed. A parametric model of a clean room system with a heating radiator and a cooler was developed. The cascade regulation system and coefficients of PI regulators of the system were calculated.*

*The designed system is two-level: I level - controller, II level - supervisor. The main trends in the development of Scada are considered, the main requirements and violations that do not allow service personnel to control the process and draw correct conclusions regarding the operation of the automated control system are analyzed.*

*At the supervisor level there is a developed HMI/SCADA. Communication between the SCADA system and the controller is based on the Modbus TCP protocol.*

*A real-time simulation of the operation of the two-level system was carried out using the Siemens Climatix POL648 controller and SCADA. This approach to project development improves the information management system of the hospital's microclimate and significantly saves time for commissioning work at the real facility.*

**Key words:** *ventilation and air conditioning system, hospital microclimate, supply and exhaust ventilation system, cascade control scheme, PI controller, SCADA.*

**Бурау Н.І.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Золотарьов Є.О.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СИСТЕМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНИХ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ

Оглядову статтю присвячено аналізу останніх розробок систем візуалізації руху для безпілотних підводних апаратів. Розглянуто результати наукових досліджень та сучасні практичні технології, які використовуються у розробці технічних засобів та програмного забезпечення для таких систем. Проведено огляд та аналіз інформації, яка відображається у користувацькому графічному інтерфейсі систем візуалізації руху безпілотних підводних апаратів. Огляд систем візуалізації руху безпілотних підводних апаратів включає готові рішення від відомих компаній, студентські проекти, що знаходяться на стадії розробки, а також проекти з відкритим кодом. В основному всі розробки призначені для не автономних апаратів, які мають фізичний зв'язок (кабель-трос) з судном-носієм.

В статті розглянуто особливості запропонованого розробниками комерційного програмного забезпечення, а також мови програмування для розробки програмного забезпечення систем візуалізації руху. Розкрито важливість вибору архітектури програмного забезпечення. Також, показано тенденцію комплексного підходу до застосування веб-технологій та низькорівневих мов програмування при розробці графічного інтерфейсу користувача. Приведені готові рішення засобів, та їх характеристики, для інформаційного обміну між автономним безпілотним підводним апаратом та поверхневою контрольною станцією. Описані типові інтерфейси призначені для організації прийому-передачі даних.

Загалом, стаття надає детальний огляд сучасних розробок систем візуалізації руху для безпілотних підводних апаратів, аналізує їхні переваги та обмеження, а також вказує на потенційні напрямки подальшого розвитку цих систем. На основі проведеного огляду сформувано вимоги та обґрунтовано підходи до розробки системи візуалізації руху автономного безпілотного підводного апарату, що відноситься до класу міні/мікро апаратів. Показано, що розробка системи візуалізації руху, як складової навігаційного комплексу, сприятиме підвищенню надійності та ефективності використання безпілотних підводних апаратів.

**Ключові слова:** автономні безпілотні підводні апарати, орієнтація, навігація, керування, візуалізація руху, програмне забезпечення.

**Постановка проблеми.** Безпілотні підводні апарати (БПА) – це роботизовані підводні апарати, що здатні рухатися в різних напрямках підводного середовища та виконувати різноманітні місії без участі людини в середині такого апарату. Вони використовуються для збору даних в наукових дослідженнях, моніторингу підводного середовища, у пошукових та рятувальних операціях, для картографування дна океану, підводної фотографії та відеозйомки, для виявлення та знищення небезпечних предметів, інспекції та обстеження морських платформ, нафтових та газових трубопроводів, тощо [1; 2]. Загальна класифікація БПА детально описана в роботах [1; 2; 3], відповідно до неї можна виділити такі основні класи: автономні і неавтономні.

Неавтономні, або дистанційно керовані апарати (remotely operated vehicle), зазвичай буксуються за судном-носієм і можуть маневрувати у вертикальній та горизонтальній площинах. До цього класу відносяться і телекеровані апарати, які зв'язані з носієм за допомогою кабель-тросу. Завдяки кабель-тросу людина-оператор на базовому судні може спостерігати за поточним станом БПА і забезпечувати керування ним відповідно до визначених завдань місії. Крім того, кабель-трос може забезпечувати живлення датчиків, систем та приводів БПА.

Автономні безпілотні підводні апарати (АБПА) здатні переміщуватися, занурюватися і спливати самостійно за програмою або командами телеметрії. Відсутність кабель-тросу надає принаймні

дві основні переваги автономним апаратам [3]. По-перше, під час виконання своєї місії АБПА практично не потребує взаємодії з людиною, апарат попередньо запрограмований на бажані цілі місії, і після запуску намагається виконати свою програму без втручання персоналу, розташованого на базовій станції, що зменшує вірогідність помилкових рішень, обумовлених людським фактором. По-друге, відсутність постійно прикріпленого до апарату кабелю забезпечує підвищену маневреність АБПА. Ці переваги обумовлюють застосування саме автономних апаратів для завдань дослідження в складних, динамічних і небезпечних підводних середовищах, що, з іншого боку, висуває низку жорстких вимог як до конструкції, так і до систем керування АБПА.

Світовими лідерами розробки та виробництва АБПА є США, Норвегія, Німеччина, Великобританія, Франція, Канада, Японія, Сінгапур, Данія [4]. За кордоном до створення АБПА залучено комерційні фірми, наукові установи, військові відомства, це свідчить, що цей напрямок відноситься до числа найбільш пріоритетних напрямків морської робототехніки. Тенденції розвитку АБПА охоплюють такі напрямки, як [4]:

- матеріали (нові матеріали на основі композитів, вуглецевого волокна повинні забезпечувати АБПА бути легкими, міцними, витримувати великі навантаження);
- нові двигуни для забезпечення маневреності та дальності плавання;
- енергоживлення (альтернативні джерела енергії, ефективні акумулятори з більшою потужністю та меншими розмірами);
- мініатюризація та здешевлення (дешеві, маленькі, мобільні та прості в експлуатації, група таких апаратів може замінити один великий, дорогий та складний в експлуатації апарат без втрати ефективності виконання місії);
- інтелектуалізація (адаптивні системи керування на основі штучного інтелекту та нейронних мереж, системи групового керування);
- розширення військової сфери використання апаратів (розвідка, виявлення/встановлення мін; виявлення/встановлення засобів зв'язку).

Завдання, які постають перед розробниками АБПА, можна узагальнити до трьох основних напрямків [5]: конструювання апаратів; розробка систем забезпечення руху; розробка систем збору та передачі інформації. Першим і найважливішим завданням є розробка самого АБПА, тобто створення компактного та енергоефективного підводного апарату з високою міцністю, що може пра-

цювати в екстремальних умовах дна океану. Друге завдання передбачає розробку систем забезпечення руху АБПА, зокрема, систем енергозабезпечення, стабілізації, навігації та керування, які зможуть гарантувати достатню точність, довгу тривалість роботи та стабільність руху. Третє завдання полягає в розробці систем зв'язку для забезпечення передачі інформації між АБПА та зовнішнім світом. Це в загальному випадку включає розробку таких систем зв'язку, які будуть здійснювати передачу даних в режимі реального часу, а також зберігання та візуалізацію інформації для подальшого аналізу. Важливою складовою таких систем є система візуалізації руху апарату для забезпечення постійного моніторингу за апаратом у складних та віддалених від оператора умовах в підводному середовищі.

У класі безпілотних літальних апаратів візуалізація є добре розвинутою, однак водне середовище створює проблеми для передачі даних. Мініатюризація АБПА обумовлює низку проблем, пов'язаних з їх функціональними елементами та характеристиками, зокрема, значно обмежує використання деяких датчиків, важливих для ефективної роботи під час виконання місії. Тому створення такої системи візуалізації, яка забезпечує комплексне вирішення завдань орієнтації, навігації, прийому-передачі та відображення інформації для АБПА класу міні або мікро, є важливим і актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для візуалізації руху безпілотних підводних апаратів достатньо відобразити наступні параметри руху: орієнтацію, швидкість, положення в просторі та відео зображення. Ці параметри можуть бути показані в реальному часі на екрані планшета або монітора з морською картою, що дозволить операторам відслідковувати їх рух і контролювати їх поведінку в морському середовищі. Розглянемо доступні рішення для систем візуалізації даних.

В роботі [6] представлено архітектуру БПА на базі відкритого програмного забезпечення «ArduPilot». Наземна чи поверхнева станція керування використовує програмне забезпечення «QGroundControl», система візуалізації даних зазвичай знаходиться у складі поверхневої станції. По протоколу «MAVLink» БПА передає дані на поверхневу станцію, а саме дані про напругу живлення, орієнтацію апарату (кути курсу, крену, тангажу), сигнали гіроскопів, та дані про глибину занурення. Для передачі даних в підводному середовищі використовують систему кабель-трос. Схожий проект описаний в роботі [7] з використанням

наземної станції керування «QGroundControl» для візуалізації руху БПА «LoCo».

Для БПА «PIONERO500» розроблено апаратне та програмне забезпечення для роботи апарату з дистанційним керуванням, яке використовує підхід системної інженерії [8]. Для передачі даних між БПА та поверхневою станцією використовується акустичний метод. В роботі представлено розроблений графічний інтерфейс поверхневої станції керування, де відображається інформація про положення та курс БПА відносно судна-носія та глобальних координат, глибина занурення, відстань до дна та водної поверхні. В роботі [9] цих же авторів розроблений графічний інтерфейс для БПА «VISOR3», він є зрозумілим та простим у використанні, що дозволяє просто керувати апаратом. Для зменшення перевантаження інформацією оператора програма відображає дані на відеопотоці (відображаються кути крену і тангажу, є індикація кута курсу, градація глибини з позначкою дійсної висоти над рівнем дна, значення тиску, відносної солоності, температури та вимір часу з моменту запуску місії).

Програмне забезпечення (ПЗ), що використовується для геодезичних рішень при проведенні ефективних і безпечних дистанційних операцій із застосуванням безпілотних апаратів, наведено в [10; 11; 12]. На сьогоднішній день це програмне забезпечення «NaviSuite Mobula» використовується в БПА «VideoRay Defender» та «BlueROV2». Акцент зроблений на об'єднання даних з найсучасніших сенсорів та на функціях ефективності, що дозволяють швидко інспектувати дуже великі об'єкти при моніторингових місіях БПА, наприклад, трубопроводів. Забезпечуються такі можливості візуалізації ПЗ «NaviSuite Mobula» для поверхневої станції керування [10]: об'єднання тривимірних даних; комбінування кількох видів з картами/зображеннями, зондуванням, лазером, камерою; можливості використання пристроїв переднього огляду, багатопроменевого зондування; позиціонування за допомогою різних типів сенсорів для забезпечення руху до заданої точки та режиму відслідковування маршруту; використання технологій та алгоритмів комп'ютерного зору для створення в реальному часі хмар точок навіть за допомогою одного камерного відеопотоку. Для БПА «BlueROV» в [11] обговорюється розробка графічного інтерфейсу з використанням Microsoft Visual Studio як платформи розробки інтерфейсу. Дані про орієнтацію, глибину, відеопотік, швидкості двигунів з датчиків, встановлених на борту БПА, обробляються мікро-

контролерами Arduino та Raspberry Pi, після чого відображаються на інтерфейсі для користувача. А в [12] представлений концепт системи візуалізації даних для БПА «BlueRov2», розробка ПЗ графічного інтерфейсу і керування БПА реалізована в інструментарії для візуального програмування потоком даних «Node-Red» з поєднанням різноманітних пристроїв та онлайн-сервісів, як складових частин Інтернету речей.

Програмне забезпечення для БПА «SRV-8» [13] забезпечує точне утримання позиції та функцію фіксації БПА на певному напрямку, глибині або куті нахилу. Передбачено запис усіх доступних даних, можливість відтворення місії БПА для детального перегляду відео після місії за допомогою функції перемотування з виділенням та детальним аналізом фрагментів. Можливість відображення повної орієнтації, кута повороту камери, введення джерела тяги та інтенсивності освітлення дозволяє оператору контролювати продуктивність та вносити корективи в команди керування. За наявності додаткових систем позиціонування ПЗ програмне забезпечення надає підтримку місії, відображаючи в реальному часі інформацію про положення БПА відносно місця розташування оператора.

Описані вище технічні та програми засоби передачі, візуалізації, відтворення та аналізу даних розроблені для неавтономних БПА, інформація на наземні чи поверхневі (надводні) станції керування подається через кабель-трос, яким БПА з'єднаний з судном-носієм.

В [14] створено ПЗ для поверхневої станції керування SmartFlight 2.0, яка є інерційною системою навігації та керування БПА «vLBV» з обмеженою автономною роботою, яка забезпечує стабільність і маневреність апарату. Всі дані БПА повністю інтегруються, мають відмітки часу і географічну прив'язку, збір даних є систематичним, об'єднаний інтерфейс користувача відображає всю інформацію про БПА на екрані комп'ютера, включаючи навігацію, планування місії, гідролокатор та відео.

У звіті [15] обґрунтовано перспективи об'єднання ПЗ «ROS» (Robotics Operating System) та «OpenROV Software», яке є відкритим і загальнодоступним проектом для керування БПА «Trident» по Wi-Fi через смартфон, планшет або ноутбук. Розробники використали інтернет-стандарти від HTML5 та webRTC до WebVR та WebGL. В браузері показується відеопотік, зворотній зв'язок з датчиків та засоби керування, крім простих механізмів безпосереднього керу-

вання двигунами, є розробки автопілотних механізмів, таких як утримання напрямку або глибини.

Роботу [16] присвячено розробці автономної підводної системи зв'язку АБПА з безпілотним поверхневим (надводним) апаратом. Для місій АБПА великої дальності (радіус дії до 1000 км) існує проблема відсутності зв'язку, а також необмеженого збільшення помилок розрахунку навігаційних параметрів (без спливання АБПА відсутня можливість корегування даних про місцеположення апарату). Автори пропонують проект, який поєднує автономний надводний апарат з АБПА великого радіусу дії технологіями акустичного та оптичного зв'язку, в результаті розробляється система огляду великої дальності, в якій надводний апарат забезпечує шлюз зв'язку в режимі реального часу з АБПА, а також забезпечує акустичне оновлення даних позиціонування для зв'язаного навігаційного дрейфу. Для забезпечення зв'язку між апаратами, вони були оснащені модемом GyroUSBL\AvTrak і парою передавач/приймач Sonardyne BlueComm 200. Як показали експериментальні випробування, акустичний зв'язок ефективно працює на середніх частотах (19–34 кГц), забезпечується швидкість передачі даних від 2,5 до 12,5 Мбіт/с на відстані до 150 м, робоча глибина АБПА збільшувалась від 30 м до 150 м.

Таким чином, проведений огляд стану наукових досліджень та практичних розробок за напрямком показав, що не зважаючи на значний науковий та практичний інтерес до проблеми розвитку АБПА та їх систем, має місце обмеженість таких досліджень для створення систем візуалізації руху АБПА, особливо в умовах мініатюризації апаратів. Така проблема потребує комплексного вирішення завдань орієнтації, навігації, прийому-передачі та візуалізації інформації для АБПА класу міні або мікро.

**Метою статті** є формування вимог та обґрунтування підходів до розробки системи візуалізації руху АБПА, що відносяться до класу міні/мікро апаратів.

**Виклад основного матеріалу.** Система візуалізації руху АБПА є невід'ємною частиною програмно-апаратного навігаційного комплексу підводного апарату та його системи комунікації з судном-носієм. Навігаційний комплекс повинен забезпечувати надійну навігаційну підтримку АБПА при виконанні апаратом багатоцільових місій, зокрема [5]:

- визначення поточних координат місцезнаходження АБПА;
- визначення навігаційних параметрів для забезпечення заданих режимів руху та місії в цілому;

- швидкісний обмін інформацією між АБПА та судном-носієм;

- визначення та відображення на борту судна-носія інформації про поточне місцезнаходження АБПА;

- забезпечення можливості дистанційного керування апаратом;

- забезпечення можливості на борту судна-носія моніторингу функціонального технічного стану АБПА та його систем;

- ефективне функціонування навігаційної системи в режимі автономної навігації, в умовах наявності/відсутності систем стаціонарних маяків, в режимі корекції – при комбінації різних бортових систем і датчиків.

Для більшості АБПА до складу навігаційного комплексу входять бортова навігаційна система (безплатформна інерціальна навігаційна система (БІНС), компас, доплерівський лаг) та гідроакустична навігаційна система (ГАНС). Для автономного режиму навігації використовується БІНС, яка може бути побудована на волоконно-оптичних гіроскопах, на мікроелектромеханічних гіроскопах та акселерометрах, тощо [17]. Режим корекції забезпечується БІНС у поєднанні доплерівським лагом, глибиноміром, магнітометрами. Навігація в умовах наявності стаціонарної системи маяків забезпечується ГАНС.

Важливе значення в навігаційному комплексі має система гідроакустичного зв'язку, до складу якої входять випромінювачі та приймачі низькочастотних акустичних сигналів. Зв'язок забезпечується в режимах командного обміну (навігація, телеметрія) та високошвидкісного інформаційного обміну між АБПА та судном-носієм за допомогою ультразвукового гідроакустичного модему (ГАМ) [18; 19]. Основними технічними характеристиками гідроакустичного модему є: дальність дії (у середньому на 3000 м), швидкість передачі даних (в межах 10 кбіт/с), смуга частот випромінюваних сигналів, центральна частота, діаграма направленості, максимальна глибина роботи та ін. Середня глибина функціонування ГАМ складає близько 1000 м, модеми для різних глибин відрізняються лише матеріалом корпусних елементів (для глибин до 200 м використовуються армовані пластики та полімери, для більших – сплави алюмінію та титану). Основними інтерфейсами зв'язку ГАМ з бортовою мережею БПА є RS232 / 422, RS 485 і Ethernet. Інтерфейс RS-232 (ТІА/ЕІА-232) призначений для організації прийому-передачі даних між передавачем (або терміналом) і приймачем (або комунікаційним облад-

нанням) за схемою точка-точка, тобто забезпечує зв'язок лише між двома пристроями. Інтерфейс RS-485 підтримує мережу із декількома передавачами і приймачами, в одному сегменті мережі RS-485 може бути до 32 пристроїв з можливістю розширення, в кожний момент часу активним може бути тільки один передавач.

Розглянуті рішення систем візуалізації даних дозволяють сформувати до неї такі загальні функціональні вимоги:

- відображення даних у реальному часі в інтерфейсі користувача, який налаштовується таким чином, щоб оператори могли швидко реагувати на будь-які сигнали від АБПА;
- програмне забезпечення повинно підтримувати різні типи сенсорів для збору даних (багатохвильовий ехолот, лідар, підводні лазери, камери, гідролокатори бічного/секторного огляду, акустичні профілометри, сенсори БНС та інші);
- необхідно забезпечити стиснення даних для систем з низькою пропускнуою здатністю і стабільності з'єднання;
- зручне переключення між автоматичним і ручним режимами керування дослідженням БПА;
- точність відображення позиції АБПА та зменшення впливу часового запізнення у процесі передачі та відображення даних.

Для відображення на борту судна-носія інформації про поточне місцезнаходження БПА, про стан систем апарату та підводного середовища кожна з фірм-розробників пропонує своє алгоритмічне та ПЗ для поверхневої станції керування. Найбільш технологічними є комерційні рішення ПЗ [10; 13], але комерційне ПЗ має високу вартість, обмежену сумісність з іншими БПА, залежність від виробника та закритість коду.

Архітектура ПЗ для системи візуалізації даних є ключовим елементом його розробки. Хороша архітектурна конструкція дозволяє ефективно організувати компоненти ПЗ та забезпечити його функціональність, надійність та розширюваність. Одним з поширених підходів до архітектури є модульна архітектура. У такій архітектурі ПЗ розділяється на незалежні модулі або компоненти, які взаємодіють між собою через визначені інтерфейси. Це спрощує розробку, тестування та підтримку ПЗ, оскільки кожен модуль може бути розроблений та тестований окремо.

Вибір конкретної мови програмування залежить від вимог розробки, характеристик обладнання та навичок розробників. Для розробки програмного забезпечення системи візуалізації руху БПА використовуються різні технології, що

охоплюють широкий спектр мов програмування. Одними з таких технологій є веб-мови програмування, такі як HTML, CSS і Node-Red. Веб-технології дозволяють створювати інтерактивні та візуально привабливі інтерфейси, які можна легко відтворювати на різних пристроях. Окрім веб-мов програмування, також використовуються мови низького рівня, такі як С, Асемблер і С++. Ці мови дозволяють здійснювати більш прямий контроль над обладнанням і оптимізувати роботу програми для підвищення швидкодії. Вони особливо корисні для написання чутливих до часу алгоритмів та взаємодії з жорсткими дисками, сенсорами і іншими пристроями. Кожна мова має свої переваги і обмеження, і важливо обрати ту, яка найкраще відповідає потребам розробки ПЗ системи візуалізації руху БПА.

Таким чином, для розробки системи візуалізації руху АБПА потрібно вирішити низку науково-практичних завдань, які можна згрупувати за такими напрямками:

1. Розробка/вдосконалення алгоритмів автономної орієнтації та навігації (обробка даних для визначення орієнтації, швидкості та координат АБПА).
2. Розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для збору та попередньої обробки даних множини сенсорів АБПА в режимах його руху.
3. Розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для передачі даних з АБПА та прийому даних базовою (поверхневою) станцією в режимі реального часу.
4. Розробка методичного, алгоритмічного та програмного забезпечення для візуалізації отриманих даних про місцезнаходження та параметри руху АБПА на пристроях базової станції.

Таким чином, розробка системи візуалізації, як невід'ємної складової навігаційного комплексу АБПА, сприятиме підвищенню надійності та ефективності експлуатації таких апаратів у складних умовах підводного середовища, а також розширить їх функціональні можливості у процесі виконання поставлених завдань.

**Висновки.** Проведений аналіз стану сучасних розробок пристроїв та систем збору, передачі та відображення даних про параметри руху БПА на поверхневих/наземних стаціях показав, що візуалізація положення та руху БПА є однією з важливих проблем у розвитку підводної робототехніки. На сьогоднішній день можна стверджувати про успішне вирішення її для БПА, пов'язаних кабель-тросом з судном – носієм. Для автономних БПА, зокрема

апаратів класу міні чи мікро, вирішення проблеми візуалізації потребує комплексного підходу на основі підвищення точності навігації та позиціонування, збільшення автономності роботи, вдосконалення систем комунікацій та передачі даних, а також забезпечення високої стійкості та надійності роботи в умовах впливу зовнішніх факторів.

Сформовано загальні функціональні вимоги до системи візуалізації даних для АБПА, визначено основні напрямки досліджень та практичних завдань для її створення.

Розробка системи візуалізації з використанням сучасних технологій машинного навчання та комп'ютерного зору забезпечить інтелектуальну підтримку місії АБПА, сприятиме створенню високопродуктивних систем спостереження. Така система може стати основою для створення імітаційних моделюючих комплексів, які здатні генерувати віртуальне середовище та відображати рух об'єкта для відпрацювання самої системи візуалізації та дослідження різних умов та сценаріїв руху АБПА.

#### Список літератури:

1. J. Wang, Z. Wu, H. Dong, M. Tan, and J. Yu. Development and control of underwater gliding robots: A review. *IEEE/CAA J. Autom. Sinica*. 2022. Vol. 9, No. 9, P. 1543–1560. DOI: 10.1109/JAS.2022.105671
2. Бурау Н.І., Яцко Л.Л., Расулов М.Д., Бобрик В.С. Огляд стану сучасних автономних безпілотних підводних апаратів. *Вісник інженерної академії України*. 2017. № 4. С. 12 – 17.
3. Autonomous Underwater Vehicles / Edited by Nuno A. Cruz. Published by InTech, 2011. 270 p.
4. Gafurov S. A., Klochkov E.V. Autonomous unmanned underwater vehicles development tendencies. *Procedia Engineering*. 2015. № 106, P. 141 – 148.
5. Underwater vehicles / Edited by Aleksander V. Inzartsev. 2009. 582 p.
6. Luo Z., Xiang X., Zhang Q. Autopilot System of Remotely Operated Vehicle Based on Ardupilot. *Intelligent Robotics and Applications*. Cham, 2019. P. 206–217. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-27535-8\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-27535-8_19).
7. Edge C. et al. Design and Experiments with LoCO AUV: A Low Cost Open-Source Autonomous Underwater Vehicle. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2020. <https://doi.org/10.1109/iros45743.2020.9341007>.
8. Aristizabal L.M. et al. Hardware and software development for the navigation, guidance, and control system of a remotely operated vehicle. *IEEE 3rd Colombian Conference on Automatic Control (CCAC)*. 2017. <https://doi.org/10.1109/ccac.2017.8276422>.
9. Osorio S. P., Aristizabal L. M., Zuluaga C. A. Development of a command interface based on handheld devices for remotely operated vehicles. *IEEE Colombian Conference on Robotics and Automation (CCRA)*. 2016. <https://doi.org/10.1109/ccra.2016.7811422>.
10. EIVA launches a complete software solution for ROV steering. EIVA – Maritime survey and construction solutions. URL: <https://www.eiva.com/about/eiva-log/eiva-launches-a-complete-software-solution-for-rov-steering> (дата звернення: 14.05.2023).
11. Jayasinghe M. C. Graphical User Interface for the Supervisory Motion Control of BlueROV1.1. *2nd International Conference On Electrical Engineering (EECON)*. 2018. <https://doi.org/10.1109/eecon.2018.8540998>
12. Andrew. A different approach to controlling the Bluerov2. Blue Robotics Community Forums. URL: <https://discuss.bluerobotics.com/t/a-different-approach-to-controlling-the-bluerov2/3072> (дата звернення: 14.05.2023).
13. Integrated SubNav™ Software | SRV-8 ROV | RJE Oceanbotics. Oceanbotics – Professional Grade ROVs. URL: <https://www.oceanbotics.com/sub-nav/> (дата звернення: 14.05.2023).
14. SmartFlight 2.0 – Control software by Seabotix | NauticExpo. NauticExpo – The B2B marketplace for the boating and maritime sectors: powerboats, sailboats, yachts, fittings, sailing dinghies, commercial vessels, etc. URL: <https://www.nauticexpo.com/prod/seabotix/product-25474-578444.html> (дата звернення: 14.05.2023).
15. Brew C., Lane D. CSE 145/237D Embedded Systems Design Project. Kastner Research Group | KRG @ UC San Diego. URL: <https://kastner.ucsd.edu/ryan/wp-content/uploads/sites/5/2014/03/admin/openROV-final-report.pdf> (дата звернення: 14.05.2023).
16. Phillips A., Salavasidis G., Kingsland M. and Harris C. Autonomous Surface/Subsurface Survey System Field Trials. *IEEE OES Autonomous Underwater Vehicle Symposium*. 2018. doi:10.1109/AUV.2018.8729740
17. Balestrieri E., Daponte P., De Vito L., Lamonaca F. Sensors and Measurements for Unmanned Systems: An Overview. *Sensors*. 2021, No 21. P. 1518-1545. <https://doi.org/10.3390/s21041518>
18. Annalakshmi, G. Underwater Acoustic Modem-Challenges, Technology and Applications-A Review Survey. *Oceanography & Fisheries Open Access Journal*. 2017. Vol. 2(3). P. 60-69. doi: 10.19080/OFOAJ.2017.02.555592
19. Золотарьов Є.О. Методи передачі та відображення інформації про рух безпілотного підводного апарату. *XVI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»*: збірник праць, Київ, 2023. С. 12-14.



**Bouraou N.I., Zolotarov Ye.O. SYSTEMS OF VISUALIZATION OF THE MOVEMENT OF UNMANNED UNDERWATER APPARATUS**

*The review article is dedicated to the analysis of recent developments in motion visualization systems for unmanned underwater vehicles. It examines the results of scientific research and modern practical technologies used in the development of hardware and software for such systems. The review and analysis of information displayed in the user graphical interface of motion visualization systems for unmanned underwater vehicles are conducted. The review of motion visualization systems for unmanned underwater vehicles includes ready-made solutions from well-known companies, student projects at the development stage, as well as open-source projects. Most developments are intended for non-autonomous vehicles that have a physical connection (cable) with the host vessel.*

*The article discusses the peculiarities of the proposed commercial software by the developers, as well as programming languages for motion visualization software development. The importance of selecting software architecture is revealed. The trend of a comprehensive approach to the use of web technologies and low-level programming languages in developing the user interface is also demonstrated. Ready-made solutions for information exchange between autonomous unmanned underwater vehicles and surface control stations, along with their characteristics, are provided for data transmission.*

*Overall, the article provides a detailed overview of modern developments in motion visualization systems for unmanned underwater vehicles, analyzing their advantages, limitations, and potential directions for further development. Based on the conducted review, requirements and approaches to developing a motion visualization system for autonomous unmanned underwater vehicles belonging to the mini/micro-class are formulated and justified. It is shown that developing a motion visualization system as a component of the navigation complex will contribute to enhancing the reliability and efficiency of unmanned underwater vehicle utilization.*

**Key words:** *autonomous unmanned underwater vehicles, orientation, navigation, control, motion visualization, software.*

**Варганова Д.О.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Окунькова О.О.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

## ВІЗУАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ ІДЕЙ ТА РІШЕНЬ, КОМАНДНОЇ РОБОТИ ПІД ЧАС ОРГАНІЗАЦІЇ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОНЛАЙН-ДОШКИ MIRO

*У статті проаналізовано основні підходи для тлумачення терміну «онлайн-дошка», а також проблему структурування, візуалізації даних під час дистанційного або змішаного навчання.*

*Розглядаються питання реалізації змішаного формату навчання з використанням онлайн-дошки Miro. Змішаний формат передбачає елементи електронного навчання (електронних інформаційних та освітніх ресурсів, інформаційних і телекомунікаційних технологій) за умови збереження загальних принципів традиційного освітнього процесу.*

*Розглянуто новітній інформаційний інструмент для реалізації і фіксування концепцій ідей та рішень у командній роботі. Також проведено систематичний огляд онлайн-дошки Miro і її можливості для вивчення нового матеріалу, закріплення набутих вмінь та навичок. Проаналізовано переваги і недоліки онлан-інструменту задля забезпечення ефективності змішаного навчання та досліджено можливості її використання для розвитку взаємодії студентів та учнів під час виконання групових завдань. Наведено приклади використання шаблонів для різних видів робіт і занять.*

*Зроблено висновок, що онлайн-дошка Miro сприяє розвитку творчих здібностей студентів у межах упровадження проблемно-орієнтованого та проєктного навчання. Спільні види роботи та інтерактивна взаємодія студентів в умовах дистанційного навчання зумовлюють продуктивність засвоєння знань, розвиток різноманітних видів мислення та стимулюють пізнавальну активність. Сервіси віртуальної дошки є ефективним інструментом для організації освітнього процесу як у синхронному, так і в асинхронному форматах навчання. Онлайн-дошка Miro є засобом забезпечення ефективності й результативності змішаного і дистанційного навчання, а також продуктивна організація активної взаємодії студентів і викладачів в освітньому процесі, результати якої зберігаються у хмарному середовищі й можуть бути доступними в зручний час за відповідним покликанням.*

**Ключові слова:** дистанційне навчання, змішане навчання, візуалізація інформації, онлайн-дошка Miro, інтерактивна дошка, карта розуму.

**Постановка проблеми.** Всесвітня пандемія, внесла свої зміни до освітнього процесу – викладачі змушені були швидко адаптувати свої лекції та практичні заняття в онлайн заходи. Через такі зміни зросла популярність спеціалізованого програмного забезпечення – систем для дистанційного навчання, месенджерів із опцією відеозв'язку, сайтів із онлайн-курсами.

Сьогодні – в умовах війни, повітряних тривог і блекаутів – педагогам доводиться організувати навчальний процес у змішаному форматі. Як ефективно провести заняття в дистанційному форматі? Як знайти заміну традиційним наочним засобам навчання, щоб вони стали структурованими, динамічними, інтерактивними? У зв'язку з цим особливий інтерес викликає комп'ютерна візуалізація навчальної інформації, а також мережеві сервіси для спільної роботи зі створення й редагування документів і зображень, схем,

спілкування в реальному часі – онлайн-дошки [11, с. 157–160].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Онлайн-дошка – це цифрова програма, яка поєднує функції звичайної дошки з віртуальним керуванням і призначена для організації спільної роботи учасників, які перебувають на відстані.

Дошки стають у нагоді не лише організаціям, а й людям, які займаються онлайн-навчанням. Якщо ви викладаєте, вам слід придбати дошку, щоб зробити викладання безперебійним і легким для вас. Підбираючи онлайн-дошку, потрібно враховувати, що студентам також буде легко підключитися до інструменту.

Застосовуючи метод мозкового штурму під час дистанційного або змішаного заняття, зростає важливість записувати всі ідеї чи думки під час обговорення.

Якісні і доступні онлайн-дошка допоможуть реалізувати навчання в реальному часі на новий рівень. Вони пропонують багато функцій:

- Коментування.
- Обмін повідомленнями.
- Замітки.
- Функція аудіо- та відеодзвінків.
- Розпізнавання зображень і розумна форма.
- Параметри збереження в декількох форматах файлів.
- Завантаження файлів і зображень.
- Повна бібліотека готових шаблонів.

Розглянемо онлайн-дошку Migo для підвищення рівня вашої співпраці в реальному часі [14, с. 95–97].

**Мета дослідження** – знайомство з інструментом для візуалізації, систематизації інформації, колективної роботи з великими обсягами даних-онлайн-дошкою Migo.

**Виклад основного матеріалу.** Онлайн-заняття – це нова сучасна реальність. Використання наочних засобів робить онлайн навчання більш доступним і легким для засвоєння. І дошка для викладання вимагає заміни. Тепер для організації дистанційного і змішаного навчання необхідна віртуальна інтерактивна дошка.

Віртуальна дошка – це сервіс, який працює як дошка для спільної роботи онлайн. Робота онлайн дошки виглядає як робочий простір на якому ви можете виконувати якісь дії. Одночасно з вами в режимі реального часу цей робочий простір і всі зміни на ньому бачать користувачі, яким ви надали доступ. Базово це працює як програма для малювання онлайн, але з додатковими функціями, які допоможуть організувати онлайн роботу з студентами.

Migo – справді дуже зручний інтерактивний інструмент спільної командної роботи над проектами. Також він корисний для візуалізації даних та перетворення великого обсягу ідей на конкретний список завдань.

Дошка Migo надає велику можливість візуалізації всього матеріалу і організовувати командну роботу на проектами. Тут можна проводити онлайн-заняття, створювати план роботи або закріплювати завдання, які потрібно виконати, здійснювати планування і реалізацію проектних робіт. Передбачена можливість запрошувати учасників через посиланням та по електронній пошті [10, с. 80–81].

Інтерфейс дошки хоч і англійською, але інтуїтивно зрозумілий. Управляти нею зручно – пересувати потрібні шаблони та інші

елементи мишкою. Дошкою можна користуватися з комп'ютера, та зі смартфона. Перевага Migo – створювати нескінченні дошки. На них можна завантажувати документи, таблиці, зображення, малювати схеми і графіки, створювати колажі і багато іншого. Писати пером або вводити текст зі зміною шрифту, розміру, кольору. Можна малювати різні геометричні фігури. І в спливаючому вікні змінювати налаштування товщини ліній (прямі, ламані, дугоподібні, пунктир тощо) та кольору. Можна також зберігати створені дошки як плакати в форматі зображень, файлів pdf, завантажувати як резервні копії, зберігати на GoogleДиск. Також реалізована функція збереження дошки у вигляді презентації.

На дошку можна додавати стікери. Важливі ідеї залишаться на полі, користувачі зможуть записувати ідеї або коментарі, а ви – стимулювати спільну роботу і зворотний зв'язок [6, с. 89].

Перелічимо основні переваги роботи в Migo:

– Унікальність. Це єдиний онлайн-сервіс, який працює з великим масивом інформації.

– Простота. Дуже зрозумілі базові інструменти, які SMM-фахівець та його Migo-команда застосовують для візуалізації: геометричні фігури, тексти, додавання посилань, стікерів тощо. Навіть новачкові зрозуміло, як і з якою метою ними скористатися.

– Актуальність. Інтерактивна Migo-дошка дозволяє всім членам команди оперативно взаємодіяти один з одним і завжди бути в курсі того, що відбувається.

– Багатофункціональність. У сервісі є безліч шаблонів для різних завдань, для збору ідей. Вам не потрібно створювати щось своє. У вас не виникає ситуацій, коли хочеться щось додати, а відповідного шаблону немає під рукою. Усі можливі схеми заздалегідь продумані, передбачені, і ви просто вибираєте із готового асортименту.

– Логіка. Інтерфейс Migo дуже логічний і поєднує все найкраще із візуальних таск-сервісів. Незважаючи на те, що вона повністю англійською, в більшості випадків інтуїтивно можна створити все необхідне.

– Доступність. Добре працює у безкоштовному тарифі. Всього одна онлайн-дошка на migo.com дозволяє одночасно обговорювати різні питання. Крім того, кожен спеціаліст може мати свою частину дошки для роботи. Досить просто створити там прямокутник та позначити, що це ваша область. Однак доступ до неї буде у всіх членів команди. У Migo дошки нескінченні, у безкоштовному тарифі можна використати до 3.

А ось для компаній, що займаються креативом, доцільніше підключити платний тариф.

У Miro платформи є й недоліки:

– Інтерфейс лише англійською мовою. Якщо рівень іноземної мови низький, доведеться витратити час і гуглити переклад деяких шаблонів або функцій.

– Додатково із Miro потрібно використовувати інші сервіси. Звичайно, є шаблони тижневих завдань, але з ними працювати абсолютно незручно. Тому не вдасться зробити Miro єдиним пріоритетним інструментом, який вирішуватиме всі завдання і в якому ви плануватимете. Швидше, це сервіс саме для візуалізації даних.

– Онлайн-дошка Miro не передбачає пошук інформації на запит.

Розпочати роботу з Miro і створити власну дошку можна декількома способами:

1 спосіб. Відкрити Google Диск і в розділі «Підключити інші додатки» додати додаток Google Miro.

2 спосіб. В браузері, в рядочку пошуку вказати адресу: [miro.com](https://miro.com).

Для подальшої роботи необхідно виконати наступні кроки:

1 крок. Зареєструйтеся та створіть профіль у Miro.

2 крок. Після завершення реєстрації потрібно перейти на інформаційну панель і вибрати серед шаблонів Нова дошка.

3 крок. Після створення дошки приступаємо до її заповнення. Для прикладу створимо карту розуму. На панелі вибираємо Шалони (Templates)-Mind Map

4 крок. При необхідності можна відредагувати карту.

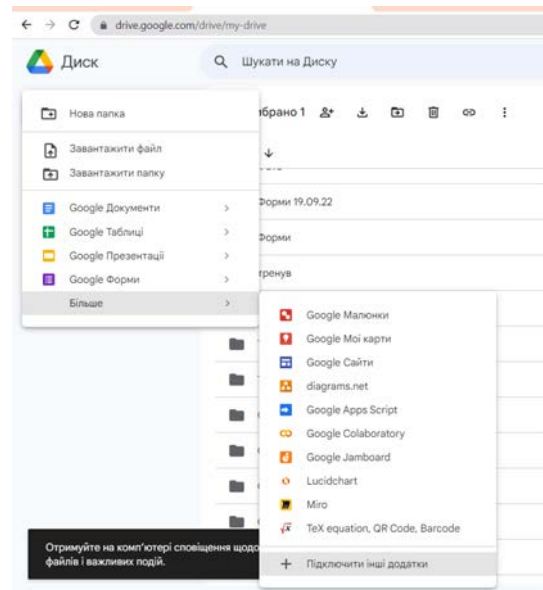


Рис. 1. Google Диск розділ «Підключити інші додатки»

Двічі клацніть на вибраній гілці та введіть інформацію, набравши текст. Під час редагування з'являтиметься плаваюча панель інструментів. За допомогою нього ви можете редагувати основні властивості гілки, включаючи колір і вирівнювання, або вставляти посилання на свій розсуд.

5 крок. Щоб надати доступ до своєї карти потрібно вибрати команду Share і у діалоговому вікні вибрати потрібні налаштування. Посиланням на карту можна поділитися через Gmail і Classroom.

Он-лайн дошка Miro допомагає здійснювати і організовувати спільну роботу команд, а також виконувати і узагальнювати результати роботи над проектами.

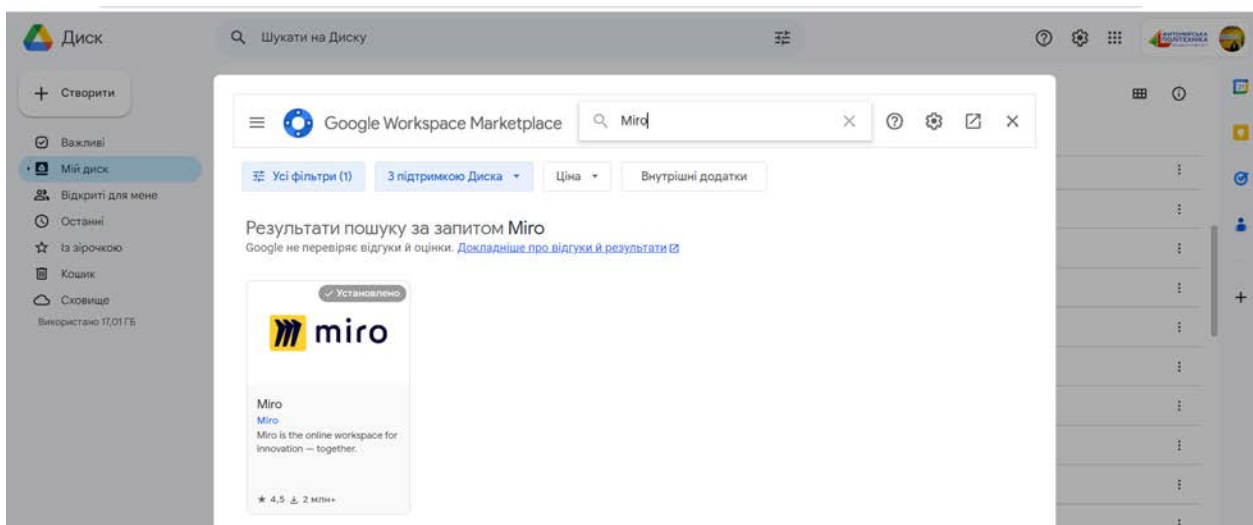


Рис. 2. Вибір додатку Google – Miro

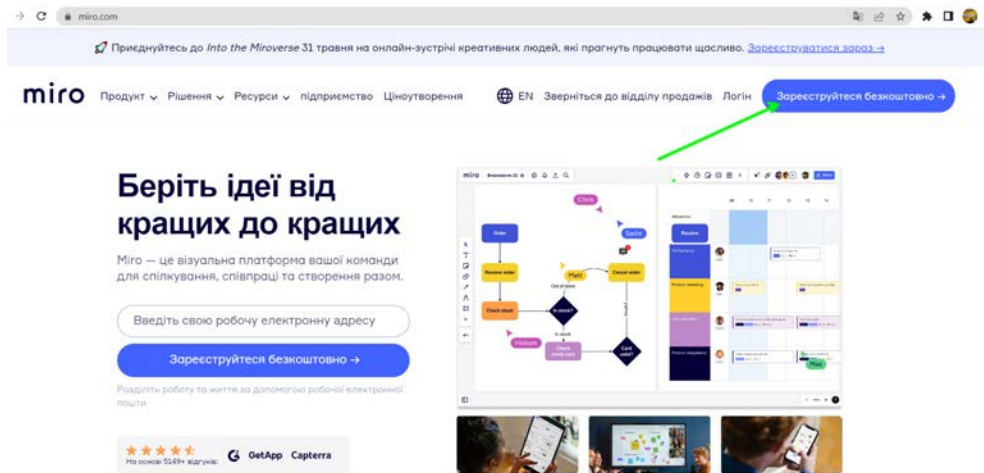


Рис. 3. Початок роботи з Miro

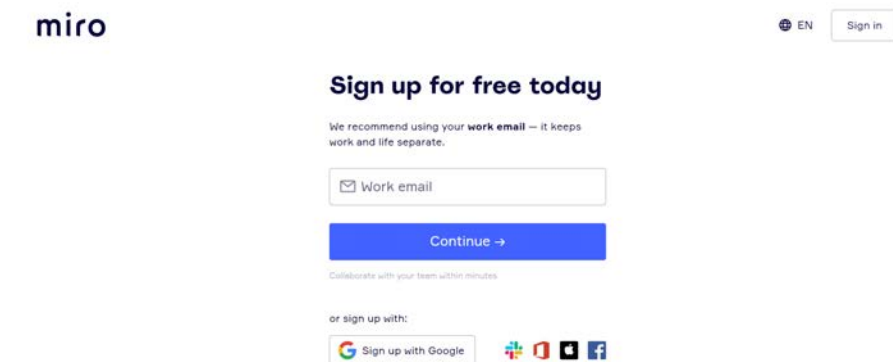


Рис. 4. Реєстрація в Miro

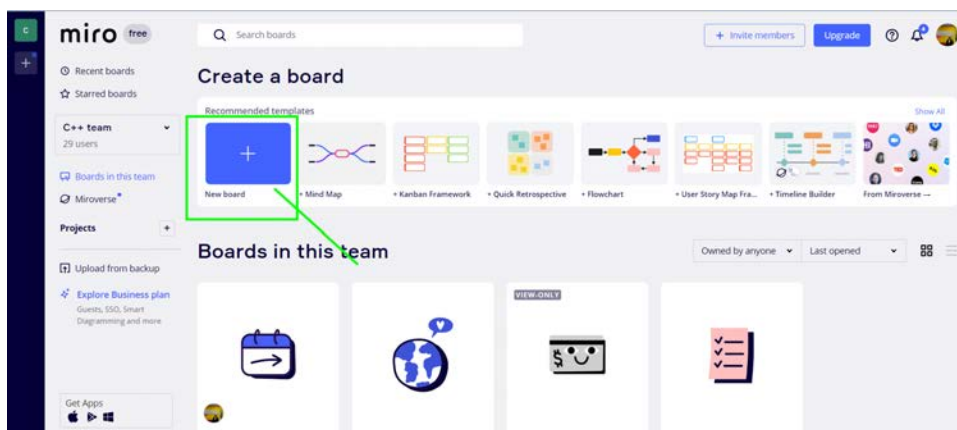


Рис. 5. Створення нової дошки засобами Miro

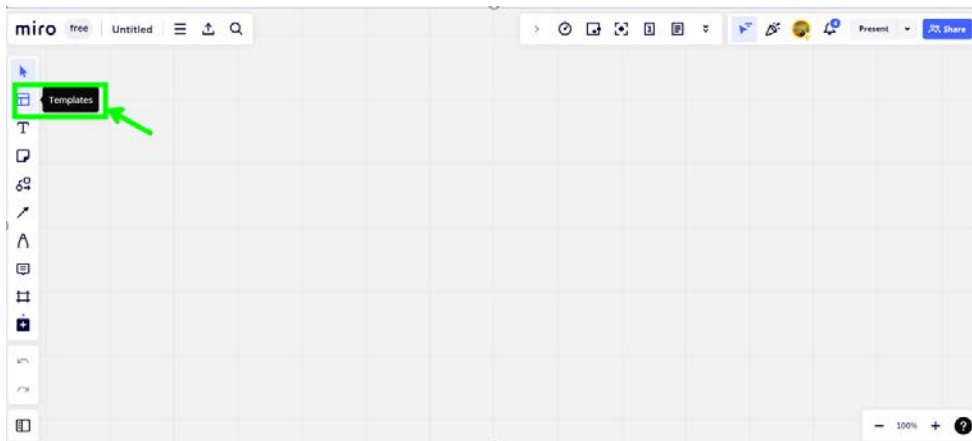


Рис. 6. Вибираємо Шалони (Templates)

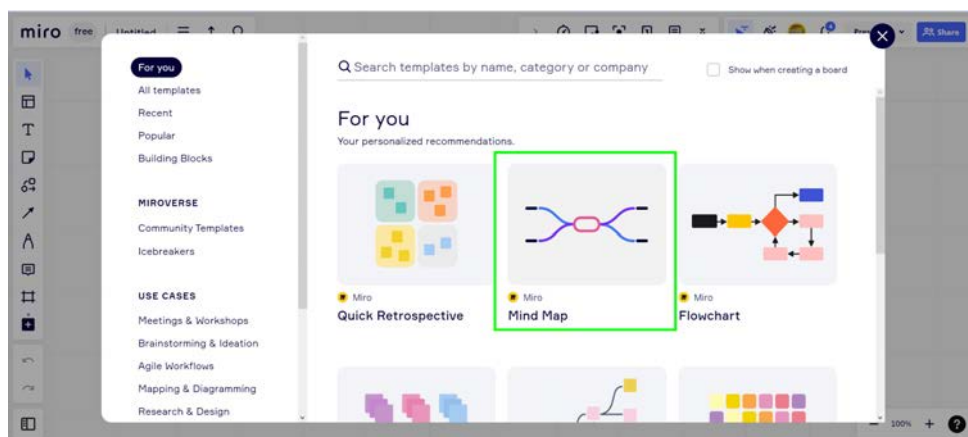


Рис. 7. З переліку шалонів вибираємо – Mind Map

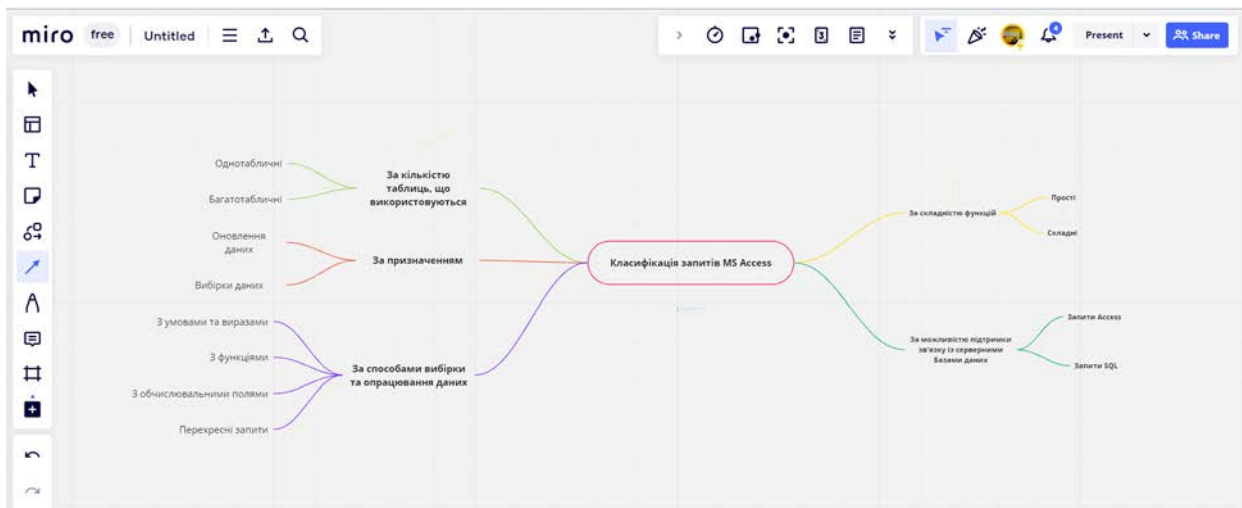


Рис. 8. Створена карта розуму на тему «Класифікація запитів»

Для цього:

1. Спочатку командою збираєте на дошку всі наявні записи: ідеї, конкурентний аналіз, опис цільової аудиторії, ваші припущення та гіпотези, Далі відсікається непотрібне, виписується важли-

віше і складається конкретний список завдань та ідей, які ви втілюватимете.

2. Створюєте в Miro ланцюжок черговості дій і розписуєте, хто за що відповідатиме.

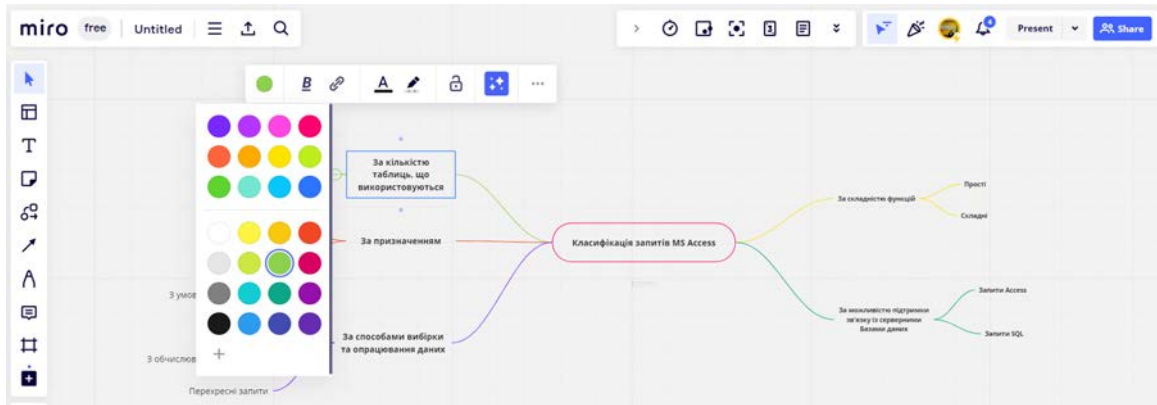


Рис. 9. Редагування карти

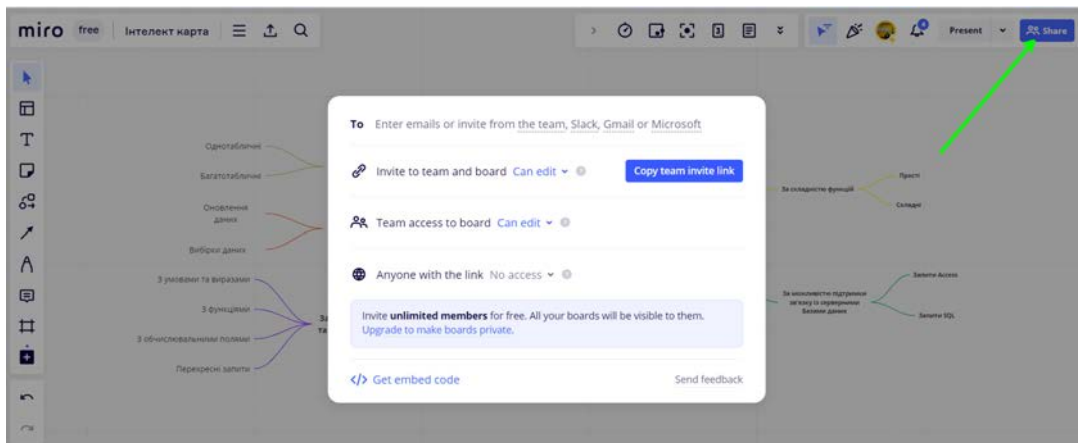


Рис. 10. Надання доступу до карти користувачам

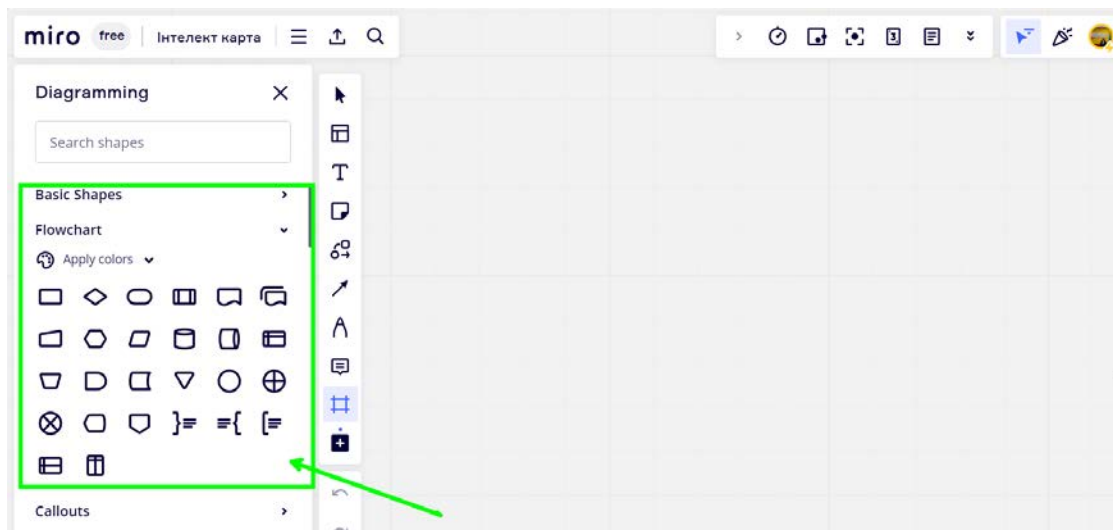


Рис. 11. Базові геометричні фігури

3. Поєднаєте цей ланцюжок завдань та список відфільтрованих ідей.

Завдяки такому алгоритму дій структурується та полегшується весь процес роботи. Кількість виконавців, що беруть участь в одному проекті,

завжди залежить від завдань, які Miro допомагає вам вирішити [10, с. 78].

Найчастіше при роботі з дошкою використовують геометричні фігури, за допомогою яких складає різні діаграми, стікери для створення схем. Набагато рідше йдуть таблиці.

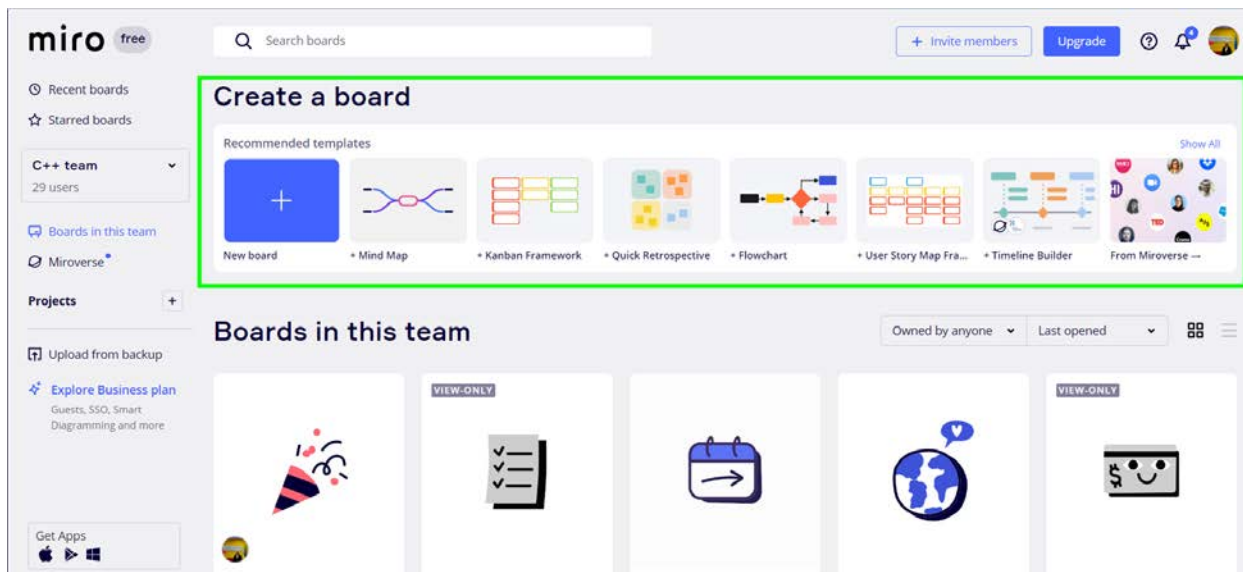


Рис. 12. Бібліотека шаблонів

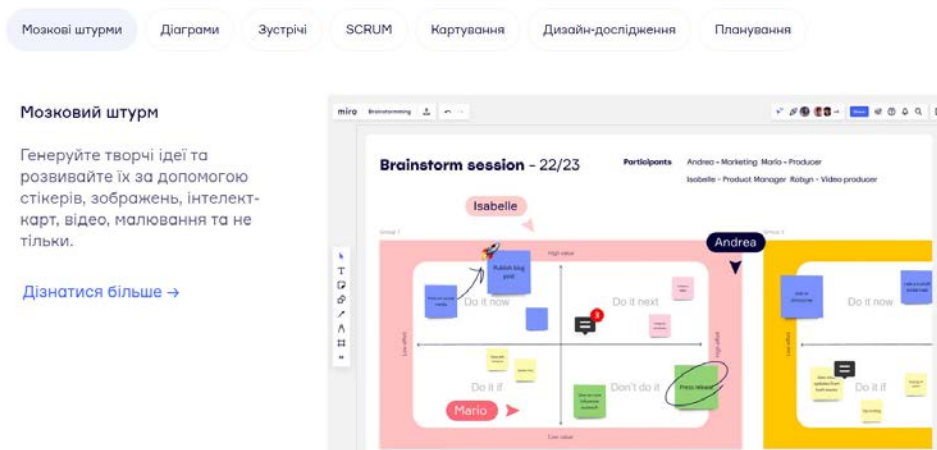


Рис. 13. Візуалізація методу мозкового штурму

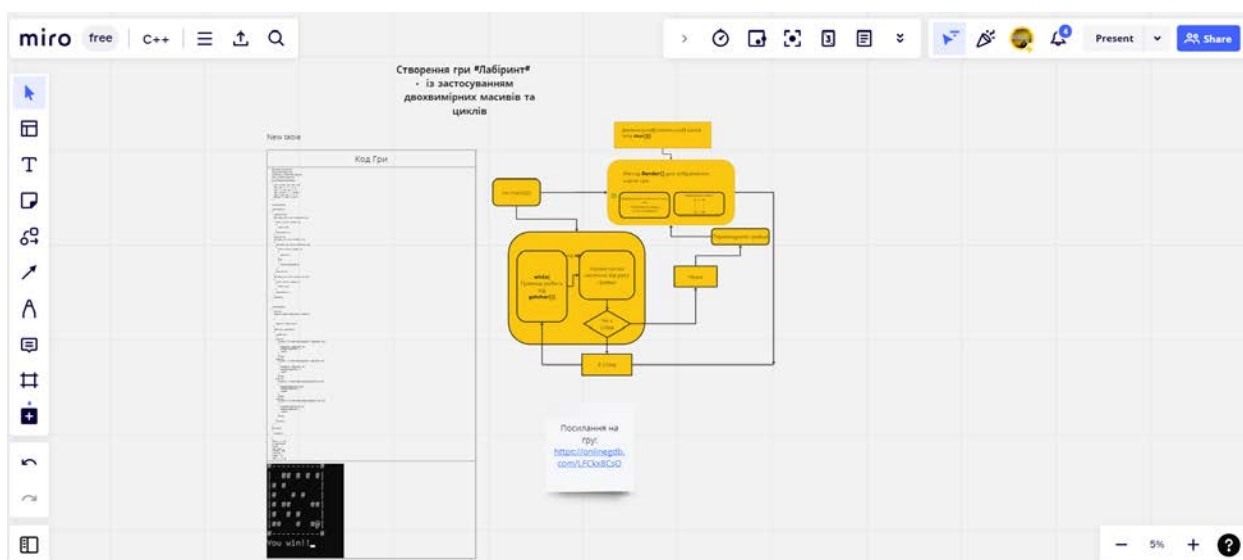


Рис. 14. Результат проєктної роботи на тему створення гри «Лабіринт» в середовищі C++



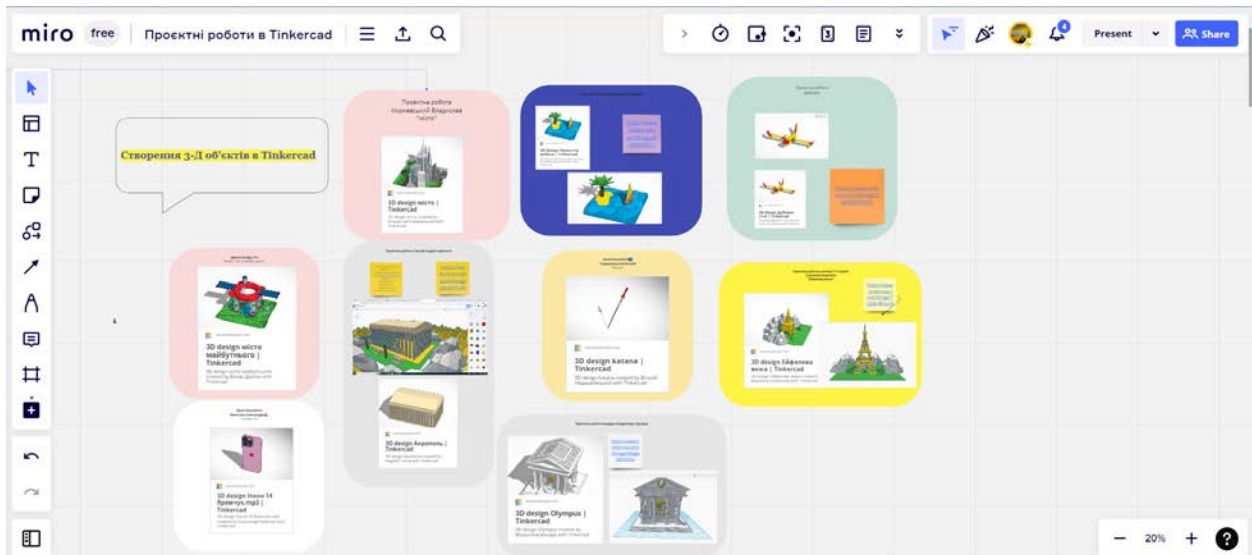


Рис. 15. Використання онлан-дошки для узагальнення результатів роботи над проєктами в Tinkercad

Також популярною є бібліотека шаблонів. У Miro вона досить велика, наприклад: MindMap, Kanban Framework, Quick Retrospective, Flowchart, Timeline Builder і т.д. Використовуючи дані шаблон, можна реалізовувати будь-які креативні ідеї.

Генеруючи творчі ідеї, розвиваючи їх за допомогою стікерів, зображень, інтелект-карт, відео, малювання можна також застосувати мозковий штурм. Мозковий штурм – це спосіб вирішення питань, заснований на стимулюванні творчої активності групи учасників. Метою даного підходу є отримання максимально можливої кількості ідей від кожного з учасників групи з тим, щоб вирішити якусь проблему або знайти відповідь на актуальне питання. По закінченню штурму вибирається найкраща ідея для її реалізації.

Приклади використання онлайн дошки для відображення результатів роботи на проєктах рис. 14, рис. 15.

**Висновки.** Віртуальна дошка Miro є незамінним інструментом під час змішаного та дистанційного навчання. Miro допомагає структурувати

інформацію та спростувати процес сумісного використання навчального матеріалу. Також дозволяє всім учасникам бачити результат роботи інших без необхідності надання доступу до екрану та їх перемикавання. Вбудовані засоби дошки Miro дають значно ширший функціонал ніж традиційні класні дошки, зокрема можливість одночасної роботи декількох студентів над однією ділянкою.

Онлайн дошка дає можливість прокреслювати логічні ходи, зберігати корисні думки, спільними зусиллями знаходити правильні рішення. Miro – популярна у різних галузях. Тому багато команд з різних галузей використовують її для спільної командної роботи [13, с. 25–30].

Інструмент Miro дає змогу покращити інтерактивну взаємодію між користувачами, забезпечити зворотний зв'язок, заохотити їх до творчої співпраці, сприяє розвитку проєктної діяльності учасників, умінь планувати й аналізувати свою діяльність. Перспективу подальших наукових досліджень у різноманітній формі організації дистанційного і змішаного навчання в закладах освіти засобами інформаційних технологій.

#### Список літератури:

1. 12 інтерактивних онлайн-дошок для дистанційного навчання та спільної роботи. Освіта нова: веб-сайт. URL: <https://osvitanova.com.ua/posts/4181-12-interaktyvnykh-onlain-doshok-dlia-dystantsiinoho-navchannia-ta-spilnoi-roboty> (дата звернення: 03.06.2022).

2. Google Jamboard: можливості для дистанційного навчання. Всеосвіта: веб-сайт. URL: <https://vseosvita.ua/news/google-jamboard-mozhlyvostidlia-dystantsiinoho-navchannia-36229.html> (дата звернення: 03.06.2022).

3. Безуглий Д. Візуалізація як сучасна стратегія навчання / Д. Безуглий // Фізико-математична освіта. Науковий журнал. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка, 2014. № 1 (2). С. 5–11.

4. Ганашок А.І. Інтерактивна дошка як засіб підвищення пізнавальної активності й ефективності навчання на уроках інформатики. Інформаційні технології і засоби навчання. 2016. Том 51. № 1. С. 21–35.

5. Гладун М.А., Сабліна М.А. Сучасні онлайн інструменти інтерактивного навчання як технологія співробітництва. Електронне наукове фахове видання “Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету”. 2018. № 4 2018. С. 33–43. DOI: <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2018.4.3343>.
6. Житеньова Н.В. Візуальні дидактичні засоби: творення а використання в освітній практиці // Навчально-методичний посібник. Х.: Харківський національний педагогічний університет імені Г.С. Сковороди, 2019. 89 с.
7. Житеньова Н.В. Технології візуалізації в сучасних освітніх трендах / Н.В. Житеньова // Відкрите освітнє середовище сучасного університету. 2016. № 2. С. 144–157.
8. Ірина Когут, Роксолана Машкова. Освіта в умовах пандемії у 2020/2021 році: аналіз проблем і наслідків. URL: <https://cedos.org.ua/researches/osvitav-umovah-pandemiyi-analiz-problem-i-naslidkiv/>
9. Лабудько С. Інтерактивні дошки: методичні прийоми використання у навчально-виховному процесі. URL: <http://surl.li/seaax> (дата звернення: 06.06.2022).
10. Мандрона М., Сташевський З., Буряк Н. Використання інтерактивних дошок для підвищення ефективності організації навчального процесу. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository: веб-сайт. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2019/mar/15851/16-78-82.pdf> (дата звернення: 04.06.2022).
11. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Використання інноваційних технологій в процесі підготовки фахівців». 3-4 квітня 2016. Вінниця, 2016. С. 156–160.
12. Пінтійська О. Використання онлайн-дошки Padlet в навчальному процесі. URL: <http://surl.li/cdzxi> (дата звернення: 06.06.2022).
13. Семеніхіна О.В. Візуалізація знань як актуальний запит інформаційного суспільства до сфери освіти / О.В. Семеніхіна, М.Г. Друшляк // Смирнова І.О. Он-лайн-дошка в освітньому процесі: методичні рекомендації. Суми, 2018. 30 с. 9.
14. Хміль Н., Кисельова О. Формування у майбутніх учителів навичок використання інтерактивних дошок в освітньому процесі. Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. 2015. Вип. 7. С. 95–100.

#### **Varhanova D.O., Okunkova O.O. VISUALIZATION OF THE CONCEPTS OF IDEAS AND SOLUTIONS, TEAMWORK DURING THE ORGANIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS USING THE MIRO ONLINE BOARD**

*The article analyzes the main approaches to the interpretation of the term “online blackboard”, as well as the problem of structuring and visualization of data during distance or mixed learning.*

*Issues of implementing a mixed learning format using the Miro online board are being considered. The mixed format provides elements of electronic learning (electronic information and educational resources, information and telecommunication technologies) provided that the general principles of the traditional educational process are preserved.*

*The latest information tool for the implementation and fixation of concepts of ideas and solutions in teamwork is under consideration. A systematic review of the Miro online board and its opportunities for learning new material and consolidating acquired skills was also conducted. The advantages and disadvantages of the online tool for ensuring the effectiveness of blended learning are analyzed and the possibilities of its use for the development of interaction between students and pupils during the performance of group tasks are investigated. Examples of the use of templates for various types of work and activities are given.*

*It was concluded that the Miro online board promotes the development of students’ creative abilities within the framework of problem-oriented and project-based learning. Joint types of work and interactive interaction of students in distance learning conditions determine the productivity of knowledge acquisition, the development of various types of thinking and stimulate cognitive activity. Virtual whiteboard services are an effective tool for organizing the learning process in both synchronous and asynchronous learning formats.*

*The Miro online board is a means of ensuring the efficiency and effectiveness of mixed and distance learning, as well as the productive organization of active interaction of students and teachers in the educational process, the results of which are stored in the cloud environment and can be accessed at a convenient time upon the appropriate call.*

**Key words:** *distance learning, blended learning, information visualization, Miro online board, interactive whiteboard, mind map.*

**Гнатчук Є.Г.**

Хмельницький національний університет

**Говорущенко О.О.**

Вінницький національний медичний університет імені М.І. Пирогова

## РЕЗУЛЬТАТИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ МЕДИЧНИХ РІШЕНЬ З ВРАХУВАННЯМ ЦИВІЛЬНО-ПРАВОВИХ ПІДСТАВ

Актуальною задачею на сьогодні є використання інформаційних технологій у медицині, які надають можливість повсюдно забезпечувати управління наданням медичної допомоги населенню, впроваджувати в діяльність лікарів та середнього медичного персоналу новітні методи діагностики та лікування, організовувати консиліуми лікарів дистанційно.

Проведений аналіз останніх досліджень показав, що кожне рішення призначене для задоволення одного з визначених 6 критеріїв, проте жодне рішення не задовольняє всі 6 критеріїв одночасно. Крім цього, всі розглянуті рішення не інтегруються між собою, тобто наразі відсутня інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав.

У статті було описано розроблення та дослідження функціонування інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, яка задовольнятиме всі 6 визначених критеріїв одночасно. Концепцією, яка лежить в основі інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, є автоматизоване прийняття медичних рішень з врахуванням норм цивільного права.

Проведені експерименти та отримані результати показали, що, наприклад, 98 розглянутих заявок на процедуру сурогатного материнства або мали проблеми в частині незадоволення істотних юридичних умов потенційними біологічними батьками та/або сурогатною матір'ю, або потребували доопрацювання в частині додавання істотних умов в договір з надання репродуктивних технологій. Отже, без застосування запропонованої інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав лише 95 процедур сурогатного материнства (49.2%) були б коректними з точки зору цивільного законодавства. Надання послуги сурогатного материнства в інших 98 випадках (50.8%) неодмінно призвело б до несприятливих юридичних наслідків, до судових позовів, а, враховуючи сутність процедури сурогатного материнства та екстракорпорального запліднення, ще й до порушення морально-етичних норм.

**Ключові слова:** інформація, дані, інформаційна технологія, підтримка прийняття медичних рішень, семантичний аналіз (парсинг), принципи розроблення інформаційної технології.

**Постановка проблеми.** Медицина є однією з найпрогресивніших галузей щодо впровадження інформаційних технологій. Лікарська практика супроводжується обслуговуванням великої кількості пацієнтів, проведенням багатьох складних діагностичних обстежень, опрацюванням значного обсягу інформації. Тому без використання комп'ютерних систем важко надати якісну медичну допомогу. Повсюдне використання інформаційних технологій у медицині у процесі діагностики та лікування та інтенсивна інтеграція у світовий інформаційний простір є важливими завданнями при реформуванні вітчизняної медицини [1].

Цифровізація суттєво вдосконалює роботу системи охорони здоров'я, робить медицину доступ-

ною для населення, а процес надання медичних послуг – ефективним. Це можливо завдяки змінам організаційних питань системи, які підвищують якість медичних послуг з одночасним зменшенням фінансових витрат на їх проведення. При цьому інформаційні технології у медицині сприяють удосконаленню роботи всіх складових галузі охорони здоров'я: дозволяють спростити облік пацієнтів, організувати та скоротити робочий час фахівців, вести автоматичний облік ліжкофонду, контролювати призначення препаратів, спростити введення та отримання статистичних даних [2–5].

Сучасні інформаційні технології в медицині – це сукупність методів та засобів для обробки медичних даних у цілісних технологічних

системах для створення, використання, зберігання, передачі та захисту інформаційного продукту. Медична інформаційна технологія – це інструмент, який дозволяє визначати та планувати всі ресурси медичної установи за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, засобів обчислювальної техніки, необхідного медичного обладнання, засобів зв'язку та підтримує лікувально-діагностичну, фінансову, адміністративно-господарську, облікову та сервісну діяльність установи для надання якісних медичних послуг пацієнтам [6].

Щороку інформаційні технології в медицині знаходять все більше застосування. Необхідність використання великих та постійно зростаючих обсягів інформації під час вирішення діагностичних, терапевтичних, статистичних, управлінських та інших завдань обумовлює сьогодні інтенсифікацію застосування інформаційних технологій у медичних установах [7].

Отже, *актуальною задачею* на сьогодні є використання інформаційних технологій у медицині, які надають можливість повсюдно забезпечувати управління наданням медичної допомоги населенню, впроваджувати в діяльність лікарів та середнього медичного персоналу новітні методи діагностики та лікування, організовувати консиліуми лікарів дистанційно.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З позиції прийняття рішень медичними інформаційними технологіями з врахуванням норм цивільного права важливими є наступні критерії [8]: 1) чи надає медична інформаційна технологія рішення щодо можливості використання репродуктивних технологій (екстракорпоральне запліднення та сурогатне материнство); 2) чи надає медична інформаційна технологія рішення щодо можливості донорства і трансплантації; 3) чи надає медична інформаційна технологія рішення щодо можливості надання загальних медичних послуг; 4) чи надає медична інформаційна технологія рішення щодо можливості надання терапевтичних послуг; 5) чи надає медична інформаційна технологія рішення щодо можливості надання стоматологічних послуг; 6) чи надає медична ІТ рішення щодо необхідності вакцинації від Covid'19. Проведено аналіз останніх досліджень на предмет задоволення ними визначених 6 критеріїв.

Так, задоволенню критерію 1 присвячені: система підтримки прийняття рішень для прогнозування результатів застосування репродуктивних технологій [9], інструмент для вирішення проблем медичного прийняття рішень щодо викорис-

тання репродуктивних технологій [10], динамічна модель для прогнозування результатів використання репродуктивних технологій [11].

Для задоволення критерію 2 використовуються: система підтримки прийняття рішень щодо обміну та розподілу нирок [12], наскрізна система донорства та трансплантації органів на основі блокчейну Ethereum [13], модель оцінки донорського ризику для оцінки якості посмертного донорства нирок [14].

Для задоволення критерію 3 розроблені: зразкова система підтримки прийняття клінічних рішень на основі даних [15], інтерактивне багатокритеріальне прийняття рішень для цілеспрямованого планування ультразвукової терапії [16], архітектура ArdoCare системи підтримки прийняття медичних рішень [17].

Задоволенню критерію 4 присвячені: інструменти допомоги пацієнтам у прийнятті рішень [18], інформаційна система підтримки прийняття рішень для сприяння та зміцнення довіри між лікарем і пацієнтом [19].

Для задоволення критерію 5 використовуються: система підтримки прийняття рішень для створення та керування базою даних патологій, а також для моделювання діагнозів патологій ротової порожнини [20], метод на основі штучного інтелекту для оцінки якості послуг та система підтримки прийняття рішень у секторі зубопротезування [21], процес прийняття рішення лікарем-стоматологом, що лежить в основі вибору корональної реставрації кореневого пломбованого зуба [22].

Для задоволення критерію 6 розроблені: цифрова платформа для пілотного дослідження факторів, пов'язаних із готовністю до вакцинації від Covid'19 [23], механізми та прогнози щодо прийняття ризикованих рішень щодо вакцинації від Covid'19 [24], метод спільного прийняття рішень щодо вакцинації від Covid'19 [25].

**Постановка завдання.** Проведений аналіз останніх досліджень показав, що кожне рішення призначене для задоволення одного з визначених 6 критеріїв, проте жодне рішення не задовольняє всі 6 критеріїв одночасно. Крім цього, всі розглянуті рішення не інтегруються між собою, тобто наразі відсутня інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав.

Тому *завданням даного дослідження* буде розроблення та дослідження функціонування інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав,

яка задовольнятиме всі 6 визначених критеріїв одночасно.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Концепцією, яка лежить в основі інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, є автоматизоване прийняття медичних рішень з врахуванням норм цивільного права.

Принципами проектування та функціонування інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав є [8]: принцип розвитку (врахування можливості поповнення та оновлення функцій і складу інформаційної технології без порушення її функціонування); принцип сумісності (наявність інформаційних інтерфейсів, завдяки яким інформаційна технологія може взаємодіяти з іншими технологіями та системами за встановленими правилами); принцип ефективності (досягнення максимального ефекту при мінімізації витрат на інформаційну технологію); принцип системності (створення інформаційної технології базується на комплексному вивченні об'єкту, на єдиному методологічному підході, який дає змогу розглядати досліджуваній об'єкт як одне ціле); принцип автоматизації опрацювання інформаційних потоків (комплексне використання технічних засобів на всіх стадіях проходження інформації від моменту її реєстрації до одержання результатних показників і формування рішень); принцип законності (необхідність чіткого дотримання вимог Законів України, зокрема, цивільного законодавства України); принцип адаптивності до нових задач (використання інформаційної технології не тільки для розв'язання традиційних задач, а й її перебудова у відповідності з необхідністю вирішувати нові задачі); принцип етапності (можливість поступового послідовного розвитку інформаційної технології); принцип відкритості інформації (забезпечення достовірності, правдивості, регулярності, оперативності та надійності інформації для подальшого використання).

Структура формування та деталізована структура інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав представлена у [8].

Інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав реалізована мовою PHP в формі веб-сервісу. Для збереження даних щодо залежності характеристик, підхарактеристик та атрибутів була використана СУБД MySQL. Для інтерфейсу користувача була застосована бібліотека Bootstrap.

Перш ніж завантажувати дані про потенційних донора та реципієнта, дані про потенційних батьків та/або договір про надання певних медичних послуг для їх опрацювання, користувач інформаційної технології може ознайомитись з цивільно-правовими вимогами до даних про потенційних донора та реципієнта, даних про потенційних батьків та договору про надання певних медичних послуг.

Для проведення аналізу, користувач інформаційної технології повинен обрати тип даних/договору та завантажити відповідні дані/договір в pdf-форматі (рис. 1, рис. 2). Після цього інформаційна технологія проводить парсинг завантаженого(их) документів.

**Рис. 1. Вибір типу даних/договору для опрацювання інформаційною технологією підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав**

**Рис. 2. Завантаження відповідних даних/договору для опрацювання інформаційною технологією підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав**

Подамо на вхід інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав дані про потенційних батьків (біологічних батьків та сурогатної матері) та договір про виконання сурогатного материнства, підготовлений однією з репродуктивних клінік м. Хмельницького (Україна).

В розглядуваному випадку сурогатною матір'ю хоче стати 25-річна дієздатна жінка, яка має власну здорову дитину та не має протипоказань до вагітності та пологів і не є донором яйцеклітини. Потенційними батьками є одностатева пара (двоє дієздатних жінок-громадянок Швеції віком по 30 років), одна з жінок є донором яйцеклітини. Репродуктивна клініка надала всю необхідну, повну і достовірну інформацію про послугу сурогатного материнства, про укладання договору, в якому в тому числі обумовлені всі можливі наслідки позапланових подій під час надання послуги, та гарантії залучення до процедури висококваліфікованого медичного персоналу.

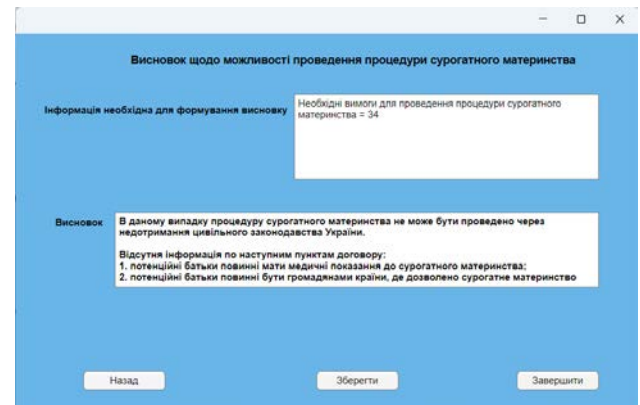
Згідно із методом семантичного аналізу (парсингу) [8] природомовних даних про потенційних батьків та договорів щодо надання репродуктивних технологій, інформаційна технологія проводить пошук кожної обов'язкової істотної умови для даних про потенційних батьків та договору щодо надання репродуктивних технологій певного виду і формує множини відсутніх обов'язкових умов та наявних обов'язкових умов.

Далі, згідно із методом підтримки прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав, інформаційна технологія проводить перевірку кожного правила в множині правил для прийняття рішень щодо можливості сурогатного материнства на основі цивільно-правових підстав за методом здійснення пошуку в ширину в прямому напрямку.

В результаті аналізу поданих даних про потенційних батьків (біологічних батьків та сурогатної матері) та договору про виконання сурогатного материнства розроблена інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав надала висновок: «Сурогатне материнство не може бути проведено через недотримання цивільного законодавства України» (рис. 3).

Крім цього, інформаційна технологія пропонує користувачу виконати доопрацювання (за можливості) даних про потенційних батьків (зокрема, даних про сурогатну матір) та/або договору про сурогатне материнство (наприклад, додавання відсутніх істотних умов у договір або виконання

незадоволених умов іншою потенційною сурогатною матір'ю): користувачу надаються відсутні у даних про потенційних батьків та договорі про надання сурогатного материнства обов'язкові істотні умови – для даного прикладу: «різностатевість подружжя потенційних батьків»; «потенційні батьки є громадянами країни, де дозволено сурогатне материнство» (рис. 3) як керівництво, які обов'язкові істотні умови слід додати (за можливості) в дані та договір для забезпечення можливості надання сурогатного материнства.



**Рис. 3. Висновок інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав за результатами аналізу поданих даних про потенційних батьків та договору про виконання сурогатного материнства**

Очевидно, що в даному випадку відсутні обов'язкові істотні умови, які стосуються потенційних біологічних батьків, тому в даному випадку здійснити доопрацювання даних та договору неможливо.

Щоб переконатись в практичній цінності запропонованої інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, необхідно підтвердити факт покращення клінічного робочого процесу або результатів внаслідок її використання. Критерії оцінки інформаційної технології залежать від мети такої технології – інформаційну технологію підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав доцільно оцінювати з точки зору, власне, її корисності для клінік.

Для визначення корисності запропонованої інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, наприклад, для клінік репродуктивної медицини, розглянемо проаналізовані інформаційною технологією

кейси. Зі 193 проаналізованих інформаційною технологією кейсів лише в 97 випадках було згенеровано рішення про можливість виконання процедури сурогатного материнства, але, оскільки в 2-х випадках таке рішення було некоректним, то лише 95 процедур були дозволені з точки зору цивільно-правового регулювання, а решта 98 випадків (більше половини всіх розглянутих випадків) мали неврахування або порушення певних цивільно-правових норм (рис. 4).



**Рис. 4. Корисність інформаційної технології підтримки прийняття рішень щодо можливості використання репродуктивних технологій при визначенні можливості виконання процедури сурогатного материнства для репродуктивних клінік**

Отже, 98 розглянутих заявок на процедуру сурогатного материнства або мали проблеми в частині незадоволення істотних юридичних умов потенційними біологічними батьками та/або сурогатною матір'ю, тобто навіть не підлягали доопрацюванню, або потребували доопрацювання в частині додавання істотних умов в дані про потенційну сурогатну матір та/або договір з надання сурогатного материнства. Отже, без застосування пропонованої інформаційної технології підтримки прийняття рішень щодо можливості використання репродуктивних технологій з врахуванням цивільно-правових підстав лише 95 процедур сурогатного материнства (49.2%) були б коректними з точки зору цивільного законодавства. Надання послуги сурогатного материнства в інших 98 випадках (50.8%) неодмінно призвело б до несприятливих юридичних наслідків, до судових позовів, а, враховуючи сутність процедури сурогатного материнства, ще й до порушення морально-етичних норм.

Аналогічно інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав надає корисні

рішення щодо можливості/неможливості використання репродуктивних технологій, донорства/трансплантації, надання медичних рішень, терапевтичних рішень та стоматологічних рішень, а також щодо обов'язковості/опціональності та можливості/протипоказань до вакцинації від Covid'19.

**Висновки.** Актуальною задачею на сьогодні є використання інформаційних технологій у медицині, які надають можливість повсюдно забезпечувати управління наданням медичної допомоги населенню, впроваджувати в діяльність лікарів та середнього медичного персоналу новітні методи діагностики та лікування, організувати консилиуми лікарів дистанційно.

Проведений аналіз останніх досліджень показав, що кожне рішення призначене для задоволення одного з визначених 6 критеріїв, проте жодне рішення не задовольняє всі 6 критеріїв одночасно. Крім цього, всі розглянуті рішення не інтегруються між собою, тобто наразі відсутня інформаційна технологія підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав.

У статті було описано розроблення та дослідження функціонування інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав, яка задовольнить усі 6 визначених критеріїв одночасно.

Проведені експерименти та отримані результати показали, що, наприклад, 98 розглянутих заявок на процедуру сурогатного материнства або мали проблеми в частині незадоволення істотних юридичних умов потенційними біологічними батьками та/або сурогатною матір'ю, або потребували доопрацювання в частині додавання істотних умов в договір з надання репродуктивних технологій. Отже, без застосування пропонованої інформаційної технології підтримки прийняття медичних рішень з врахуванням цивільно-правових підстав лише 95 процедур сурогатного материнства (49.2%) були б коректними з точки зору цивільного законодавства. Надання послуги сурогатного материнства в інших 98 випадках (50.8%) неодмінно призвело б до несприятливих юридичних наслідків, до судових позовів, а, враховуючи сутність процедури сурогатного материнства та екстракорпорального запліднення, ще й до порушення морально-етичних норм.

#### Список літератури:

1. Sathya D., Primya T., Vinothini S., Priya J., Jagadeesan D. Smart health system using stacking ensemble classification algorithm. *International Journal on Information Technologies and Security*. 2022. Vol. 14. no. 3. Pp. 67-78.

2. Zhang W., Li D. Impact of IT identity on consumer negatively-valenced engagement in mobile medical consultation: from consumer experience perspective. *Industrial Management and Data Systems*. 2022. Vol. 122. Issue 11. Pp. 2508-2539.
3. Hovorushchenko T., Boyarchuk A., Pavlova O. Ontology-Based Intelligent Agent for Semantic Parsing the Software Requirements Specifications. *International Journal on Information Technologies and Security*. 2019. Vol. 11. No. 2. Pp. 59-70.
4. Cao Z. Research on Medical Information Processing Based on Data Mining Technology. *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering*. 2022. Vol. 446. Pp. 510-516.
5. Vodenitcharova A., Leventi N., Popova K. Innovative Information Technologies in Medicine, the Ethical Aspects – Medical Students’ Opinion. *CEUR-WS*. 2022. Vol. 3191. Pp. 89-97.
6. Hogera M., Mokhtar M., Nabeel A. K., Ahmed R.T., Nawzad Al-S., Rebaz Mohammed Dler O., Joan L. Technologies in medical information processing. *Advances in Telemedicine for Health Monitoring*. 2020. Pp. 31-54.
7. Ghorayeb A., Darbyshire J., Wronikowska M., Watkinson P. Design and validation of a new Healthcare Systems Usability Scale (HSUS) for clinical decision support systems: a mixed-methods approach. *BMJ Open*. 2023. Vol. 13. Issue 1. Article number e065323.
8. Hnatchuk Ye., Hovorushchenko T., Shteinbrekher D., Boyarchuk A., Kysil T. Medical Information Technology for Decision-Making Taking Into Account the Norms of Civil Law. *International Journal on Information Technologies and Security*. 2023. Vol. 15. No. 1. Pp. 77-88.
9. Kothandaraman R., Andavar S., Raj R. Dynamic Model for Assisted Reproductive Technology Outcome Prediction. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2021. Vol. 64. Article number e21200758.
10. Figueira J., Almeida-Dias J., Matias S., Roy B., Carvalho M., Plancha C. ELECTRE TRI-C, a multiple criteria decision aiding sorting model applied to assisted reproduction. *International Journal of Medical Informatics*. 2011. Vol. 80. Issue 4. Pp. 262-273.
11. Kothandaraman R., Andavar S., Raj R. A Hybrid Feature Ranking Algorithm for Assisted Reproductive Technology Outcome Prediction. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2022. Vol. 65. Article number e22210605.
12. Karademirci O., Terzioglu A., Yilmaz S., Tombus O. Implementation of a User-Friendly, Flexible Expert System for Selecting Optimal Set of Kidney Exchange Combinations of Patients in a Transplantation Center. *Transplantation Proceedings*. 2015. Vol. 47. Issue 5. Pp. 1262-1264.
13. Hawashin D., Jayaraman R., Salah K., Yaqoob I., Simsekler M., Ellahham S. Blockchain-Based Management for Organ Donation and Transplantation. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. Pp. 59013-59025.
14. Ding C., Tai Q., Han F., Li Y., Tian X., Tian P., Ding X., Pan X., Zheng J., Xiang H., Xue W. Predictive Score Model for Delayed Graft Function Based on Easily Available Variables before Kidney Donation after Cardiac Death. *Chinese Medical Journal*. 2017. Vol. 130. Issue 20. Pp. 2429-2434.
15. Grasser F., Tesch F., Schmitt J., Abraham S., Malberg H., Zaunseder S. A pharmaceutical therapy recommender system enabling shared decision-making. *User Modeling and User-Adapted Interaction*. 2021.
16. Scherrer A., Jakobsson S., Kufer K. On the advancement and software support of decision-making in focused ultrasound therapy. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 2016. Vol. 23. Issue 5-6. Pp. 174-182.
17. Candea C., Candea G., Constantin Z. ArdoCare - a collaborative medical decision support system. *Procedia Computer Science*. 2020. Vol. 162. Pp. 762-769.
18. Agin F., Madhani Z., Zahmatkeshan Khorasani A., Zehtab H., Aslani A. Patient Decision Aid Systems: An Overview. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2018. Vol. 249. Pp. 208-211.
19. Delbon P. The protection of health in the care and trust relationship between doctor and patient: Competence, professional autonomy and responsibility of the doctor and decision-making autonomy of the patient. *Journal of Public Health Research*. 2018. Vol. 7. Issue 3. Pp. 97-100.
20. Borra R., Andrade P., Correa L., Novelli M. Development of an open case-based decision-support system for diagnosis in oral pathology. *European Journal of Dental Education*. 2017. Vol. 11. Issue 2. Pp. 87-92.
21. Martins S., Ferreira F., Ferreira J., Marques C. An artificial-intelligence-based method for assessing service quality: insights from the prosthodontics sector. *Journal of Service Management*. 2020. Vol. 31. Issue 2. Pp. 291-312.
22. Dawson V., Fransson H., Wolf E. Coronal restoration of the root filled tooth - a qualitative analysis of the dentists’ decision-making process. *International Endodontic Journal*. 2021. Vol. 54. Issue 4. Pp. 490-500.
23. Syundyukov E., Mednis M., Zaharenko L., Pildegovica E., Danovska I., Kistkins S., Seidmann A., Bennis A., Pirags V., Tzivian L. COVID-19 vaccination readiness: use of digital technologies for data-driven decision making. *European Journal of Public Health*. 2021. Vol. 31. Pp. 105-109.
24. Reyna V., Broniatowski D., Edelson S. Viruses, Vaccines, and COVID-19: Explaining and Improving Risky Decision-making. *Journal of Applied Research In Memory and Cognition*. 2021. Vol. 10. Issue 4. Pp. 491-509.
25. Scalia P., Durand M., Elwyn G. Shared decision-making interventions: An overview and a meta-analysis of their impact on vaccine uptake. *Journal of Internal Medicine*. 2021.



**Hnatchuk Ye.H., Hovorushchenko O.O. RESULTS OF THE FUNCTIONING OF INFORMATION TECHNOLOGY TO SUPPORT MEDICAL DECISION-MAKING, TAKING INTO ACCOUNT CIVIL LAW GROUNDS**

*Today's urgent task is the use of information technologies in medicine, which make it possible to ensure the management of medical care provision to the population everywhere, to introduce the latest diagnostic and treatment methods into the activities of doctors and paramedical staff, and to organize medical consultations remotely.*

*The analysis of recent studies has shown that each solution is designed to meet one of the 6 criteria identified, but no solution satisfies all 6 criteria simultaneously. In addition, all the solutions under consideration are not integrated with each other; i.e., there is currently no information technology to support medical decision-making with due regard to civil law grounds.*

*The article describes the development and study of the functioning of the information technology for supporting medical decision-making with due regard to civil law grounds, which will satisfy all 6 defined criteria simultaneously. The concept underlying the information technology for supporting medical decision-making based on civil law is automated medical decision-making based on civil law.*

*The experiments conducted and the results obtained showed that, for example, 98 applications for surrogacy procedures either had problems in terms of the failure of potential biological parents and/or surrogate mother to meet essential legal conditions or required revision in terms of adding essential conditions to the agreement on the provision of reproductive technologies. Thus, without the use of the proposed information technology to support medical decision-making based on civil law, only 95 surrogacy procedures (49.2%) would have been correct from the point of view of civil law. Provision of surrogacy services in the remaining 98 cases (50.8%) would certainly lead to adverse legal consequences, lawsuits, and, given the nature of the surrogacy procedure and in vitro fertilization, to violations of moral and ethical standards.*

**Key words:** *information, data, information technology, medical decision support, semantic analysis (parsing), principles of information technology development.*

**Горбійчук М.І.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Лазорів Н.Т.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Козутяк М.І.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Лазорів А.М.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЗА ПАРАМЕТРАМИ КОМПЕНСАТОРА ПЕРЕХРЕСНИХ ЗВ'ЯЗКІВ АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

*Муфельні печі з двома незалежними джерелами живлення крім прямих каналів впливу вхідних величин на вихідні величина мають перехресні канали такого впливу, що значно ускладнює автоматичне керування тепловим режимом печі. Одним із методів компенсації перехресних впливів є введення в контур керування компенсатора перехресних зв'язків.*

*На основі експериментальних досліджень були отримані передавальні функції кожного каналу передачі сигналів. Всі чотири передавальні функції мають третій порядок. Показано, що синтез автономної системи керування, породжує компенсатор перехресних зв'язків, який характеризується чотирьома однаковими за структурою передавальними функціями, кожна із яких має шістнадцятий порядок. Такий високий порядок передавальних функцій значно ускладнює їх практичну реалізацію на сучасних мікропроцесорах (контролерах). Тому виникла задача спрощення передавальних функцій компенсатора без суттєвої втрати ефективності його функціонування.*

*Аналіз літературних джерел показав, що на теперішній час є цілий ряд методів і способів спрощення математичних моделей динамічних систем. Недоліком проаналізованих робіт є відсутність формалізованих критеріїв, за допомогою яких можна оцінити ступінь наближення редукованої моделі до свого «оригіналу». Одним із способів подолати вказаний недолік є застосування методу Ганкеля для редукації моделей, які задані у вигляді передавальних функцій. На відміну від частотних характеристик, які характеризують розподіл енергії за частотами, метод Ганкеля дає змогу визначити розподіл енергії за станами об'єкта, яка графічно відображається у вигляді стовбцевої діаграми. За домінуючими стовбцями на діаграмі Генкеля були визначені порядки передавальних функцій редукованої моделі. Встановлено, що порядки передавальних функцій компенсатора можна знизити з шістнадцяти до трьох. Точність редукованої моделі по відношенню до «оригіналу» перевірялась зіставленням їх перехідних і частотних характеристик, що дало змогу встановити несуттєву їх різницю.*

**Ключові слова:** муфельна піч, передавальна функція, редукація моделей, метод Ганкеля, точність.

**Постановка проблеми.** Муфельні печі невеликі за розміром теплові об'єкти, які широко поширені як при лабораторних дослідженнях, так і в промисловості і призначені для нагрівання невеликих за розміром виробів.

Для створення температурного режиму в муфельній печі використовують нагрівники з високим питомим омичним опором. Конструктивно нагрівники виконані у формі стержнів або трубок.

У більшості випадків для створення необхідного температурного режиму використовують одне джерело живлення. У таких печах для стабілізації температури використовують однока-

нальні регулятори [1], які мають у своєму складі датчик температури, мікропроцесорний пристрій (контролер) і тиристорний виконавчий механізм. За допомогою останнього до нагрівника підводиться необхідна потужність.

Муфельні печі відносяться до апаратів циклічної дії. Кожний цикл включає в себе період нагрівання, витримки при заданій температурі і охолодження. Для зменшення часу на нагрівання використовують печі з двома нагрівниками, кожен із яких має своє джерело живлення.

Ефективність роботи муфельної печі характеризується точністю підтримання заданої температури

на етапі витримки. Наявність двох незалежних джерел живлення породжує перехресні зв'язки, що погіршує якість процесу керування. Одним із способів «ліквідації» перехресних зв'язків або значного зменшення їх впливу є уведення в контур керування компенсатора перехресних зв'язків.

Дослідження показали [1], що динамічні властивості муфельної печі з двома незалежними джерелами живленнями описуються чотирьом однотипними передавальними функціями третього порядку. У такому випадку динаміка синтезованого компенсатора перехресних зв'язків буде характеризуватись також чотирьом передавальними функціями, порядок кожної із яких визначається за формулою [2]  $N = 2(3n - 1)$ . При  $n=3$  порядок кожна із передавальних функцій буде мати порядок  $N=16$ . Такий високий порядок кожної передавальної функції компенсатора значно ускладнює його технічну реалізацію за допомогою сучасних мікро контролерів.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Сучасні комп'ютеризовані системи збору і оброблення інформації в системах керування характеризуються складністю їх структур і режимів, підвищеними вимогами до якості функціонування таких систем (швидкодія, точність, надійність тощо). Ці чинники зумовлюють підвищені вимоги щодо якості математичних моделей, які описують поведінку технологічних об'єктів.

Прагнення дослідника отримати модель, яка адекватно відтворює функціонування об'єкта, часто вступає в протиріччя з обчислювальними можливостями комп'ютерно-інтегрованих систем, що працюють у режимі реального часу. Тому доцільно застосовувати замість складних моделей простіші (редуковані), які в певному сенсі зберігають інформативність результатів моделювання.

При математичному описі статички об'єктів за результатами експериментальних досліджень часто модель вибирають у вигляді полінома певного степені. У таких випадках редукцію поліноміальних моделей здійснюють із застосуванням методу групового врахування аргументів [3] та методу генетичних алгоритмів [4]. Суть методів у тому, що із заданої множини поліноміальних моделей за певним критерієм вибирають ту модель яка найбільше «приспосована» до експериментальних даних.

Динаміка більшості технологічних об'єктів описується нелінійними диференціальними рівняннями, які при малих відхиленнях незбуреного руху замінюють редукованою лінійними моделями [5]. Спрощення математичних моделей сто-

суться систем і об'єктів як з розподіленими, так і зосередженими параметрами.

Для моделей з розподіленими параметрами найчастіше застосовують метод розділення змінних (метод Фур'є) [6], який передбачає подання функції декількох просторових змінних та часу у вигляді нескінченного ряду, кожний член якого добуток двох функцій однієї змінної – часу та просторових координат.

Для об'єктів із зосередженими параметрами використовують різні прийоми спрощення моделей. Так, в роботі [7] зниження порядку диференціального рівняння здійснено шляхом нехтування малих значень постійних часу. Адекватність редукованих моделей оцінювалось, виходячи із аналізу фізичної сутті процесу.

Інший підхід для оцінки точності процесу редукції моделі запропонований в роботі [8]. Для оцінки точності використано приведену максимальну похибку

$$\Phi = \frac{\max_{t \in [t_0, t_f]} |\Delta Y(t)|}{\max_t |\bar{Y}(t)|},$$

де  $\Delta Y(t)$  – відхилення редукованої від «оригінальної» моделі;  $\bar{Y}(t)$  – оригінальна модель.

Недоліком прийомів редукції математичних моделей використаних в роботах [7] і [8] є відсутність формалізованого визначення критеріїв «малі постійні часу», «точність моделі».

У тому випадку, коли математична модель динаміки об'єкта (системи) має високий порядок спрощення таких моделей здійснюють за методом Ганкеля [9–11]. Слід відмітити, що метод Ганкеля працює у тому випадку, коли характеристичне рівняння системи має домінуючі ліві корені.

**Метою роботи** є спрощення передавальних функцій компенсатора перехресних зв'язків, що дасть змогу реалізувати його програмно на сучасних мікро контролерах.

Поставлена мета досягнута внаслідок розв'язання таких задач:

- здійснено аналіз літературних джерел і виявлено, що ефективним способом пониження порядку моделі є метод Ганкеля;

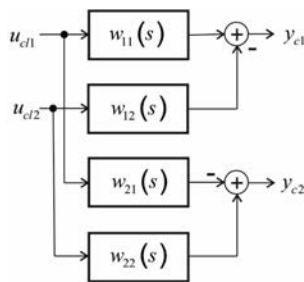
- на основі методу Ганкеля розроблена методика отримання редукованої моделі і розроблено відповідне алгоритмічне і програмне забезпечення;

- оцінена точність процесу редукції та зроблений висновок про значне скорочення порядків передавальних функцій компенсатора без суттєвої різниці між редукованою моделлю і її «оригіналом».

**Спрощення моделей компенсатора перехресних зв'язків методом Ганкеля.** У даній роботі розглядається тип муфельних печей, які мають два роздільних джерела живлення, що зумовлює наявність двох каналів передачі керуючих впливів, наявність яких породжує додаткові зв'язки, що значно погіршує якість керування такими об'єктами. Одним із способів зменшення взаємовпливу вхідних величин на регульовані вихідні величини є введення у контур системи керування компенсатора перехресних зв'язків, призначення яких повністю ліквідувати або значно зменшити такі взаємовпливи [1].

Структурна схема компенсатора зображена [2] на рисунку 1, а параметри передавальних функцій муфельної печі як об'єкта автоматичного керування вміщує таблиця 1.

На рисунку 1  $u_{c1}$  і  $u_{c2}$  – вихідні сигнали регуляторів, а  $y_{c1}$  і  $y_{c2}$  – виходи компенсатора, які є командними сигналами, що поступають на об'єкт керування.



**Рис. 1. Структурна схема компенсатора перехресних зв'язків**

Передавальні функції компенсатора  $w_{ij}(s)$ ,  $i = j = 1, 2$  обчислюють [2] за такими формулами:

$$w_{11}(s) = \frac{W_{11}(s)W_{22}(s)}{\Delta(s)}; \quad w_{12}(s) = -\frac{W_{12}(s)W_{22}(s)}{\Delta(s)};$$

$$w_{21}(s) = -\frac{W_{21}(s)W_{11}(s)}{\Delta(s)}; \quad w_{22}(s) = \frac{W_{11}(s)W_{22}(s)}{\Delta(s)},$$

де  $\Delta(s) = W_{11}(s)W_{22}(s) - W_{12}(s)W_{21}(s)$ .

Можна показати [2], що порядки поліномів чисельників і знаменників передавальних функцій  $w_{ij}(s)$ ,  $i = j = 1, 2$  компенсатора мають однакові порядки і дорівнюють  $2(3n - 1)$ , де  $n$  – порядок передавальних функцій  $W_{ij}(s)$ ,  $i = j = 1, 2$ . Як випливає із таблиці 1 всі передавальні функції об'єкта мають однакові порядки і  $n=3$ .

За допомогою програмного забезпечення, розробленого в середовищі MatLab, отримані передавальні функції компенсатора перехресних зв'язків. Загальна структура передавальної функції компенсатора має вигляд

$$w(s) = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} b_i s^{n_c - i}}{\sum_{k=1}^{n_c} a_k s^{n_c - k}} \quad (1)$$

де  $n_c=16$ .

Коефіцієнти передавальних функцій (1) для відповідних каналів передачі сигналів наведені у табл. 2–4.

Математичну модель компенсатора (рис. 1) запишемо у матрично-векторній формі

$$\begin{bmatrix} y_{c1}(s) \\ y_{c2}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_{11}(s) & w_{12}(s) \\ w_{21}(s) & w_{22}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u_{c1}(s) \\ u_{c2}(s) \end{bmatrix} \quad (2)$$

Із рівняння (2) знаходимо

$$y_{c1}(s) = w_{11}(s)u_{c1}(s) + w_{12}(s)u_{c2}(s),$$

$$y_{c2}(s) = w_{21}(s)u_{c1}(s) + w_{22}(s)u_{c2}(s).$$

Для лінійних систем справедливий принцип суперпозиції. Тому

$$y_{c1}(t) = y_{11}(t) + y_{12}(t), \quad (3)$$

$$y_{c2}(t) = y_{22}(t) + y_{21}(t), \quad (4)$$

де  $y_{11}(t) = L^{-1}[w_{11}(s)u_{c1}(s)]$ ;

$$y_{12}(t) = L^{-1}[w_{12}(s)u_{c2}(s)];$$

$$y_{22}(t) = L^{-1}[w_{22}(s)u_{c2}(s)];$$

$$y_{21}(t) = L^{-1}[w_{21}(s)u_{c1}(s)].$$

Символом  $L^{-1}$  позначено зворотнє перетворення Лапласа.

Таблиця 1

**Параметри емпіричних моделей**

Передавальні функції	k	Параметри чисельника ПФ			Параметри знаменника ПФ			
		$b_0$	$b_1$	$b_2$	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$W_{11}(s)$	468.25	7828.23	97.77	1	559116.88	16854.16	206.53	1
$W_{12}(s)$	150,00	10401.34	136.80	1	1596016.46	34051.10	290.59	1
$W_{21}(s)$	459.25	7724.32	97.20	1	612374.61	17821.93	211.50	1
$W_{22}(s)$	172.88	9560.48	111.38	1	1133264.06	26531.02	254.91	1

Таблиця 2

Параметри коректора по каналу  $w_{11}(s) = w_{22}(s)$

$i,k$	$b_i$	$a_k$	$i,k$	$b_i$	$a_k$
0	3.752e36	1.53e36	9	2.269e22	5.466e21
1	4.807e35	1.856e35	10	1.752e20	3.96e19
2	3.016e34	1.101e34	11	1.09e18	2.306e17
3	1.225e33	4.229e32	12	5.349e15	1.059e15
4	3.597e31	1.173e31	13	2.007e13	3.711e12
5	8.081e29	2.486e29	14	5.431e10	9.366e09
6	1.435e28	4.16e27	15	9.493e07	1.523e07
7	2.053e26	5.601e25	16	8.095e04	1.206e04
8	2.389e24	6.128e23			

Таблиця 3

Параметри коректора по каналу  $w_{12}(s)$

$i,k$	$b_i$	$a_k$	$i,k$	$b_i$	$a_k$
0	-1.597e36	4.367e36	9	- 8.863e21	8.489e21
1	- 2.057e35	4.912e35	10	- 6.688e19	5.778e19
2	- 1.291e34	2.711e34	11	- 4.055e17	3.163e17
3	- 5.224e32	9.704e32	12	- 1.938e15	1.365e15
4	- 1.523e31	2.514e31	13	- 7.064e12	4.492e12
5	-3.385e29	4.985e29	14	- 1.855e10	1.064e10
6	- 5.93e27	7.815e27	15	- 3.142e07	1.625e07
7	- 8.346e25	9.869e25	16	-25932	1.206e04
8	- 9.531e23	1.014e24			

Таблиця 4

Параметри коректора по каналу  $w_{21}(s)$

$i,k$	$b_i$	$a_k$	$i,k$	$b_i$	$a_k$
0	-8.053e36	8.267e35	9	- 5.447e22	4.262e21
1	- 1.039e36	1.05e35	10	- 4.273e20	3.203e19
2	- 6.58e34	6.511e33	11	- 2.699e18	1.934e17
3	- 2.702e33	2.609e32	12	- 1.346e16	9.205e14
4	- 8.03e31	7.541e30	13	- 5.123e13	3.341e12
5	-1.828e30	1.664e29	14	- 1.406e11	8.733e09
6	- 3.292e28	2.896e27	15	- 2.491e08	1.471e07
7	- 4.779e26	4.053e25	16	-2.15e05	1.206e04
8	- 5.647e24	4.605e23			

На рисунку 2 зображені графіки функцій  $y_{c1}(t)$  і  $y_{c2}(t)$ , які побудовані за допомогою програмного забезпечення, створеного в середовищі MatLab. На всі входи компенсатора подавався одиничний стрибкоподібний сигнал. Тому  $u_{c1}(s) = u_{c2}(s) = \frac{1}{s}$ . Із формули (1) та із таблиць 2–4 випливає, що поліноми чисельників і знаменників мають однакові порядки і дорівнюють 16. При такому високому порядку передавальних функцій виникають певні труднощі практичної їх реалізації на промислових контролерах. Тому доцільно передавальні функції компенсатора (1) апроксимувати передавальними функціями нижчого порядку.

Динамічні властивості будь-якої фізичної системи визначаються певним частотним діапазоном, поза яким об'єкт не чутливий до гармонічних збурень.

Визначимо логарифмічні частотні характеристики кожного каналу передачі сигналу компенсатора з передавальними функціями  $w_{ij}(s)$ ,  $i = j = 1, 2$ , які визначені формулою (1), а їх параметри вміщує таблиці 2–4. З огляду на те, що передавальні функції компенсатора перехресних зв'язків мають тотожні структури у подальших викладках будемо опускати індекси при відповідних передавальних функціях.

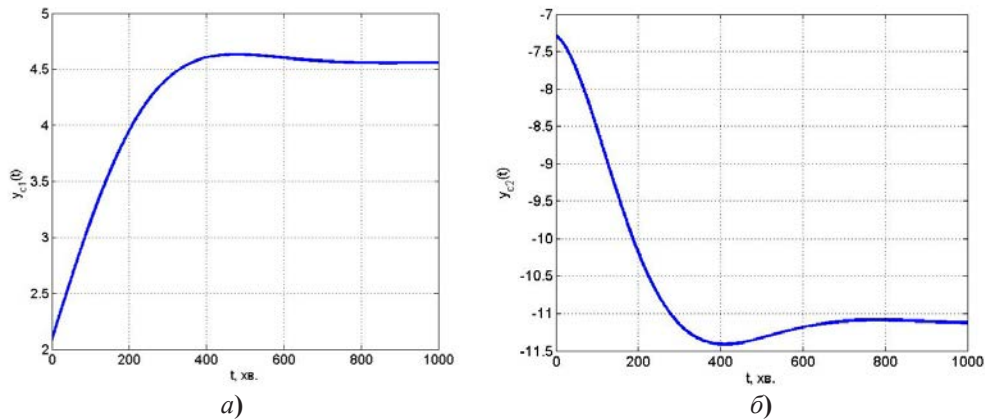


Рис. 2. Графіки залежностей  $y_{c1}(t)$ ,  $a$  і  $y_{c2}(t)$ ,  $b$

За визначенням логарифмічна амплітудно-частотна характеристика каналу компенсатора з передавальною функцією (1) буде такою:

$$L(\omega) = 20 \log |w(j\omega)|,$$

де  $|\bullet|$  – модуль комплексної величини.

Відповідно, логарифмічна фазо-частотна характеристика є такою:

$$\varphi(\omega) = \arg w(j\omega),$$

де  $\omega$  – частота в логарифмічному масштабі.

Відомо, що частотні характеристики дають уявлення про розподіл енергії сигналів за частотами. Розподіл енергії за станами можна визначити, якщо скористатись сингулярними числами Ганкеля [9].

Кожній передавальній функції компенсатора  $w(s)$  поставимо у відповідність математичні моделі у просторі станів. Для цього запишемо диференціальне рівняння відповідного каналу компенсатора, яке відповідає передавальній функції  $w(s)$ . Отже,

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = \\ = b_n \frac{d^n u(t)}{dt^n} + b_{n-1} \frac{d^{n-1} u(t)}{dt^{n-1}} + \dots + b_1 \frac{du(t)}{dt} + b_0 u(t), \end{aligned} \quad (5)$$

де  $a_i, b_j, i = j = \overline{1, n} (n = 16)$

Рівняння (5) можна подати у вигляді системи диференціальних рівнянь, кожне із яких є рівнянням першого порядку, яка в матричній формі має такий вигляд [12]:

$$A\bar{\beta} = \bar{b}, \quad (6)$$

$$\text{де } A = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & \dots & a_{n-1} & a_n \\ a_1 & a_2 & a_3 & \dots & a_n & 0 \\ a_2 & a_3 & a_4 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n-1} & a_n & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_n & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{\beta} = \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \dots \\ \beta_n \end{bmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix}.$$

Із векторно-матричного рівняння (6) визначимо вектор невідомих коефіцієнтів

$$\bar{\beta} = A^{-1}\bar{b}.$$

Передавальні функції компенсатора мають високий порядок, що зумовлює певні труднощі їх реалізації на промислових контролерах. Тому є необхідність зменшення порядків передавальних функцій, виходячи із вимоги близькості частотних характеристик «оригіналу» і наближеної моделі поблизу частоти кроссовера.

В основі заміни початкової моделі моделлю нижчого порядку лежить метод, де використовуються сингулярні числа Ганкеля [13, 14].

На рис. 3 зображено діаграму Ганкеля, яка побудована за допомогою Matlab-функції `hankelsv()`. Із рисунка 3 випливає, що є три домінуючі стани, які визначають порядок редукованої моделі. Для перевірки якості редукованої і вихідної моделей побудуємо їх частотні і часові характеристики. Для цього спочатку знайдемо передавальну функцію редукованої моделі. Оскільки редукована модель подана у просторі станів, то

$$\frac{d\bar{x}(t)}{dt} = A\bar{x}(t) + \bar{b}u(t), \quad (7)$$

$$y(t) = \bar{c}^T \bar{x}(t) + du(t), \quad (8)$$

$$\text{де } A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}, \quad \bar{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{bmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix};$$

$\bar{c} = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{bmatrix}$ ,  $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$  – змінні станів каналу компенсатора перехресних зв'язків з передавальною функцією  $w_{ij}(s)$ ;  $y(t), u(t)$  – вихідна і вхідна величини моделі;  $d$  – скалярна величина.

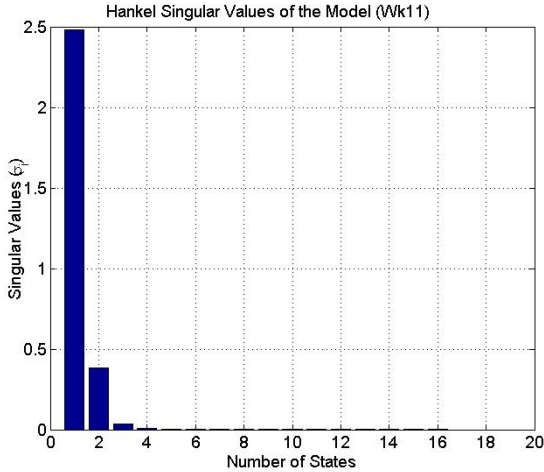


Рис. 3. Діаграма сингулярних чисел Ганкеля

Рівняння (7) і (8) перетворимо за Лапласом при нульових початкових умовах. У результаті отримаємо

$$s\bar{X}(s) = A\bar{X}(s) + \bar{b}U(s),$$

$$Y(s) = \bar{c}^T \bar{X}(s) + dU(s).$$

Звідси знаходимо спрощену передавальну функцію одного із каналів компенсатора

$$w(s) = \bar{c}^T (Is - A)^{-1} \bar{b} + d, \quad (9)$$

де  $I$  – одинична матриця.

За допомогою програмного забезпечення, розробленого в середовищі MatLab, отримані редуковані передавальні функції компенсатора перехресних зв'язків, кожна із яких має третій порядок.

Оскільки передавальні функції компенсатора перехресних зв'язків є однотипні, то для  $n=3$  вони будуть такими (без врахування нижніх індексів):

$$w(s) = \frac{b_0s^3 + b_1s^2 + b_2s + b_3}{a_0s^3 + a_1s^2 + a_2s + a_3}.$$

Параметри передавальних функцій розміщені у таблицях 5–7.

Таблиця 7

Параметри коректора по каналу  $w_{21}(s)$

i,k	$a_k$	$a_k$
0	-9.741	1.000
1	-0.1995	0.01839
2	-0.002326	0.00017
3	-1.128e-05	6.315e-07

Зауважимо, що  $w_{11}(s) = w_{22}(s)$ . Тому параметри редукованої моделі для  $w_{22}(s)$  будуть визначатись таблицею 5.

Як приклад, для перевірки якості процедури спрощення моделі  $w_{11}(s)$  були побудовані логарифмічні частотні характеристики початкової і редукованої моделей (рис. 4).

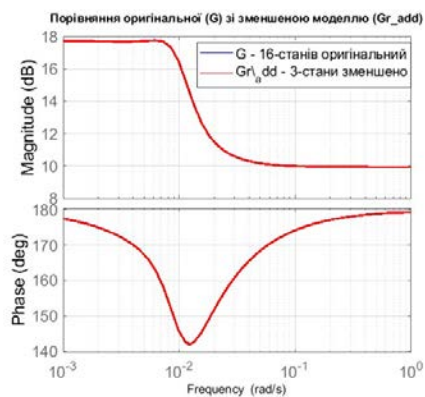


Рис. 4. Порівняння частотних характеристик оригінальної і спрощеної моделей

Аналіз рисунку 4 показав, що у робочому діапазоні частот частотні характеристики дуже мало відрізняються між собою.

Тепер порівняємо між собою перехідні характеристики, які побудовані для початкової і спрощеної моделей (рис. 5).

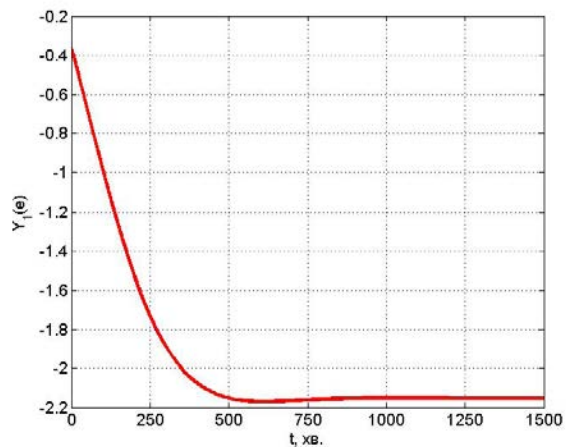


Рис. 5. Перехідні характеристики оригінальної і спрощеної моделей (передавальна функція  $W_{11}(S)$ )

Таблиця 5

Параметри коректора по каналу  $w_{11}(s) = w_{22}(s)$

i,k	$b_i$	$a_k$
0	2.452	1.000
1	0.06121	0.01809
2	0.0007002	0.0001535
3	3.592e-06	5.341e-07

Таблиця 6

Параметри коректора по каналу  $w_{12}(s)$

i,k	$b_i$	$a_k$
0	-0.3657	1.000
1	-0.01278	0.01861
2	-0.0001804	0.0001519
3	-1.069e-06	4.965e-07

Як показує рисунок 5, перехідні характеристики оригінальної і спрощеної моделей практично не відрізняються між собою. Для оцінки точності апроксимації була визначена похибка розбіжності між вихідною і редукованою моделями за такою формулою:

$$\delta_{ij}^{(\max)} = \max_t \left| \frac{y_{ij}^{(or)}(t) - y_{ij}^{(r)}(t)}{y_{ij}^{(or)}(t)} \right| \cdot 100\%, \quad i, j = 1, 2, 3, \quad (10)$$

де  $y_{ij}^{(or)}(t)$ ,  $y_{ij}^{(r)}(t)$  перехідні характеристики оригінальної і спрощеної моделей.

За формулами, які подібні до формули (10), були обчислені похибки апроксимації за логарифмічними частотними характеристиками (табл. 8).

Значення похибок апроксимації для кожної із трьох моделей ( $w_{11}(s) = w_{22}(s)$ ) наведені в табл. 8.

Таблиця 8

**Похибки апроксимації**

Модель	Похибка апроксимації за перехідними характеристиками, %	Похибки апроксимації за ЛЧХ, %	
		за амплітудою	за фазою
$w_{11}(p)$	1.5611e-02	1.4484e-02	1.7411e-01
$w_{12}(p)$	2.1846e-02	2.3184e-02	6.1880e-03
$w_{21}(p)$	5.1275e-03	2.5465e-03	6.2829e-03

Аналіз таблиці 8 показує, що похибки, які виникли внаслідок спрощення математичних моделей компенсатора перехресних зв'язків, знаходяться в межах від 5.1275e-03% до 1.7411e-01%. Таке незначне значення похибки апроксимації свідчить про те, що з прийнятною для практики точністю

оригінальні моделі 16-го порядку можна замінити моделями значно нижчого, а саме третього порядку.

Для оцінки ефективності роботи синтезованого коректора перехресних зв'язків створена імітаційна модель, яка зображена на рисунку 6.

Модель складається з компенсатора (представлений Sub системою «Коректор») та моделі печі термічної обробки (Sub система «Муфельна піч»). Імітаційний експеримент здійснювався у такому порядку. Задали робочу точку (температуру в контрольних точках на заготовці  $t_v \approx t_n = 660^\circ C$ ) шляхом підбору потужності нагріву (наближено баланс досягнуто при потужності  $U_{kn} = 50\%$  та  $U_{kv} = 20\%$  – відповідно для нижнього та верхнього тенів).

Потім сформувавши стрибкоподібні зміщення робочої точки окремо по кожному з входів компенсатора  $SP_v$  та  $SP_n$  у відповідності до часової діаграм, зображеної на нижнього графіку (рис. 7).

В момент часу 2000 хв стрибкоподібно зменшили сигнал на вході каналу керування для нижнього тону і спостерігали за зміщенням робочих точок по верхній діаграмі (рис. 7). Нижня робоча точка змістилась з  $660^\circ C$  до  $649^\circ C$  (тренд  $t_n$ ) при цьому не відбулося зміщення температури  $t_v$  (ділянка 2000...4000 хв).

При стрибкоподібному зміщенні по  $SP_v = 0 \rightarrow 5$  в момент часу 4000 хв відбулася зміна температури у верхній контрольній точці  $t_v$  з  $660^\circ C$  до  $6825^\circ C$  при цьому  $t_n$  залишилась на попередньому рівні.

Зміна сигналів  $U_{kv}$  і  $U_{kn}$  на виході компенсатора зворотних зв'язків зображена на середній діаграмі трендів (рис. 7). Зміна даних сигналів приводить до компенсації перехресних канали в об'єкті керування.

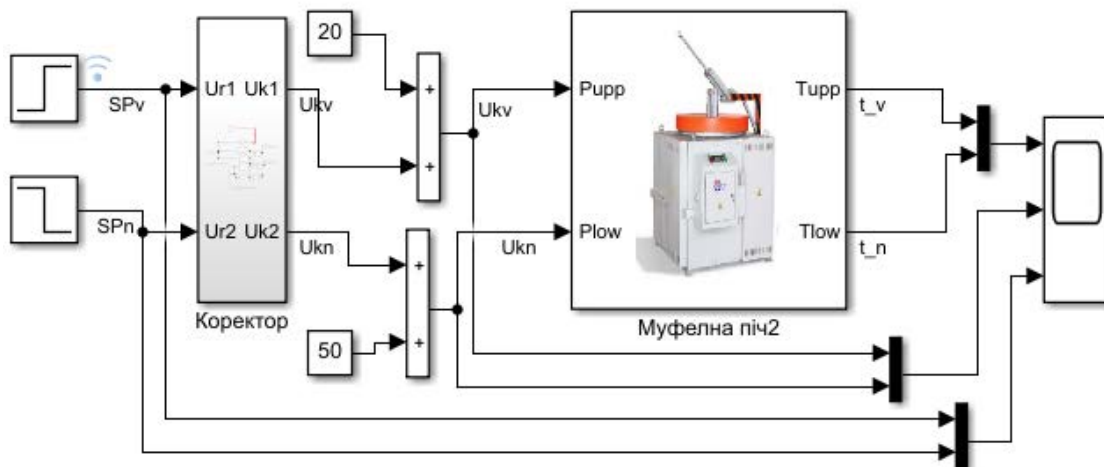


Рис. 6. Імітаційна модель об'єкта з компенсатором



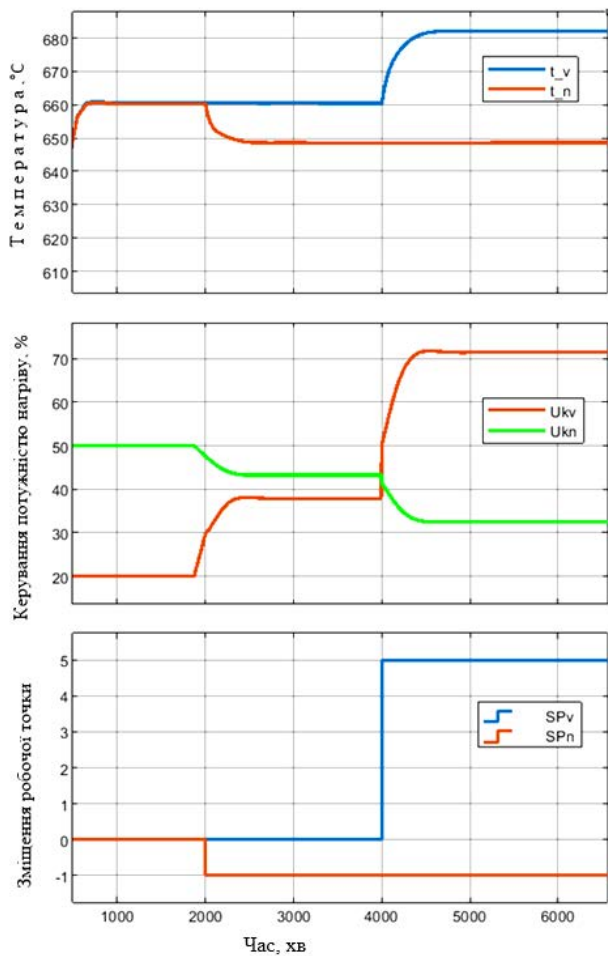


Рис. 7. Дослідження роботи коректора на об'єкті

**Висновки.** 1. Розроблений метод редукції моделей компенсатора зворотних зв'язків, як елемента автоматичної системи керування температурним режимом муфельної печі, дає змогу понизити порядок його передавальних функцій з  $n=6$  до  $n=3$  і тим самим полегшити процес практичної реалізації компенсатора на промислових контролерах.

2. Розроблене алгоритмічне і програмне забезпечення методу редукції моделей компенсатора перехресних зв'язків дало змогу провести обчислювальні експерименти і установити, що відносна похибка апроксимації між оригінальною і редукованою моделями не перевищують  $1.7411e-01\%$  (табл. 8).

3. Результати імітаційного моделювання температурного режиму муфельної печі показали, що отримана задовільна компенсація дії перехресних каналів, яка залежить від точності математичного опису редукованих каналних компенсаторів. Канали стають автономними за рахунок сформованих сигналів корекції  $U_{kv}$  та  $U_{kn}$ . Сигнали перехресних зв'язків при зміщенні робочої точки на вході узагальненого об'єкта (коректор сумісно з муфельною піччю) не передаються перехресними каналами на виходи  $t_v$  та  $t_n$ . Отже, синтезовані коректори можна використати при синтезі автономної системи автоматичного керування температурним режимом муфельної печі.

#### Список літератури:

1. Горбійчук М.І., Лазорів Н.Т. Емпіричні моделі муфельних печей. *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості. Збірник тез доповідей*. Івано-Франківськ, 2022. С. 47 – 48.
2. Горбійчук М.І., Лазорів Н.Т., Когутяк М.І., Лазорів А.М. Дослідження динамічних властивостей компенсатора перехресних зв'язків автономної системи керування. *Методи та прилади контролю якості*. 2022. № 2 (49). С. 74 – 88.
3. Lemke F. Self-organising Modelling for Decision Support / International Conference in Inductive Modelling ICIM' 2013. URL: <http://www.mgua.irtc.org.ua/attach/ICIM-IWIM/2013/3.9%20.pdf> (дата звернення 09.04.2023)
4. Gorbiyuchuk M., Bila O., Humeniuk T. Modeling the parallelism of empirical models of optimal complexity using a petri net. *Earsten-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/4(99). 2019. Pp. 56 – 68.
5. Системи автоматичного керування технологічними комплексами: навч. посібник / Сільвестров А.М. та ін. К.: КПІ ім. І. Сікорського, 2022. 466 с.
6. Жученко О.А., Хібеба М.Г. Розробка спрощеної математичної моделі процесу формування вуглецевих виробів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2018. № 5. С. 16 – 21.
7. Ревун Н. П., Зінченко В. Ю., Іванов В. І., Мосейко Ю. В. Модель динаміки нагрівника металу в полумєневих печах. *Математичне моделювання*. 2016. №1 (34). С. 32 – 34.
8. Верлань А.Ф., Махович О.І. Підхід до вибору опорних перерізів в інтерполяційному методі редукції моделей об'єктів із розподіленими параметрами *Математичне та комп'ютерне моделювання*. Серія: Технічні науки: зб. наук. пр. Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільськ. нац. ун-т, 2017. Вип. 15. С. 30-36.
9. Huijun Gao, James Lam \* Changhong Wang & Qing. Wang Hankel norm approximation of linear systems with time-varying delay: continuous and discrete cases // *International Journal of Cjntrol*. 2004-Issue 17, Volume 77. P. 1503–1520.
10. Павлюков М.С., Ляшенко І.М., Приймак Б.І. Зменшення порядку моделі електроприводу ланки зварювального маніпулятора URL: <https://epa.kpi.ua/science/publications/spea-2018/https-epa-kpi-ua-page-id-19638/> (дата звернення 09.04.2023).

11. Спрощення моделей установок вищого порядку – Приклад MATLAB & Simulink URL: [www-mathworks-com.translate.goog](http://www-mathworks-com.translate.goog) (дата звернення 09.04.2023).
12. Горбійчук М.І., Лазорів Н.Т. Дискредитація математичних моделей лінійних об'єктів керування. *Journal Věda a perspektivy: kategorie B. Čechia*. № 1 (8) (2022). Pp. 241 – 254.
13. Stephen Boyd, Laurent El Ghaoui, Eric Feron, and Venkatasubramanian Balakrishnan. *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia: Siam, 1994. 205 p.
14. Kuster George E. H-infinity Norm Calculation via a State Space Formulation. URL: [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/49544/Kuster\\_GE\\_T\\_2013.pdf?isAllowed=y&sequence=1](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/49544/Kuster_GE_T_2013.pdf?isAllowed=y&sequence=1) (дата звернення 26.09.2022)

**Gorbiychuk M.I., Lazoriv N.T., Kohutiak M.I., Lazoriv A.M. SYNTHESIS OF THE OPTIMAL PARAMETERS OF THE CROSS-CONNECTION COMPENSATOR OF THE AUTONOMOUS CONTROL SYSTEM**

*Muffle furnaces with two independent power sources, in addition to direct channels of influence of input values on output values, have cross channels of such influence that it significantly complicates the automatic control of the thermal mode of the furnace. One of the methods of compensation of cross-effects is the introduction of a cross-connection compensator into the control circuit.*

*On the basis of experimental studies, the transfer functions of each signal transmission channel were obtained. All four transfer functions have third order. It is shown that the synthesis of the autonomous control system generates a cross-connection compensator, which is characterized by four transfer functions identical in structure, each of which has the sixteenth order. Such a high order of transfer functions significantly complicates their practical implementation on modern microprocessors (controllers). Therefore, the problem arose of simplifying the transmission functions of the compensator without significantly losing the efficiency of its functioning.*

*The analysis of literary sources showed that there are currently a number of methods and ways of simplifying mathematical models of dynamic systems. The shortcoming of the analyzed works is the lack of formalized criteria, which can be used to assess the degree of approximation of the reduced model to its "original". One of the ways to overcome this shortcoming is to use Hankel's method for reducing models that are given in the form of transfer functions. In contrast to frequency characteristics, which characterize the distribution of energy by frequency, Hankel's method makes it possible to determine the distribution of energy by object states, which is graphically displayed in the form of a bar chart. According to the dominant columns on the Hankel diagram, the orders of the transfer functions of the reduced model were determined. It was established that the orders of the transfer functions of the compensator can be reduced from sixteen to three. The accuracy of the reduced model in relation to the "original" was checked by comparing their transient and frequency characteristics, which made it possible to establish their insignificant difference.*

**Key words:** muffle furnace, transfer function, model reduction, Hankel method, accuracy.

**Грیشин М.В.**

Національний університет «Одеська політехніка»

**Беглов К.В.**

Національний університет «Одеська політехніка»

## УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ КРИТИЧНОГО ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІНУ ПАРОВОГО КОТЛА ВУГІЛЬНОЇ ТЕС ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЗОЛЬНОСТІ ВУГІЛЛЯ

*Це дослідження заглиблюється у тему швидкого виходу з експлуатації труб теплообмінників, з якою стикаються теплові електростанції. Основною причиною такого зносу є ерозія металевих поверхні теплообмінника, яка спричинена абразивною складовою зольної домішки присутньої в енергетичному вугіллі, що стимулювало розробку нового рішення – автоматизованої системи управління, заснованої на принципах нечіткої логіки. Ця система призначена для точного регулювання потоків енергетичного вугілля з різним рівнем абразивності, що сприяє ефективному контролю пошкодження.*

*Метою цього дослідження є вчасне виявлення неузгодженості фактичної якості вугілля із заявленою та вчасне застосування керуючого впливу. Ці компоненти включають, але не обмежуються ними, екранні труби топки, пароперегрівачі та економайзери, структурна цілісність яких втрачає свою міцність під безперервним пошкодженням від абразивного матеріалу, що не спалюється. Значний внесок у цю проблему вносить розбіжність між прогнозованим і фактичним часом експлуатації обладнання до планової зупинки на ремонт.*

*З огляду на це, стаття присвячена дослідженню і розробці на автоматизованій системі, яка спрямована на стратегічний контроль зносостійкості поверхні теплообміну, яка є життєво важливою частиною парового котла вугільної електростанції. Мета системи – утримувати рівень абразивних домішок в енергетичному вугіллі в контрольованих межах, тим самим захищаючи роботу електростанції від руйнівних простоїв.*

*Щоб продемонструвати практичну здійсненність системи та підкреслити її потенційні переваги, стаття заглиблюється в ретельно деталізоване тематичне дослідження на прикладах. Це поглиблене дослідження підкріплюється результатами моделювання, які підкреслюють переваги та ефективність впровадження систем нечіткого керування. Ці системи добре зарекомендували себе, особливо в динамічних середовищах, де параметри якості вугілля можуть зазнавати значних коливань.*

*Використовуючи автоматизовану систему управління на основі нечіткої логіки, дослідження виходить на новий рівень розв'язання проблем. Воно є свідченням значного технологічного прогресу, пропонуючи багатонадійне розв'язання давньої проблеми, яка довгий час перешкоджала безперебійній роботі теплових електростанцій.*

**Ключові слова:** автоматизована система керування, нечітке керування, вугільні електростанції, змінна якість вугілля, збагачення палива, зносостійкість теплообмінника.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на глобальний перехід до відновлюваної енергетики, традиційні ТЕС, що працюють переважно на вугіллі, залишаються важливими постачальниками електроенергії. Однією з проблемою, з якою стикаються ТЕС, є управління абразивним впливом спалювання вугілля, що призводить до передчасного зносу і виведення з експлуатації труб теплообмінників.

Зміни у складі вугілля, зокрема, збільшення вмісту абразивних домішок у золі, а також роз-

біжності між заявленим і фактичним вмістом золи загострюють цю проблему. Сучасні підходи до управління, такі як збагачення або змішування палива, вимагають всебічного розуміння переваг, витрат і поточної якості вугілля, що часто створює додаткові проблеми.

На багатьох електростанціях відсутнє обладнання, необхідне для детального аналізу абразивних домішок золи, що ускладнює оцінку зносу поверхонь теплообміну. Крім того, існують проблеми, пов'язані з ранніми зупинками станції

для перевірки обладнання, категоризацією якості вугілля для розподілу потоків, а також міркуваннями щодо резервних запасів для змішування та спалювання вугілля.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій:

В останні роки наукова спільнота виявила значний інтерес до моделювання та управління різними секторами, приділяючи особливу увагу м'яким обчисленням, невизначеності, бібліометрії та нейронним мережам [1]. В енергетичному секторі увагу було привернуто до впливу низько-сортного палива на знос поверхні теплообміну, а також до стратегій прогнозування та автоматизації електростанцій.

Зокрема, методи керування, такі як ППД та нечітке логічне керування, були досліджені на предмет їхньої корисності для керування стабільністю енергосистем [2]. Однак ці методи часто не враховують проблему абразивного зносу поверхонь теплообміну, що може спричинити незаплановані зупинки енергосистеми для проведення ремонтних робіт.

Було проведено дослідження зольності палива, його абразивного впливу на обладнання теплових електростанцій (ТЕС) та ефективності збагачення палива, результати яких свідчать про те, що встановлення обладнання для збагачення вугілля на ТЕС є економічно вигідним заходом у порівнянні з частими ремонтними зупинками [3]. Незважаючи на ці висновки, залишаються проблеми, зокрема, невизначеність якості імпортного енергетичного вугілля та складність вимірювання абразивного пошкодження під час спалювання [4].

У роботі [5] проведені дослідження з управління процесами на основі нечіткої логіки, які висвітлюють три основні переваги використання нечітких пристроїв управління над традиційними регуляторами теорії автоматичного управління: можливість інтеграції регуляторів адаптивного типу заснованих на класичних ППД-регуляторах; створення складних регуляторів для об'єктів керування, які важко піддаються аналітичному опису; швидший перехід між процесами керування.

**Метою статті є** створення автоматизованої системи управління з використанням нечіткої логіки для регулювання потоків енергетичного вугілля на основі абразивності з метою підвищення зносостійкості поверхні теплообміну в паровому котлі. Запропонована система враховує зміну якості вугілля та її вплив на зольність і вміст абразивних домішок та включає наступні задачі: розробка моделі каналу вимірювання абразивності вугілля; створення пристрою керування на основі нечіткої логіки; моделювання роботи

замкненої системи керування у відповідь на зміну абразивності вугілля.

#### 1. Побудова моделі визначення кількості абразивних речовин в енергетичному вугіллі для автоматизованої системи управління

Для того, щоб розробити автоматизовану систему управління, перші кроки включали концептуалізацію каналу вимірювання якості енергетичного вугілля та побудову відповідних імітаційних моделей. Оскільки теплові електростанції часто не мають ресурсів для аналізу кожної партії вугілля, можуть виникати варіації якості палива, що потребує методу визначення зольності. Було запропоновано три підходи:

1) Спостереження за зниженням вихідної потужності при незмінному споживанні вугілля, що вказує на потенційні розбіжності в задокументованому вмісті вуглецю.

2) Відстеження збільшення споживання палива для підтримання потужності енергоблоку, що може свідчити про зменшення вмісту вуглецю.

3) Оцінка маси золи в золовловлювачах ТЕС, що допомагає визначити, чи надходить до золовловлювача надмірна кількість золи, виходячи зі специфікацій обладнання.

Ці методи були детально вивчені в подальших дослідженнях.

**Перший метод.** У (1)  $N$  позначає виробництво електроенергії за ідеальних умов палива, тоді як  $N_{k_{SiO_2}}$  представляє виробництво електроенергії з урахуванням заявленого індексу  $k_{SiO_2}$ , де  $k_{SiO_2}$  означає концентрацію абразивного матеріалу у вугіллі.

$$N_{k_{SiO_2}} = \eta_{ТЕС} * 24 * N_{турб} * N (1 - k_{SiO_2}) \quad (1),$$

Тут  $N_{турб}$  означає потужність турбіни,  $\eta_{ТЕС}$  – коефіцієнт корисної дії теплових електростанцій. Якщо  $N_{факт}$  (фактичне виробництво електроенергії) менше, ніж  $N_{k_{SiO_2}}$ , це означає, що реальна абразивність палива перевищує заявлену. До недоліків цього методу можна віднести його низьку точність, і фактична абразивність матеріалу залишається в значній мірі невідомою, навіть приблизно. Крім того, суттєвою проблемою цього методу є те, що більшість котлоагрегатів обладнані регулятором подачі палива, який унеможливує зниження потужності турбіни.

Враховуючи основну проблему першого методу, **другий метод** намагається встановити, чи перевищує фактична витрата палива ту, яка повинна бути при заявленій абразивності. Цей метод має ті ж обмеження, що і перший. Розрахунок абразивності є приблизним, а визначення фактичної зольності та абразивності палива становить значну проблему.

У світлі цих проблем обидва методи були визнані відносно неефективними, але вони все ще мають певну цінність для перевірки даних.

Отже, **третій метод** був обраний як основний підхід для визначення зольності матеріалу.

В роботі [3] в якості прототипу А було обрано «Запорізьку ТЕС», розташовану в м. Енергодар, Україна. Без лабораторних досліджень розрізнити вміст горючих мінералів та абразивних матеріалів у паливі досить складно. Враховуючи, що горючі мінерали згорають, а абразивні матеріали затримуються у фільтрах і золі, було висунуто гіпотезу, що вміст золи під час згоряння дорівнює рівню абразивності. Це дозволяє уникнути трудомістких лабораторних досліджень незгорілих залишків палива і припустити, що зольність є показником абразивності енергетичного вугілля.

Запорізька ТЕС використовує електрофільтри, які ефективно вловлюють золу на рівні 97–98%, на відміну від застарілих мокрих золоуловлювачів з ефективністю фільтрації близько 50%.

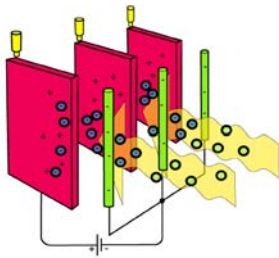


Рис. 1. Ілюстративна схема електрофільтра

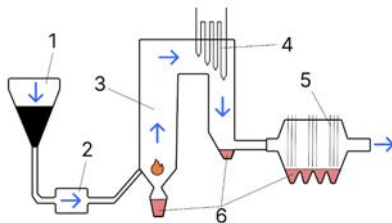


Рис. 2. Динаміка накопичення золи в процесі горіння. (1 – вугільний бункер; 2 – вугільний млин; 3 – топка; 4 – трубки пароперегрівача; 5 – фільтри; 6 – місця накопичення золи в золоуловлювачах: топковий, економайзер та димові фільтри)

Наступним етапом було порівняння фактичної кількості золи, що утворюється під час спалювання, з очікуваною кількістю, виходячи із заявленої якості палива. Кількісне визначення споживання мінеральних домішок у вугільному паливі є складним через нерівномірний розподіл золи після спалювання, яка часто накопичується в певних місцях, чому сприяють золоуловлювачі.

Аналізуючи схеми золоуловлювання ТЕС, зокрема рисунок 2, було визначено, що кількість

золи можна оцінити за трьома типами золоуловлювачів: топковий золоуловлювач, золоуловлювач економайзера та золоуловлювач димового фільтра.

Державна служба статистики України постійно реєструє обсяги викидів парникових газів за формулою, затвердженою Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. Ця формула була використана для розрахунку викидів від звичайного спалювання палива:

$$E_{mCO_2i} = AC_i * LCV_i * EFi * OF_i \quad (2),$$

де  $E_{mCO_2i}$  – викиди  $CO_2$  від спалювання палива  $i$ -го виду, [т  $CO_2$ ];  $AC_i$  – дані про діяльність: кількість спаленого палива  $i$ -го виду, [т або тис.  $m^3$ ].  $LCV_i$  – нижча теплота згоряння палива виду ( $i$ ) [ТДж/т або ТДж/тис.  $m^3$ ].  $EF_i$  – коефіцієнт викидів  $CO_2$  для палива  $i$ -го виду [т  $CO_2$ /ТДж].  $OF_i$  – коефіцієнт окислення для палива виду ( $i$ ). Первинними продуктами згоряння згідно з [6], які заслуговують на найбільшу увагу (перераховані як основні), є  $CH_4$ ,  $N_2O$  та  $CO_2$ . Для ТЕС А були отримані наступні обсяги викидів:  $CO_2$  – 4'519'919,60  $m^3$ ;  $N_2O$  – 411,09  $m^3$ ;  $CH_4$  – 373,10  $m^3$ ; Всього: 4'520'703,79  $m^3$ /год. У разі одночасної роботи щонайменше чотирьох фільтрів потрібні були фільтри з продуктивністю 1'309'880  $m^3$ /год.

До фільтрів, які відповідають цим вимогам, відносяться ЕГВ2-70-12-6-6, ЕГВ2-70-12-6-7, ЕГВ2-70-12-6-8. Для побудови моделі були розглянуті умови 100% уловлювання золи.

Для подальшої розробки моделі було враховано метод золошлаковидалення [7], який зображено на схемі (рис. 3) для дослідження інших місць накопичення золи при спалюванні палива.

На схемі показано процес збору золи під час спалювання. Зола з фільтра та економайзера транспортується до золовідвалу, а незгорілий матеріал вимірюється за допомогою конвеєрних ваг. Зола, яка залишається в топці, є проблемою.

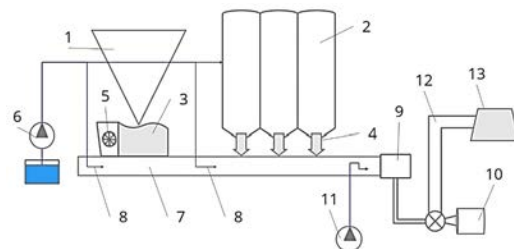


Рис. 3. Схема процесу золошлаковидалення (1 – топка; 2 – золоуловлювальні бункери; 3 – жолоб зі скребковим конвеєром для видалення золи; 4 – механізм промивання золоуловлювача; 5 – шлакоподрібнювач; 6 – промивний насос; 7 – золовідвід; 8 – сопло шлюзу; 9 – ємність для пульпи; 10 – бункерний насос; 11 – дренажний насос; 12 – пульпопровід; 13 – золовідвал)

Зола з колекторів змішується з пічною золою, утворюючи шлам, який транспортується на золовідвал. Вимірюючи потік шламу і віднімаючи технологічну рідину, можна виявити розбіжності між фактичним і заявленим вмістом золи. Для вирішення проблеми абразивного пошкодження, спричиненого накопиченням летючої золи в колекторах, було запропоновано витратомір у трубах колектора.

Беручи до уваги затримку транспортування і щільність технологічної рідини, можна розрахувати фактичну зольність і її вплив на зносостійкість котельного обладнання. Таке рішення для визначення абразивності палива потребує мінімального додаткового обладнання. Наступним кроком є створення схеми контролю витрат абразивного матеріалу.

2. Створення механізму управління з використанням нечіткої логіки для управління зносостійкістю поверхні теплообміну шляхом моніторингу якості вугілля та спрямування потоків вугілля.

Пропонується наступна схема регулювання основних потоків ТЕС, де  $M_{C,A}$  та  $M_{C_n}, A_n$  – потоки абразивного матеріалу (рис. 4).

За допомогою інтерактивного інструменту MATLAB®, Simulink® (LICENSING 110721904 – MathWorks Trial – 22 Oct 2022) було виконано імітаційне моделювання (рис. 5).

На схемі використовуються наступні позначення: «Concentrator» – система збагачення палива, «Grand Controller» – система керування, що складається з локальних регуляторів, і система прийняття рішень для розподілу потоку вугілля.

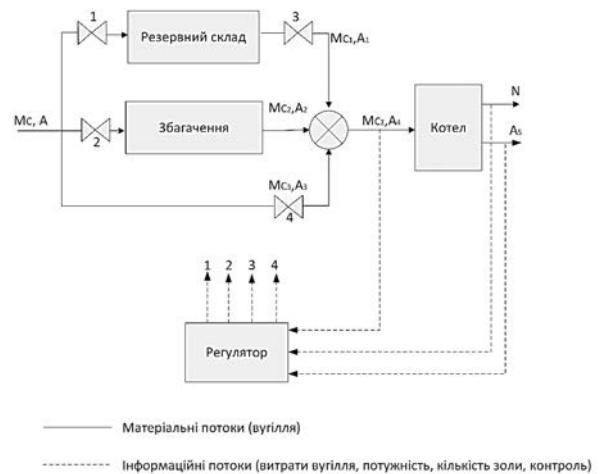


Рис. 4. Схема регулювання

Для регулювання навантаження енергоблоку підходить стандартний ПІД-регулятор [8]. Основна увага в даному дослідженні приділяється створенню керуючого впливу для підтримки заданих характеристик абразивності вугілля, що подається на спалювання.

В роботі [4] розглянуто питання розрахунку швидкостей абразивного руйнування трубної частини котлоагрегату при спалюванні палива. Наведена формула (3) має наступний вигляд:

$$T = \frac{(\delta_{ст} - \delta_{ост})}{(3,6 \cdot \delta_{пит.л} \cdot G_M)} \quad (3),$$

де  $T$  – можливий час роботи обладнання при поточному рівні абразивності;  $\delta_{ст}$  – товщина стінки трубопроводу в мм;  $\delta_{ост}$  – стандартна мінімальна тов-

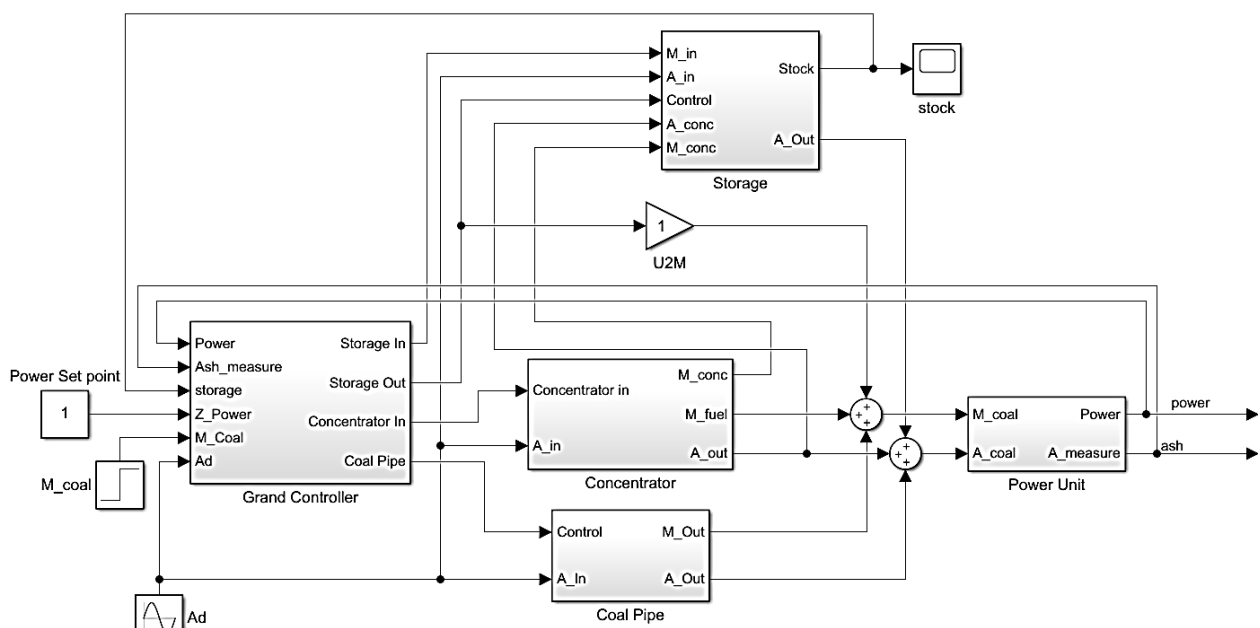


Рис. 5. Імітаційна модель регуляторної системи

Таблиця 1

**Класи вугілля та керуючі впливи**

$n_{SiO_2}$	клас палива	від, років	до, років	керуючий вплив
0-5%	Ideal	-	17,75	Передати на резервний склад.
5-9%	Good	17,69	9,43	Використовувати для спалювання.
9-16%	Normal	9,42	4,89	Частково збагатити або змішати з резервом.
16-30%	Unsatisfied	4,89	2,17	Збагатити, або збагатити і змішати з резервом.
30+%	Bad	2,17	-	Змішати з резервом, або використовувати тільки резерв.

Таблиця 2

**Програмування правил розподілу потоків для керуючого пристрою**

1. If (Ads is ideal (0-5)) and (store is full) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
2. If (Ads is ideal (0-5)) and (store is norm) then (store is normal)(burning is normal)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
3. If (Ads is ideal (0-5)) and (store is empty) then (store is large)(burning is normal)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
4. If (Ads is good(5-9)) and (store is full) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
5. If (Ads is good(5-9)) and (store is norm) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
6. If (Ads is good(5-9)) and (store is empty) then (store is normal)(burning is normal)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
7. If (Ads is norm(9-16)) and (store is full) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
8. If (Ads is norm(9-16)) and (store is norm) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve\_out is small) (1).
9. If (Ads is norm(9-16)) and (store is empty) then (store is small)(burning is large)(concentrator is normal)(reserve\_out is small) (1).
10. If (Ads is unsatisf(16-30)) then (store is small)(burning is normal)(concentrator is normal)(reserve\_out is normal) (1).
11. If (Ads is bad(30-40)) then (store is small)(burning is small)(concentrator is normal)(reserve\_out is large) (1).

щина стінки трубопроводу в мм;  $\delta_{шт.н}$  – питомий лінійний абразивний знос трубопроводу, в мм на тонну абразивного матеріалу в потоці спалюваного матеріалу;  $G_M$  – масова витрата матеріалу.

У таблиці 1 порівнюється тривалість експлуатації при різних рівнях абразивності вугілля. На основі показників часу роботи ми було умовно класифіковано вугілля і сформульованні керуючі впливи на нього, такі як: рішення про спалювання, збагачення, відмову від спалювання і так далі.

Враховуючи те, що граничні значення класу розглядаються як нечіткі множини, було вирішено, що системи, засновані на нечіткій логіці, будуть найбільш придатними. Було побудовано пристрій нечіткого керування.

За вхідні потоки даних для нечіткого регулятора візьмемо зольність палива ( $A_d$ ) і ємність резервного складу, а керуючим впливом – розподіл потоку палива за відповідними фракціями за

напрямами: на поповнення резервного складу, на пряме спалювання (burning), на збагачення (concentrator), на повну відмову від поточного вугілля і використання резерву (reserve\_out).

Умова задачі на рис. 6.1 відповідає класам вугілля з таблиці 1 і впливатиме на вибір паливної дії, а на рис. 6.2 впливатиме на поповнення та використання резерву ТЕС. А правила розподілу потоків були запрограмовані наступним чином:

Таким чином, схема системи управління (Grand Controller) зображена на рис. 8:

3. Симуляція роботи регулятора при різних характеристиках абразивності вугілля.

Сконструйований регулятор працює шляхом фракційного розподілу напрямків потоку енергетичного вугілля. Необхідно було перевірити роботу регулятора при різних рівнях вмісту абразивного матеріалу в паливі. Моделювання системи показало:

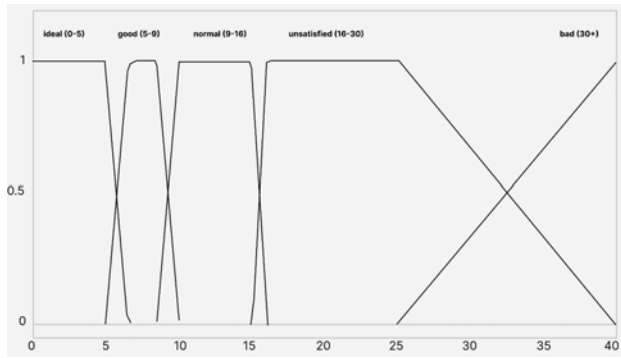


Рис. 6.1. Фазифікація змінних Ad

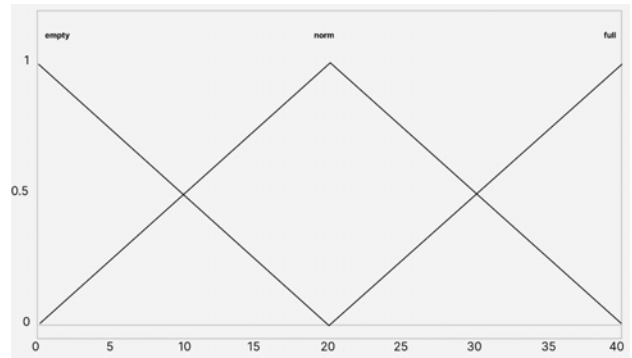


Рис. 6.2. Фазифікація змінних Ad

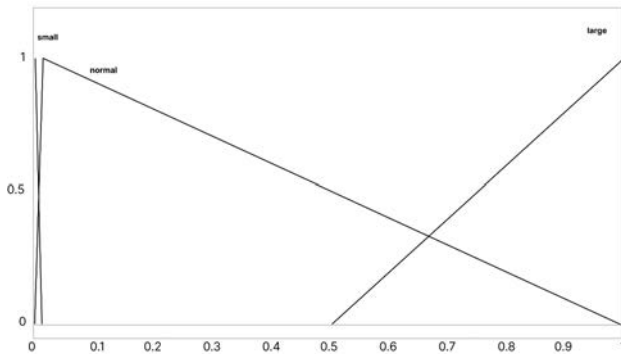


Рис. 7.1. Дефазифікація керуючих впливів

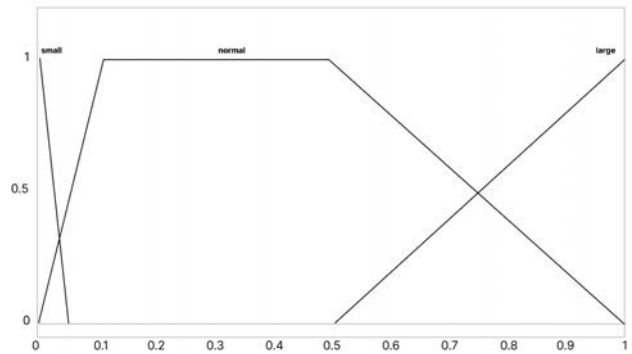


Рис. 7.2. Дефазифікація керуючих впливів

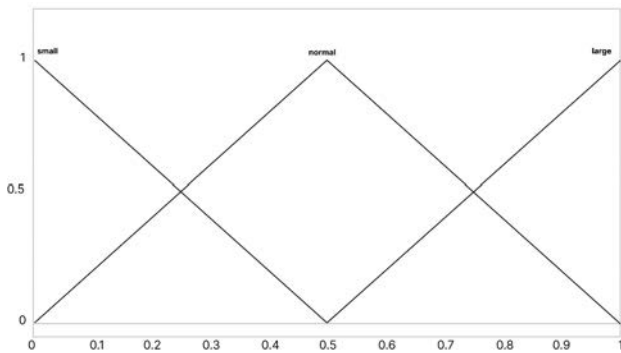


Рис. 7.3. Дефазифікація керуючих впливів

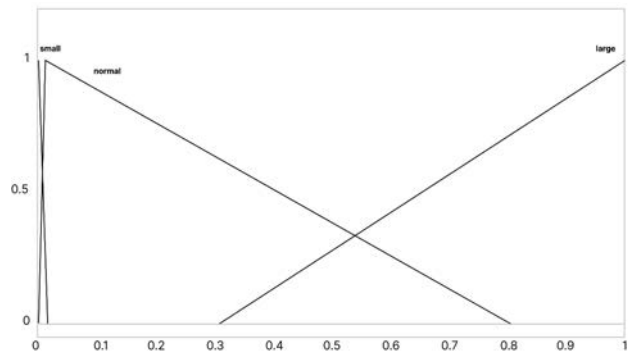


Рис. 7.4. Дефазифікація керуючих впливів

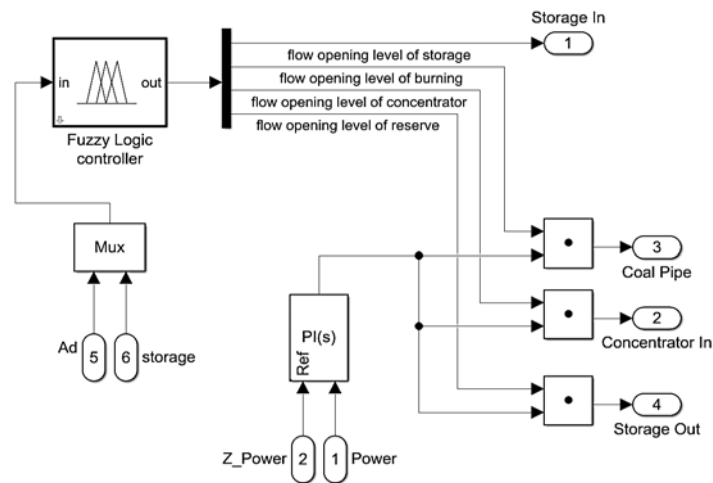


Рис. 8. Схема блоку управління (Grand Controller)



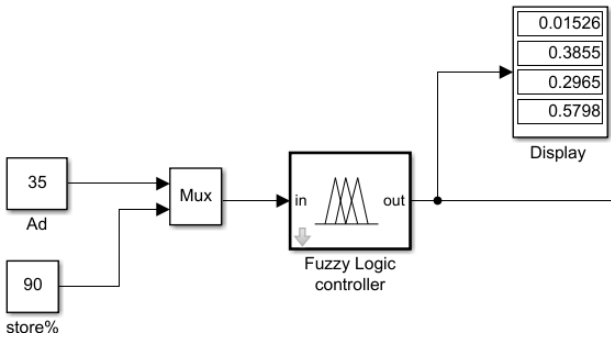


Рис. 9.1. Схема для перевірки результатів управління потоком вугілля при постійній абразивності 35% для 100-часових одиниць

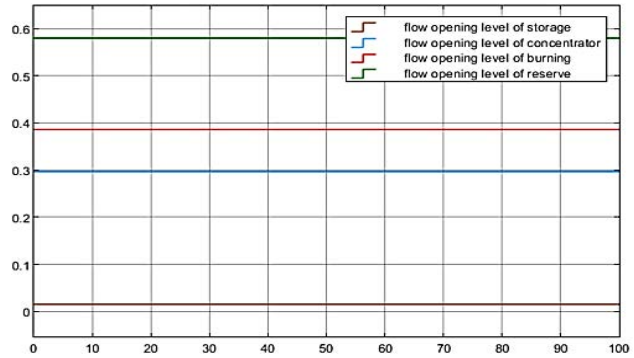


Рис. 9.2. Графік результатів для 9.1

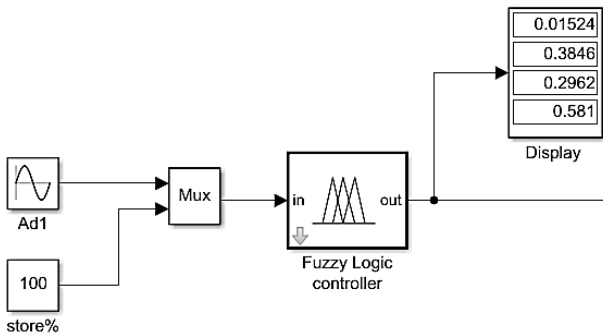


Рис. 10.1. Схема для перевірки результатів управління потоком вугілля, коли показник абразивності неухильно зростає для 100-кратних одиниць

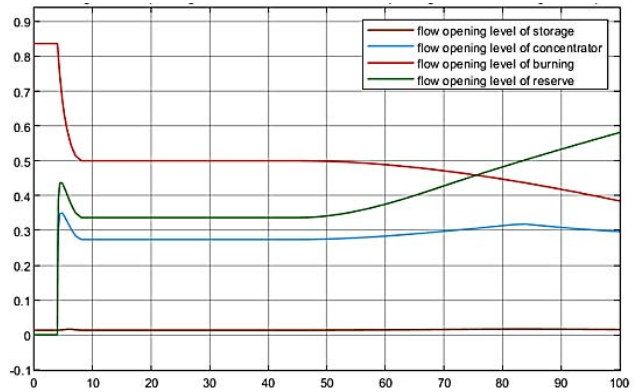


Рис. 10.2. Графік результатів для 10.1

- для «ideal» вугілля, коли резервний запас не заповнений, воно розподіляється майже рівномірно між топкою і резервним запасом, в першу чергу тому, що вимоги до спалювання з високим вмістом вуглецю і практично нульовим вмістом абразиву нижчі, ніж у інших класів енергетичного вугілля;

- для «good» вугілля, при майже повному або майже порожньому складі, воно розподіляється між топкою і складом для поповнення запасу у відповідних пропорціях, залежно від потреби в запасі;

- у випадках, коли абразивність знаходиться між «normal» і «unsatisfied», вугілля розподіляється між потоком печі і потоком збагачення, і частково змішується з резервним вугіллям;

- коли абразивність знаходиться між «unsatisfied» і «bad», вугілля направляється на збагачення і змішується з резервним вугіллям.

Сценарій з постійним значенням  $A_d=35\%$  (рисунок 9.1 та рисунок 9.2) показує, що більша частина потоку вугільного палива в топку буде надходити з резерву, в той час як доставлене вугілля буде розподілятися між топкою і збагаченням.

Було розглянуто випадок, коли  $A_d$  постійно коливається. Вона безперервно зростає від 14% до

35% протягом 100 часових одиниць (рисунок 10.1 та 10.2).

Результати представлені на рисунку 10.2 наступним чином:

- При початковому  $A_d=14\%$  (час роботи системи  $t_0=0c$ ) майже весь потік палива спрямовується на спалювання.

- При часі роботи системи  $t_1=50c$ ,  $A_d$  змінюється до 24%. В результаті керуючим впливом буде наступний розподіл паливного потоку – половина енергетичного вугілля направляється на спалювання, змішуючись з резервним паливом, а решта – на збагачення.

- В кінці експерименту ( $t_2=100$ ) при  $A_d=35\%$  найбільшу частку спалюваного палива становитиме енергетичне вугілля з резерву. При цьому вугілля від постачальника буде частково спалюватися, а частково направлятися на збагачення.

Дані показують, що при послідовному збільшенні вмісту абразивного матеріалу в енергетичному вугіллі потік споживання резервного палива збільшується, а потік споживання зольного палива, що постачається, зменшується. Це може сприяти мінімізації швидкості ерозії поверхні теплообмінника від потоку абразивного матеріалу

під час спалювання. Отже, варто підсумувати, що запропонований регулятор успішно вирішив поставлене завдання.

**Висновок.** У цьому дослідженні представлено автоматизовану систему збереження довговічності поверхні теплообмінника в паровому котлі вугільної ТЕС. Це досягається за рахунок управління на основі нечіткої логіки, що розділяє потоки енергетичного вугілля на основі їх рівня абразивності. Проведено порівняльний аналіз запропонованого механізму та змодельованого каналу вимірювання вмісту абразивності у енергетичному вугіллі. Далі була комп'ютерна модель для врахування змін якості палива під

час спалювання, яка була інтегрована в пристрій керування на основі нечіткої логіки. За допомогою симуляції управління установкою ефективність керуючого пристрою була перевірена на прикладах різних показників абразивності. Система показала ефективність у моделюванні, дозволяючи забезпечити необхідне спалювання вугілля, зменшуючи при цьому негативний вплив на зносостійкість теплообмінника. Подальші дослідження мають бути зосереджені на управлінні прийому вантажу та виборі постачальника з урахуванням транспортних затримок при постачанні енергетичного вугілля в умовах різної якості палива.

#### Список літератури:

1. Lotfi A. Zadeh. Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. Commun. ACM. 1994. Vol. 37, № 3. P. 77–84. DOI: 10.1145/175247.175255.
2. Min Zhao, Jin Wan, Chen Peng, Generalized predictive control using improved recurrent fuzzy neural network for a boiler-turbine unit, Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 121. P. 83-92. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106053.
3. Грішин М.В., Беглов К.В.. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ ПАЛИВА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ВИТРАТ ТЕС, Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том. 32 (71). № 3, С. 82-89. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.3/14.
4. Motamen Salehi, F., Khaemba, D.N., Morina, A. Corrosive–Abrasive Wear Induced by Soot in Boundary Lubrication Regime. Tribol Lett. 2016. Vol. 63. № 19. P. 1-11. DOI: 10.1007/s11249-016-0704-9.
5. M. Unde, K. Deokar, M. Hans, S. Kawthe. Closed-Loop Design of Fuzzy Logic Controller in Solar Power Generation. Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). 2020. P. 215-219. DOI: 10.1109/ICISC47916.2020.9171191.
6. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Kameneva I., Radchenko O., Nikolaiev K., Stanytsina V., Iatsyshyn A., Romanenko Ye.. Effect of Power Plant Ash and Slag Disposal on the Environment and Population Health in Ukraine. Journal of Health and Pollution. 2021. P. 1-10. DOI: 10.5696/2156-9614-11.31.210910.
7. S. Saputro, L. Mahardiani, M. Masykuri, S. Yamtinah, C. Cinthia. Modification of coal fly ash waste by using core-shell method for Cu<sup>2+</sup> adsorbent material. Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2190. P. 1-10. DOI: 10.1088/1742-6596/2190/1/012002.
8. Wang, Liuping. PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink. 2020. P. 113-138. DOI: 10.1002/9781119469414.

#### **Grishyn M.V., Beglov K.V. ADVANCEMENT OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM TO REDUCE THE RISK OF CRITICAL DAMAGE TO THE HEAT EXCHANGE SURFACE OF A STEAM BOILER**

*This study delves into the issue of rapid heat exchanger tube deterioration faced by thermal power plants. The main reason for this wear is the erosion of the metal surface of the heat exchanger, which is caused by the abrasive component of the ash impurities present in steam coal, which stimulated the development of a new solution – an automated control system based on the principles of fuzzy logic. This system is designed to precisely regulate steam coal flows with different levels of abrasiveness, which contributes to effective damage control.*

*The aim of this study is to detect in time the discrepancy between the actual coal quality and the declared one and to apply controlling influence in time. These components include, but are not limited to, furnace screen tubes, superheaters, and economizers, whose structural integrity loses its strength under continuous damage from unburned abrasive material. A significant contribution to this problem is made by the discrepancy between the predicted and actual operating time of the equipment before the scheduled shutdown for repair.*

*In view of this, the article is devoted to the research and development of an automated system aimed at strategic control of the wear resistance of the heat transfer surface, which is a vital part of the steam boiler of a coal-fired power plant. The goal of the system is to keep the level of abrasive impurities in steam coal within controlled limits, thereby protecting the power plant from damaging downtime.*

*To demonstrate the feasibility of the system and highlight its potential benefits, the article delves into a carefully detailed case study using examples. This in-depth study is supported by modeling results that emphasize the benefits and effectiveness of implementing fuzzy control systems. These systems have proven to be very effective, especially in dynamic environments where coal quality parameters can be subject to significant fluctuations.*

*By using an automated control system based on fuzzy logic, the study takes problem solving to a new level. It is a testament to significant technological progress, offering a multi-faceted solution to a long-standing problem that has long hindered the smooth operation of thermal power plants.*

**Key words:** automated control system, fuzzy control, coal-fired power plants, varying coal quality, fuel enrichment, heat exchanger wear resistance.

УДК 004.53

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/19>

**Дичка І.А.**

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

**Терейковський І.А.**

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

**Дідус А.В.**

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

**Терейковська Л.О.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Бояринова Ю.Є.**

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

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ КЛЮЧОВИХ СЛІВ У ГОЛОСОВОМУ СИГНАЛІ

*У статті проаналізовано ефективність процесу розпізнавання ключових слів у голосовому сигналі з метою підвищення ефективності та точності в рамках обмежених обчислювальних ресурсів. Розглянуто різні моделі розпізнавання ключових слів у голосових сигналах як з використанням класичних підходів, так і з використанням сучасніших, також сформовано основні критерії ефективності. Такі критерії включають в себе такі характеристики, як обмеження розміру словника, застосування складних обчислень, можливість обробки даних у реальному часі, стійкість до шуму та мовних варіацій, придатність для пристроїв з низьким ресурсом, високу точність і обробку довгих послідовностей. Проведено оцінювання цих критеріїв ефективності для порівняння засобів на базі різних підходів.*

*Встановлено, що приховані моделі Маркова показують хороші результати для фонових процесів в комп'ютерних системах з низьким ресурсом, тоді як згорткові та рекурентні нейронні мережі мають переваги при використанні більших обчислювальних ресурсів.*

*Сформовані характеристики дозволяють оцінити різні методи виявлення ключових слів у голосових сигналах і вказують на їх обмеження. Базуючись на отриманих даних, пропонується проводити подальші дослідження у сфері розпізнавання ключових слів в напрямку відповідності системам з обмеженими обчислювальними ресурсами, наприклад, враховуючи досвід засобів, які створені на базі прихованих моделей Маркова.*

*Окрім цього, стаття розглядає методи та підходи до розпізнавання ключових слів у голосових сигналах в комп'ютерних системах на базі мікроконтролерів, які мають обмежені характеристики в порівнянні з повноцінними комп'ютерними системами.*

*Проаналізовано використання нейронних мереж із затримкою часу, оптимізовану архітектуру нейронних мереж на мікроконтролерах, методи глибокого навчання та системи рекурентних нейронних мереж. Наявні дослідження сприяють розробці більш точних і ефективних методів виявлення ключових слів, що допомагає поліпшити системи розпізнавання та зробити їх підходящими для тих чи інших задач.*

**Ключові слова:** розпізнавання ключових слів, голосовий сигнал, нейромережеві методи, приховані Марківські моделі, згорткові нейронні мережі, рекурентні нейронні мережі.

**Постановка проблеми.** У сучасному все більш цифровому світі йде постійний процес покращення взаємодії користувача з комп'ютером. Одним із найбільш перспективних напрямків

покращення такої взаємодії є застосування засобів аналізу голосового потоку. Від голосових помічників, таких як Alexa від Amazon, до автоматизованих систем обслуговування клієнтів,

здатність точно розшифрувати та відповідати на голосові команди чи запити стає все більш важливою. Основна складова даних систем є відомою як визначення ключових слів (KWS). Це область досліджень, яка охоплює області розпізнавання мови, штучного інтелекту та обчислювальної математики. Визначення ключових слів у голосових сигналах – це важлива сфера, яка вимагає високої точності і швидкості, що пов'язано з широким застосуванням даної технології у різних сферах життя. Однак, розпізнавання ключових слів часто накладає значні обмеження на обчислювальні ресурси. Адже розпізнавання ключових слів часто виконується як фоновий процес, що може реалізовуватись паралельно з іншими складними задачами, такими як аналіз даних або виконання інших алгоритмів обробки сигналів. Крім того, застосування моделей та методів розпізнавання ключових слів ставить виклик: як оптимізувати процес розпізнавання ключових слів, щоб він був ефективним і достатньо точним, відповідно до поставлених вимог, у застосуванні з обмеженими ресурсами? Цим обумовлюється актуальність науково-прикладної задачі розробки ефективних засобів розпізнавання ключових слів, адаптованих до застосування на малоресурсних комп'ютерних системах [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виявлення ключових слів у контексті аудіосигналів – це процес ідентифікації конкретних «ключових слів» або фраз у розмовній мові. Ці ключові слова попередньо визначені на основі вимог програми, і система KWS навчена розпізнавати їх серед безлічі варіацій, присутніх у людській мові. Складність завдання виникає через мінливість мовлення, акцентів і вимови, а також потенційну присутність фонового шуму та інших особливостей мовлення [1, 2].

Основними складовими визначення ключових слів є «ключові слова» та «словники». Ключові слова – це слова або фрази, які система навчена ідентифікувати. Фактично, це тригер, на який має відреагувати дана технологія у безперервному потоці вхідного аудіо. Словники ж є комплексними базами даних, які містять фонетичні представлення цих ключових слів. Ці словники можуть бути різними за розмірами, включати різні акценти, мови та навіть нюанси у вимові, що дозволяє системі розпізнавати потрібні ключові слова незалежно від людини, яка говорить чи контексту [1].

Основна роль словників у виявленні ключових слів полягає у наданні фонетичних або текстових

представлень ключових слів, полегшуючи їх ідентифікацію в мові чи тексті. Для виявлення ключових слів використовуються різні типи словників, конкретне застосування яких залежить від вимог поставленого завдання.

1. Словники вимови. Це найпоширеніший тип словників, які використовуються для розпізнавання мовлення. Вони містять фонетичну транскрипцію слів або фраз, забезпечуючи відображення між написаним текстом і його вимовою. Словники вимови є важливими для таких завдань, як виявлення ключових слів у звукових сигналах, коли система має розуміти різні способи вимови слова.

2. Словники мовних моделей. Ці словники містять не лише фонетичні транскрипції, але й інформацію про ймовірність появи слів або фраз разом у послідовності. Їх часто використовують у поєднанні зі словниками вимови, щоб підвищити точність розпізнавання ключових слів.

3. Доменно-спеціалізовані словники. Ці словники розроблено для певних галузей або напрямків, наприклад, медицина, інженерія. Вони містять жаргон, акроніми та галузеву термінологію, яка зазвичай не зустрічається в загальному словнику.

4. Словники з наголосом. Це спеціалізовані словники, які враховують варіації у вимові через різні наголоси. Ці словники дозволяють точніше виявляти ключові слова в голосових даних, де є різні акценти.

5. Шумово-адаптивні словники. Це розширені типи словників, які можуть адаптуватися до різних умов шуму. Вони корисні в реальних програмах визначення ключових слів, де мовні дані можуть бути пошкоджені різними видами фонового шуму.

6. Багатомовні словники. Ці словники містять фонетичну транскрипцію слів або фраз кількома мовами. Вони особливо корисні для визначення ключових слів у багатомовних середовищах.

Кожен із цих типів словників відіграє вирішальну роль у пристосуванні процесу визначення ключових слів до конкретних вимог завдання, підвищуючи загальну точність і ефективність системи [1].

Технології розпізнавання ключових слів в аудіосигналах базуються на різноманітних математичних моделях та методах. Приховані марковські моделі (HMM), методи динамічного програмування, а віднедавна передові архітектури глибокого навчання, такі як згорткові нейронні мережі (CNN) і рекурентні нейронні мережі (RNN), утворюють обчислювальну основу KWS. Ці моделі дозволяють перетворювати, та структурувати

для подальшого аналізу необроблені неструктуровані аудіодані.

Приховані моделі Маркова (НММ) відіграли ключову роль у виявленні ключових слів, фіксуючи ймовірності різних фонетичних станів і переходів, віддзеркалюючи природний розвиток мовлення. Їх статистичний характер дозволяє ефективно моделювати послідовні характеристики мовлення.

Динамічне програмування доповнює НММ, визначаючи найбільш імовірну послідовність фонетичних станів, що веде до спостережуваних моделей мовлення. Ця синергія забезпечує ефективне виявлення ключових слів у безперервних голосових сигналах.

Розробки [3, 4, 5, 6] останніх років в області нейронних мереж, зокрема згорткових нейронних мереж (CNN) і рекурентних нейронних мереж (RNN), значно вдосконалили визначення ключових слів. CNN чудово ідентифікують чіткі фонетичні шаблони, тоді як RNN, особливо їх варіант довгострокової короткочасної пам'яті (LSTM), вміло обробляють послідовні дані, інкапсулюючи часові залежності в мові.

Загалом НММ та методи динамічного програмування забезпечують міцну основу для виявлення ключових слів, але останні досягнення в області нейронних мереж часто можуть давати ще більшу точність, проте часто втрачає у швидкодії та кількості використаних обчислювальних ресурсів. Постійний розвиток у даній сфері дає змогу покращувати здатність виявляти ключові слова в аудіосигналах, підвищуючи характеристики даної технології.

Однак в проаналізованій літературі не знайдено обґрунтованого переліку критеріїв оцінки ефективності засобів розпізнавання ключових слів в голосовому сигналі користувачів комп'ютерних систем, що не значно звужує можливості визначення перспективних шляхів вдосконалення означених засобів.

**Мета статті** формування переліку критеріїв ефективності комп'ютерних засобів розпізнавання ключових слів в голосовому сигналі користувача комп'ютерної системи.

**Виклад основного матеріалу.** Формування переліку критеріїв ефективності комп'ютерних засобів розпізнавання ключових слів в голосовому сигналі користувача комп'ютерної системи, базувалось на запропонованому в [2] підході, що передбачає співвіднесення таких критеріїв з вимогами до засобів розпізнавання, визначених за результатами аналізу науково-прикладних робіт в області розпізнавання ключових слів.

Стаття [3] представляє метод для виявлення ключових слів за допомогою нейронної мережі з часовою затримкою (TDNN). Ваги мережі ініціалізуються через передавання навчання зі схожого завдання розпізнавання мови з великим словником (LVCSR). Запропонована архітектура TDNN перевершує базову модель `snp-one-fstride4`, досягаючи значно нижчого рівня помилкового відхилення на реалістичних даних, зменшуючи обчислювальну складність на 50%. Дослідження також показує, що застосування пропуску кадрів може значно зменшити кількість множень без істотного впливу на точність, що робить систему підходящою для пристроїв з низьким споживанням енергії в режимі безперервного слухання.

Задекларовано, що підхід до розпізнавання ключових слів на базі TDNN має ряд переваг:

1. TDNN дозволяє ефективно обробляти послідовність даних і враховувати темпоральні залежності в аудіосигналах, що підвищує точність розпізнавання ключових слів.

2. Ініціалізація ваг мережі через передавання навчання зі схожого завдання LVCSR сприяє кращому загальному представленню ознак і пришвидшенню процесу навчання.

3. TDNN показує високу адаптивність до різних даних та завдань, забезпечуючи зниження помилкового відхилення та покращення точності розпізнавання.

4. Застосування пропуску кадрів дозволяє зменшити кількість множень без істотного впливу на точність, що робить систему підходящою для пристроїв з низьким споживанням енергії в режимі безперервного слухання.

5. TDNN може масштабуватися для різних розмірів наборів даних, кількості ключових слів та рівня складності завдань, завдяки своїй гнучкості та архітектурі.

6. TDNN може бути легко інтегрована з іншими методами глибокого навчання, такими як механізми уваги та трансформери, щоб отримати ще кращі результати в розпізнаванні мови та виявленні ключових слів.

У дослідженні [4] розглядаються проблеми оптимізації архітектур нейронних мереж для систем розпізнавання KWS, які можуть бути реалізовані на мікроконтролерах. Автори зосереджуються на підборі оптимальних параметрів мережі для забезпечення високої точності розпізнавання при обмежених обчислювальних ресурсах. Експерименти були проведені на наборі даних Google Speech Commands, призначених для побудови нейронних мереж, які мають класифікувати аудіо-

одані за категоріями, що відповідають одному з 10 ключових слів. Результати наведених досліджень показують, що глибокі роздільні згорткові нейронні мережі (DS-CNN) можуть забезпечити високу точність розпізнавання та ефективно використання обчислювальних ресурсів на мікроконтролерах. Вони також вимагають менше обчислювальних ресурсів та пам'яті в порівнянні з традиційними повнозв'язними згортковими мережами. Завдяки цьому, DS-CNN виявляються добре підходящими для застосування в системах KWS на пристроях з обмеженими ресурсами, такими як пристрої Інтернету речей. Крім DS-CNN розглянуто рекурентні нейронні мережі (RNN). Кожна з архітектур має свої переваги та недоліки:

1. Глибокі роздільні згорткові нейронні мережі (DS-CNN):

Переваги:

- Висока точність розпізнавання ключових слів.
- Ефективне використання обчислювальних ресурсів завдяки роздільним згорткам, що зменшують кількість параметрів моделі.
- Менш чутливі до змін у вхідних даних, що може поліпшити роботу на різних типах звукових сигналів.

Недоліки:

- Можуть мати складнішу архітектуру порівняно з RNN.
- Можуть вимагати більше часу на навчання та налаштування гіперпараметрів для досягнення оптимальної точності.

2. Рекурентні нейронні мережі (RNN):

Переваги:

- Здатні виявляти та використовувати властивості послідовності у вхідних даних, що може поліпшити розпізнавання ключових слів у звукових сигналах.
- Можуть мати менш складну архітектуру порівняно з DS-CNN, що сприяє меншому використанню обчислювальних ресурсів.

Недоліки:

- Точність розпізнавання ключових слів може бути нижчою порівняно з DS-CNN.
- Більш складні для оптимізації, що може призвести до проблем з обмеженими ресурсами мікроконтролерів.
- Можуть страждати від проблеми зникаючого градієнта, що ускладнює навчання моделі та досягнення оптимальної точності.

Враховуючи ці характеристики, дослідження підтверджує, що обидві архітектури мають свої сильні та слабкі сторони. Вибір оптимальної архітектури залежить від конкретних потреб та

обмежень, які ставляться перед моделлю розпізнавання ключових слів. Важливо враховувати фактори, такі як ресурси мікроконтролерів, точність розпізнавання та час навчання.

Ідеально, для досягнення найкращих результатів, рекомендується проводити експерименти з різними архітектурами та параметрами, щоб знайти оптимальне рішення для конкретної задачі. Застосування методів оптимізації, таких як прунінг та квантизація, може допомогти в подоланні обмежень ресурсів та покращити ефективність моделі без значного впливу на точність.

Дослідження підтверджує, що оптимізація архітектур нейронних мереж для систем розпізнавання ключових слів на мікроконтролерах є можливою та ефективною. Глибокі роздільні згорткові нейронні мережі (DS-CNN) виявилися підходящими для цієї задачі, забезпечуючи високу точність розпізнавання та ефективно використання обчислювальних ресурсів. Результати також вказують на можливість впровадження систем KWS на пристроях з обмеженими ресурсами, такими як пристрої Інтернету речей (IoT).

Слід враховувати, що моделі, оптимізовані для мікроконтролерів, можуть мати меншу точність, ніж більш потужні серверні моделі, а також можуть стикатися з технічними обмеженнями, такими як обмежена обчислювальна потужність та обсяг пам'яті.

Також була взята до уваги стаття [5], в якій представлено новий підхід до глибокого навчання для розпізнавання ключових слів (KWS – Keyword Spotting) з невизначеним словником, заснований на класифікації з темпоральним зв'язуванням (CTC – Connectionist Temporal Classification) з довготривалою короткотривалою пам'яттю (LSTM – Long Short-Term Memory). Запропонований метод навчає LSTM відрізняти фонему, використовуючи критерій CTC, та генерує решітку фонем, використовуючи інформацію про довготривалу залежність. Потім застосовується швидкий алгоритм пошуку підрядків, заснований на мінімальній редагуювальній відстані, для пошуку послідовності фонем ключового слова на решітці фонем. Підхід високоефективний і не залежить від словника.

Експериментальні результати на наборі даних WSJ0 показують, що запропонована система LSTM-CTC значно переважає традиційні підходи, засновані на прихованих марківських моделях (HMM – Hidden Markov Models), а також є більш ефективною, ніж базовий KWS, заснований на DNN-HMM (глибокі нейронні мережі – приховані марківські моделі). У майбутніх дослідженнях буде

розглянуто інтеграцію підходу LSTM-CTC з моделями Keyword-Filler для подальшого покращення роботи системи розпізнавання ключових слів.

Переваги запропонованого підходу до розпізнавання ключових слів (KWS) з використанням LSTM-CTC включають високу ефективність, незалежність від словника та можливість виявлення ключових слів на основі фонем. Також метод виявився більш успішним, ніж традиційні підходи, засновані на прихованих марківських моделях (HMM), і ефективніше, ніж базовий KWS, заснований на DNN-HMM. Однак, як і з будь-якою технікою, існують деякі недоліки. Зокрема, LSTM-CTC може вимагати значних обчислювальних ресурсів для навчання моделі, що може ускладнити швидке оновлення системи для додавання нових ключових слів. Крім того, інтеграція з моделями Keyword-Filler ще не була досліджена, тому можливий потенціал для подальшого покращення системи KWS залишається невідомим.

Також було розглянуто статтю [6], де автори розробляють системи розпізнавання ключових слів (KWS) на основі послідовності-допослідовності, використовуючи модель трансдукера рекурентної нейронної мережі (RNN-T). Ця модель дозволяє одночасно навчати акустичні та компоненти мовної моделі. У статті пропонується новий підхід до налаштування системи RNN-T для виявлення конкретного ключового слова за допомогою механізму уваги.

Експерименти показали, що система RNN-T, навчена з фонемними цілями, значно переважає над сильною базовою системою на основі CTC (класифікація за часовими зв'язками) з моделлю фонемного n-граму. Застосування запропонованої методики упередження дає додаткові вигоди порівняно з базовою моделлю RNN-T.

Автори використали рекурентну нейронну мережу для розробки ефективних систем розпізнавання ключових слів, які працюють в режимі потокової передачі. Вони довели, що модель RNN-T може значно покращити точність виявлення ключових слів порівняно з традиційними методами.

Переваги системи RNN-T для розпізнавання ключових слів:

1. Здатність одночасно навчати акустичні та мовні моделі, що спрощує архітектуру системи.
2. Використання механізму уваги для налаштування системи на конкретне ключове слово, що покращує точність виявлення ключових слів.
3. Вища точність порівняно з традиційними методами на основі CTC та HMM.

4. Здатність працювати в режимі потокової передачі.

Недоліки системи RNN-T для розпізнавання ключових слів:

1. Можливі проблеми з варіантами написання деяких ключових слів, що можуть призвести до погіршення точності моделі.
2. Необхідність додаткової роботи над впровадженням та оптимізацією алгоритмів для підвищення ефективності.
3. Складність для підтримки різних мов, які мають різні фонетичні та орфографічні властивості.
4. Більш високі обчислювальні вимоги для роботи з рекурентними нейронними мережами порівняно з деякими традиційними методами.

Проведений огляд моделей, методів та підходів до реалізації технології розпізнавання ключових слів дав змогу сформулювати базові характеристики зазначених засобів. В подальших дослідженнях, перелік сформованих характеристик на табл. 1 може бути розширений та модифікований згідно специфіки тієї чи іншої реалізації.

Таблиця 1

**Перелік критеріїв ефективності засобів розпізнавання ключових слів в голосових сигналах**

№	Опис критеріїв
N <sub>1</sub>	Обмеженість розмірів словника
N <sub>2</sub>	Використання складних обчислень
N <sub>3</sub>	Можливість обробки великих обсягів даних у реальному часі
N <sub>4</sub>	Стійкість до шуму та варіацій мовлення
N <sub>5</sub>	Можливість роботи на малоресурсних пристроях
N <sub>6</sub>	Висока точність
N <sub>7</sub>	Робота з довгими послідовностями
N <sub>8</sub>	Мінімізація енергоспоживання
N <sub>9</sub>	Можливість інтеграції з іншими методами розпізнавання

Сформовані характеристики дозволяють оцінити основні групи методів виявлення ключових слів у голосових сигналах та звернути увагу на недоліки тих чи інших методів. Оцінки, наведені в табл. 2, були сформовані за допомогою виставлення оцінок. Таким чином, ставилась 1, при наявності даної властивості, та 0 – при відсутності.

Як можна зрозуміти з табл. 2 вище, проаналізовані методи дозволяють реалізувати дану технологію в залежності від потреб, які ставляться – швидкість, точність, довжина ключових слів у словнику, обмеженість словника та ін.

Таблиця 2

**Оцінка критеріїв ефективності засобів розпізнавання ключових слів в голосових сигналах**

Засіб	Оцінка критерію								
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	N <sub>6</sub>	N <sub>7</sub>	N <sub>8</sub>	N <sub>9</sub>
Засоби на базі прихованих моделей Маркова	1	0	1	1	1	1	0	1	1
Засоби на базі згорткових нейронних мереж	0	1	0	1	0	1	1	0	1
Засоби на базі рекурентних нейронних мереж	0	1	0	1	0	1	1	0	1
Засоби на базі нейронних мереж з часовою затримкою	0	1	1	1	0	1	1	0	1

Варто відзначити, що мала кількість дослідників звертає увагу на класичні алгоритми, як приховані

Марківські моделі [7], які, судячи з табл. 2, гарно пристосовані для роботи в якості фонових процесу на малоресурсних комп'ютерних системах.

Сформований перелік характеристик дає змогу визначити наступні кроки дослідження – розробки методу виявлення ключових слів, який буде підходити для використання в системах з обмеженими ресурсами за аналогією з наявними рішеннями, як приховані Марківські моделі.

**Висновки.** У даному дослідженні було сформовано перелік критеріїв ефективності для технології розпізнавання ключових слів у голосових сигналах за допомогою огляду наявних рішень. Сформований перелік дає змогу провести оцінку засобів розпізнавання ключових слів у голосових сигналах, звертаючи увагу на вимоги, які ставляться перед ними.

Також було визначено перспективність подальших досліджень в даному напрямку, а саме покращення властивості роботи на малоресурсних пристроях, мінімізація енергоспоживання, особливо, за рахунок зменшення кількості складних обчислень.

**Список літератури:**

1. Михайленко В. М., Терейковська Л. О., Терейковський І. А., Ахметов, Б. Б. Нейромережеві моделі та методи розпізнавання фонем в голосовому сигналі в системі дистанційного навчання. Київ: ЦП «Компринт», 2017. 252 с.
2. Терейковська Л. О. Методологія автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання. Дисертація. Київ, 2002. 395 с.
3. Efficient keyword spotting using time delay neural networks. URL: <https://arxiv.org/pdf/1807.04353.pdf> (дата звернення: 23.05.2023)
4. Tutorial: Hello Edge: Keyword Spotting on Microcontrollers. URL: <https://arxiv.org/pdf/1711.07128.pdf> (дата звернення: 23.05.2023)
5. Unrestricted Vocabulary Keyword Spotting using LSTM-CTC. URL: [https://www.isca-speech.org/archive\\_v0/Interspeech\\_2016/pdfs/0753.PDF](https://www.isca-speech.org/archive_v0/Interspeech_2016/pdfs/0753.PDF) (дата звернення: 23.05.2023)
6. STREAMING SMALL-FOOTPRINT KEYWORD SPOTTING USING SEQUENCE-TO-SEQUENCE MODELS. URL: <https://arxiv.org/pdf/1710.09617.pdf> (дата звернення: 23.05.2023)
7. Penagarikano, Mikel, & Bordel, German. (2004). Layered Markov models: A New architectural approach to automatic speech recognition. In Machine Learning for Signal Processing XIV – Proceedings of the 2004 IEEE Signal Processing Society Workshop (pp. 305-314). doi:10.1109/MLSP.2004.1422988. URL: [https://www.researchgate.net/publication/4139645\\_Layered\\_Markov\\_models\\_A\\_New\\_architectural\\_approach\\_to\\_automatic\\_speech\\_recognition](https://www.researchgate.net/publication/4139645_Layered_Markov_models_A_New_architectural_approach_to_automatic_speech_recognition) (дата звернення: 23.05.2023)
8. Грищук Т. В., Биков М. М. Моделювання процесу аналізу і класифікації голосових команд. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 146 с.

**Dychka I.A., Tereikovskiy I.A., Didus A.V., Tereikovska L.O., Boyarinova Yu.Ye.**

**ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF KEYWORD SPOTTING IN VOICE SIGNALS**

*The article analyzes the effectiveness of the process of recognizing keywords in a voice signal in order to increase efficiency and accuracy within the framework of limited computing resources. Different models of keyword recognition in voice signals using both classical and more modern approaches were considered, and the main efficiency criteria were also formed. Such criteria include such characteristics as limiting the size of the dictionary, applying complex computations, the ability to process data in real time, robustness to noise and language variations, suitability for low-resource devices, high accuracy, and processing of*



*long sequences. An evaluation of these performance criteria was carried out to compare means based on different approaches.*

*Hidden Markov models have been found to perform well for background processes in low-resource computing systems, while convolutional and recurrent neural networks have advantages when using larger computing resources.*

*The generated characteristics make it possible to evaluate different methods of detecting keywords in voice signals and indicate their limitations. Based on the obtained data, it is proposed to carry out further research in the field of keyword recognition in the direction of compliance with systems with limited computing resources, for example, taking into account the experience of tools that are created on the basis of hidden Markov models.*

*In addition, the article considers methods and approaches for recognizing keywords in voice signals in computer systems based on microcontrollers, which have limited characteristics compared to full-fledged computer systems.*

*Recent advances are reviewed, including the use of time-delayed neural networks, optimized neural network architectures on microcontrollers, deep learning techniques, and recurrent neural network systems. Existing research contributes to the development of more accurate and effective methods of identifying keywords, which helps to improve recognition systems and make them suitable for certain tasks.*

**Key words:** *keyword recognition, voice signal, neural network methods, hidden Markov models, keyword spotting, convolutional neural networks, recurrent neural networks.*

**Дичка І.А.**

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

**Терейковський І.А.**

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

**Коровій О.С.**

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

**Терейковська Л.О.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**Романкевич В.О.**

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

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСОБІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОЇ ТОНАЛЬНОСТІ ФРАГМЕНТІВ ТЕКСТУ

*У статті розглянуто проблематику аналізу тексту в контексті визначення емоційної тональності. Показано обмеженість методології розробки відповідних засобів розпізнавання з точки зору визначення їх ефективності. Запропоновано співвіднести ефективність засобів розпізнавання емоційного забарвлення тексту з забезпеченням вимог поставленої задачі розпізнавання. На основі результатів аналізу відомих рішень в області розпізнавання емоційного забарвлення текстових фрагментів сформовано базовий перелік характеристик, що можуть бути використані для оцінки ефективності зазначених засобів. Визначена множина відповідних критеріїв ефективності. До вказаних критеріїв відносяться: розпізнавання основних емоцій, розпізнавання лише сентиментів, розпізнавання на рівні окремих висловів, розпізнавання на рівні речень, розпізнавання на рівні документу, використання лексичного аналізу, використання сучасних нейромережесих засобів, використання відомих наборів даних, використання власних наборів даних, можливість підтримки одночасно декількох мов, використання комбінації моделей для розпізнавання, використання однієї моделі для розпізнавання, точність та повнота розпізнавання.*

*З використанням розробленого переліку по бінарній шкалі реалізована оцінка відомих засобів розпізнавання. Показано перспективність застосування засобів розпізнавання емоційної тональності фрагментів тексту. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень з розробкою математичного забезпечення процедури оцінки ефективності засобів розпізнавання та інтеграції засобів розпізнавання емоцій на основі аналізу текстових фрагментів та голосових повідомлень користувачів комп'ютерних систем.*

**Ключові слова:** обробка природної мови, текстовий фрагмент, розпізнавання емоцій, емоційна тональність тексту, нейромережева модель, критерій ефективності.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі аналіз тексту, особливо його емоційної тональності, важливий для розуміння настрою автора та контексту. Зростання соціальних медіа та онлайн-спілкування збільшує потребу в точному комп'ютерному аналізі емоцій. Однак, складність мови, включаючи іронію та сленг, робить цей процес викликом. Хоча багато алгоритмів та методів

створені для цієї мети, їхня ефективність часто недостатня. Оцінювання цих методів та урахування мовних варіацій може покращити розпізнавання емоційної тональності.

На цьому ґрунтується актуальність науково-прикладної проблеми розпізнавання емоційної тональності фрагментів тексту. Воно допомагає краще зрозуміти соціальні процеси, динаміку

громадської думки та індивідуальну психологію [2, 3]. Отже, пошук ефективних і точних засобів для розпізнавання емоційної тональності фрагментів тексту є невід'ємною складовою сучасних наукових і практичних досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розпізнавання емоційної тональності тексту, також відоме ще, як аналіз сентиментів, є одним з ключових напрямків в галузі обробки природної мови (англ. Natural Language Processing, NLP). Це стосується вивчення і розуміння емоційних відтінків, які можуть бути закодовані в тексті. Також це включає в себе аналіз емоційно забарвлених слів, виразів, та контексту, в якому вони використовуються.

Основні емоції, які визначаються в цій задачі, складаються з шести основних емоцій: радість, смуток, гнів, страх, відраза, та здивування. Однак, в контексті аналізу сентиментів, часто фокусуються на трьох основних категоріях: позитивна, негативна та нейтральна емоційна тональність. Список емоцій часто розширюється і доповнюється іншими емоціями або станами.

Одним із підходів до розпізнавання емоційної тональності, можна виокремити підходи, які розпізнають в тексті поклики до емоцій. В статті [5] до прикладу є близько 18 ознак, які автоматичного визначаються в тексті для виявлення дезінформації та маніпулятивних текстів. За допомогою цих ознак автори припускають, що обман та маніпуляцію читача можна виявити за зовнішніми ознаками контенту, такими як використана лексика, почуття, емоційний відгук, навантажена мова, суб'єктивність тощо. Стаття [7] зосереджена на виявленні причини (стимулу) емоції, методи та підходи, котрі можуть бути використані для покращення розпізнавання емоційної тональності, так як включають спільні лінгвістичні та стилістичні особливості.

При розпізнаванні емоційної тональності тексту, часто зіштовхуються зі складнощами та нюансами людської мови. Наприклад, сарказм або іронія можуть бути важкими для виявлення і вірної інтерпретації. У статті [9] обговорюється важливість виявлення сарказму в аналізі емоційної тональності та виклики, які він створює через властиву йому природу вираження значення, протилежного буквальному.

Також вирізняються різні рівні розпізнавання емоційного тонального забарвлення:

– Рівень окремих висловів (лексичний підхід): Цей підхід базується на ідентифікації окремих слів або фраз, які несуть емоційне забарв-

лення, однак цей підхід може бути обмеженим, оскільки він не враховує контексту, в якому вживаються слова.

– Рівень речень: цей підхід враховує контекст на рівні окремих речень, що може бути особливо корисно для сентименту в більш складних текстах, де емоційне забарвлення може змінюватися від речення до речення [7].

– Рівень документів: На цьому рівні аналізується весь текст, це може бути корисно, наприклад, при аналізі відгуків клієнтів або публікацій в соціальних медіа, де можна врахувати загальний контекст та взаємозв'язок між різними частинами тексту.

Зазвичай ці підходи комбінують разом для покращення точності визначення емоційної тональності. В роботах [4, 8, 10], використовують підхід де комбінують визначення на рівнів окремих висловів, а також рівень документів. Спочатку визначається контекстна залежність між словами та фразами, а потім ця інформація передається, разом із всім текстом, в модель для подальшого розпізнавання. Для визначення, які слова та фрази можуть викликати емоції доцільніше використовувати рівень слів та фраз, а також рівень речень, це допомагає точно ідентифікувати емоційний окрас частини тексту [7]. При комбінації різних рівнів використовується також комбінація різних моделей машинного навчання. Таке використання декількох моделей збільшує точність визначення [2, 7, 8].

Також останнім часом набувають популярність використання великих мовних моделей (англ. Large Language Model, LLM), що містять великі знання про світ, і можуть вирішувати задачі NLP без навчання, або з мінімальним попереднім навчанням. Стаття [6] зосереджується на покращенні розпізнавання емоційної тональності у різних областях знань з використання LLM та вказівок (англ. prompts).

Одночасно, в доступній літературі, що була проаналізована, не наведено обґрунтованого переліку характеристик засобів розпізнавання емоційної тональності, які повинні відповідати вимогам поставленої задачі. Притаманність таких характеристик і їх належна адаптація до поставленої задачі визначення емоційного забарвлення тексту відіграють важливу роль в ефективності застосування цих методів.

**Метою статті є** формування переліку характеристик, які можна застосувати для оцінки придатності моделей та методів аналізу емоційного забарвлення тексту відповідно до вимог конкретної задачі. Для досягнення цього слід проаналі-

зувати відомі рішення, за останній час, в області розпізнавання емоційної тональності тексту.

**Виклад основного матеріалу.** Для формування переліку основних характеристик, що визначають ефективність емоційного забарвлення тексту, було використано наведений в дисертації [1] підхід, що полягає у співвіднесенні критеріїв ефективності з вимогами до комп'ютерних засобів розпізнавання емоційної тональності фрагментів тексту. Базисом визначення вказаних вимог стали сучасні науково-прикладні роботи в області природної обробки мови з використання методів та моделей штучного інтелекту.

В статті [5] обговорюється стандартний механізм обробки природної мови та машинного навчання, який використовується для класифікації тексту. У ньому підкреслюється перехід від старих методів, які навчали класифікаторів на різних ручних функціях, витягнутих із тексту, до останніх підходів, які використовують методи глибокого навчання, де класифікатор працює безпосередньо з вихідним текстом. Відповідно акцентується увага на вимозі, щодо необхідності використання процедур попередньої обробки текстової інформації. Автори, в даному дослідженні, також представляють огляд відомих наборів даних і корпусів, які використовуються для досліджень у цій галузі. Таким чином однією із вимог являється необхідність формування корпусу даних, або використання уже відомих. Слід зазначити, що формування означених корпусів є складною та достатньо ресурсоємною процедурою, що вимагає залучення людей-анотаторів. Крім того можна зробити висновок про залежність ефективності комп'ютерних засобів розпізнавання емоційної тональності фрагментів текстів від можливості використання відомих корпусів.

В статті [10] автори пропонують нову стратегію маркування частин тексту, яка включає два набори міток пари токенів: основний набір міток і повний набір міток. Автори також пропонують ефективну модель, що побудована на основі глибокої нейронної мережі, яка працює з їх стратегією маркування. Ця модель використовує мережі звернення уваги на графі для ітеративного уточнення представлень токенів і адаптивний класифікатор із кількома мітками для динамічного прогнозування кількох зв'язків між парами токенів. Для своїх експериментів автори використовували п'ять контрольних наборів даних чотирма мовами. В статті повідомляється, що їхня модель значно перевершила попередні найсучасніші моделі. Також використовуючи стратегію маркування та

ефективну архітектуру моделі, демонструється багатообіцяючі результати в експериментах на кількох наборах даних.

В статті [9] для аналізу сарказму, що є однією із складовою при аналізі емоційної тональності тексту, використовуються декілька підходів:

1. Лексичний аналіз: цей метод передбачає аналіз текстового контексту або використання певних лексичних шаблонів у саркастичних фразах.

2. Глибоке навчання: цей метод передбачає використання архітектур глибоких нейронних мереж, як LSTM і DNN.

3. Моделі на основі архітектури трансформерів: Одна модель, названа «Contextual Response Augmentation» (CRA), яка має найвищу точність.

У статті також обговорюється використання різних наборів даних, як відомих так для навчання та тестування цих моделей. До них належать набори даних, отримані з API Twitter, набори даних із анотаціями хештегів і набори даних із різних воркшопів. На завершення в статті висвітлено сильні та слабкі сторони різних підходів виявлення сарказму. У ньому підкреслюється важливість урахування контексту та потенціал моделей на основі архітектури трансформерів у цьому завданні.

Стаття [6] пропонує використовувати загальнодоступний набір даних аналізу емоційної тональності, як для адаптації області знань з одного джерела, так і для адаптації з кількох джерел. Вони розробили нову стратегію для вивчення області знання для маркера «[MASK]». Архітектура моделі передбачає використання LLM, таких як GPT і BERT. Автори також використовують стратегію змагальності, щоб вивчити предметно-інваріантні знання токена «[MASK]». Оцінювання даного підходу відбувалося на наборі даних відгуків Amazon, який є загальнодоступним набором даних та включає в себе різні області знань.

Методи, використані в статті [7], включають позначення послідовності слів та класифікацію речень. Модель маркування послідовності слів приймає послідовність слів, як вхідні дані та призначає кожному слову мітку. З іншого боку, модель класифікації речень бере послідовність речень і класифікує кожне речення як таке, що містить стимул чи ні. Модель для спільної класифікації речень дещо відрізняється від попередніх моделей, оскільки робить передбачення для речення у контексті всього тексту. Набори даних, які використовуються в експериментах, як власні, так і загальнодоступні. Вони включають набір даних EmotionStimulus, і набір даних ElectoralTweets.

Стаття [4] представляє метод «Попереднє навчання з розширеними знаннями про настрої» (англ. Sentiment Knowledge Enhanced Pre-training for Sentiment Analysis, SKEP), який включає знання про емоційну тональність тексту шляхом самонавчання. SKEP містить маскування тональності та цілі попереднього навчання. Маскування емоційної тональності розпізнає інформацію про тональність вхідної послідовності на основі автоматично отриманих знань про тональності та створює пошкоджену версію тексту, видаляючи цю інформацію. Ціль попереднього тренування настрою вимагають, щоб нейронна мережа на архітектурі трансформер відновив інформацію про тональність для пошкодженої версії тексту. Автори використовували кілька наборів даних для своїх експериментів, включаючи SST-2, SemEval 2014 і Amazon-2. В архітектурі SKEP використовуються нейромережа BERT, як основу для перевірки ефективності свого підходу.

Методи, використані в дослідженні [2], включають моделі глибокого навчання для виявлення емоційної тональності тексту. Автори використовують глибоку нейронну мережу, що складається з входу, виходу та набору прихованих шарів із кількома вузлами. Процес навчання DNN складається з попереднього навчання та етапу донавчання. Дослідження використовує кілька наборів даних. Автори зібрали твіти користувачів, опубліковані на ранніх етапах кризи COVID-19. Вони також використовували загальнодоступні набори даних для навчання класифікатора оцінки полярності настроїв. Для навчання класифікатора емоцій використовувався набір даних Emotional Tweets. У статті також визнаються обмеження запропонованої моделі, такі як її нездатність зрозуміти контекст, особливо коли він є саркастичним, і її зосередженість на твітах лише англійською мовою.

У статті [3] також обговорюють використання нейронних мереж у своїх дослідженнях по розпізнаванню емоційної тональності у новинах. Згадується використання згорткових нейронних мереж і довгострокових мереж короткочасної пам'яті для аналізу настроїв коротких текстів. У дослідженні використовуються різноманітні набори даних, як створені власноруч, так і публічні. Автори зазначають, що перші моделі використовували власні спеціально створені набори даних для експериментів. В статті міститься комплексний огляд ролі розпізнавання емоційної тональності у виявленні фейкових новин, обговорюються різні методи та прийоми, які використовуються для включення тональності у процес виявлення фейкових новин.

В дослідженнях також можуть використовуватися комбінації моделей. Метод представлений в статті [8] включає три основні кроки: визначення категорії аспектів, класифікацію полярності настрою та їх поєднання. Модель виявлення категорії аспектів – це модель двійкової класифікації, яка визначає, чи пов'язаний даний аспект із текстом, чи ні. Класифікатор полярності настроїв – це модель, навчена визначати мітки настроїв (позитивні, негативні, нейтральні, конфліктні) для певного аспекту та введення тексту. Остаточна модель поєднує в собі моделі класифікації настроїв і аспектів. Автори використовували за основу попередньо навчену мовну модель BERT для свого завдання. Використовувалися також загальнодоступні набори даних для своїх експериментів, зокрема набір даних SemEval.

В результаті проведеного аналізу різних методів до вирішення задачі розпізнавання емоційної тональності тексту було виділені базові характеристики наведені в табл. 1. В подальшому базовий перелік характеристик може бути модифіковано з урахуванням найбільш сучасних методів розпізнавання та деталізації задачі розпізнавання.

Таблиця 1

**Характеристики методів розпізнавання емоційної тональності тексту**

№	Опис характеристик
N <sub>1</sub>	Розпізнавання основних емоцій
N <sub>2</sub>	Розпізнавання лише сентиментів
N <sub>3</sub>	Розпізнавання на рівні окремих висловів
N <sub>4</sub>	Розпізнавання на рівні речень
N <sub>5</sub>	Розпізнавання на рівні документу
N <sub>6</sub>	Використання лексичного аналізу
N <sub>7</sub>	Використання сучасних нейромережових засобів
N <sub>8</sub>	Використання відомих наборів даних
N <sub>9</sub>	Використання власних наборів даних
N <sub>10</sub>	Можливість підтримки одночасно декількох мов
N <sub>11</sub>	Використання комбінації моделей для розпізнавання
N <sub>12</sub>	Використання однієї моделі для розпізнавання
N <sub>13</sub>	Точність та повнота розпізнавання

Проведений аналіз відомих методів дозволив використовувати вибрані характеристики для оцінки потенціалу розглянутих методів розпізнавання емоційної тональності в тексті. В основному, оцінки були призначені за допомогою бінарної шкали (0/1), що відображає відсутність або наявність згаданих можливостей. Отримані оцінки характеристик частково показані в табл. 2. Так як, всі наведені методи використовують наявні спільні характеристики, то ці характеристики не були включені в табл. 2.

Оцінки характеристик методів розпізнавання

Назва роботи	Характеристики							
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	N <sub>9</sub>	N <sub>11</sub>	N <sub>12</sub>
Technological Approaches to Detecting Online Disinformation and Manipulation	1	0	1	0	0	0	0	1
Effective Token Graph Modeling using a Novel Labeling Strategy for Structured Sentiment Analysis	0	1	1	0	1	0	0	1
A Survey on Automated Sarcasm Detection on Twitter	0	0	0	0	1	1	1	0
Adversarial Soft Prompt Tuning for Cross-Domain Sentiment Analysis	0	1	0	0	1	0	0	1
Token Sequence Labeling vs. Clause Classification for English Emotion Stimulus Detection	1	0	1	1	0	1	1	0
SKEP: Sentiment Knowledge Enhanced Pre-training for Sentiment Analysis	0	1	0	0	1	0	0	1
Cross-Cultural Polarity and Emotion Detection Using Sentiment Analysis and Deep Learning on COVID-19 Related Tweets	1	0	0	0	1	1	0	1
Sentiment Analysis for Fake News Detection	0	1	0	0	1	1	0	1
Aspect-Based Sentiment Analysis using BERT	0	1	1	0	1	0	1	0

Виходячи з аналізу табл. 2 майже всі проаналізовані методи мають певні недоліки, так як, в більшості концентруються на знаходження сен- тименту, тобто тільки три емоції (негатив, позитив та нейтрал), на рівні документа. Також вони погано пристосовані до більш складніших емоції та до розпізнавання на рівні речень, окремих висловів.

Формування переліку характеристик розпізнавання емоційної тональності в тексті дозволяє окреслити напрямок наступного етапу досліджень – розробкою математичного забезпечення процедури оцінки ефективності засобів розпізнавання та інтеграції засобів розпізнавання емоцій на основі аналізу текстових фрагментів. Крім іншого, це забезпечить розробку методу та моделей розпізнавання емоційної тональності в тексті, з покриттям основних емоцій на рівні речень та окремих висловів. Базуючись на підходах, що викладенні у роботах [5, 9], доцільно використовувати

комбінацію моделей та відомі набори даних, з можливістю розширення власними даними, для підвищення точності та повноти розпізнавання. Також базуючись на результатах [1] можна вважати доцільним розробку методів інтеграції засобів розпізнавання емоцій на основі аналізу текстових фрагментів та голосових повідомлень користувачів комп'ютерних систем

**Висновки.** В ході проведених досліджень було обґрунтовано базовий перелік характеристик засобів для автоматичного розпізнавання емоційного забарвлення в тексті. Цей перелік дозволяє оцінювати, наскільки обрані методи відповідають вимогам задачі розпізнавання емоційного тону тексту. Визначено перспективність подальших досліджень в напрямку розробкою математичного забезпечення процедури оцінки ефективності засобів розпізнавання та інтеграції засобів розпізнавання емоцій на основі аналізу текстових фрагментів.

#### Список літератури:

1. Терейковська Л. О. Методологія автоматизованого розпізнавання емоційного стану слухачів системи дистанційного навчання: дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06. Київ, 2002. 395 с.
2. A. S. Imran, S. M. Daudpota, Z. Kastrati and R. Batra. Cross-Cultural Polarity and Emotion Detection Using Sentiment Analysis and Deep Learning on COVID-19 Related Tweets. *IEEE Access*. 2020. vol. 8, P. 181074-181090, DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3027350.
3. Alonso, M.A.; Vilares, D.; Gómez-Rodríguez, C.; Vilares, J. Sentiment Analysis for Fake News Detection. *Electronics*. 2021, 10, p. 1348. DOI: 10.3390/electronics10111348
4. Hao Tian, Can Gao, Xinyan Xiao, Hao Liu, Bolei He, Hua Wu, Haifeng Wang, and Feng Wu. SKEP: Sentiment Knowledge Enhanced Pre-training for Sentiment Analysis. In *Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*. Association for Computational Linguistics. 2020. P. 4067–4076. DOI: 10.18653/v1/2020.acl-main.374
5. Horák, A., Baisa, V., Herman, O. Technological Approaches to Detecting Online Disinformation and Manipulation. *Gregor, M., Mlejnková, P. (eds) Challenging Online Propaganda and Disinformation in the 21st Century. Political Campaigning and Communication. Palgrave Macmillan, Cham*. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-58624-9\_5

6. Hui Wu and Xiaodong Shi. Adversarial Soft Prompt Tuning for Cross-Domain Sentiment Analysis. *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*. Dublin, Ireland. Association for Computational Linguistics. 2022. P. 2438-2447. DOI: 10.18653/v1/2022.acl-long.174
7. Laura Ana Maria Oberländer and Roman Klinger. Token Sequence Labeling vs. Clause Classification for English Emotion Stimulus Detection. In *Proceedings of the Ninth Joint Conference on Lexical and Computational Semantics*. Barcelona, Spain (Online). Association for Computational Linguistics. 2020. P. 58–70. URL: <https://aclanthology.org/2020.starsem-1.7/> (дата звернення 01.05.2023)
8. Mickel Hoang, Oskar Alija Bihorac, and Jacobo Rouces. 2019. Aspect-Based Sentiment Analysis using BERT. *Proceedings of the 22nd Nordic Conference on Computational Linguistics*. Turku, Finland. Linköping University Electronic Press. 2019. P. 187-191. URL: <https://aclanthology.org/W19-6120.pdf> (дата звернення 01.05.2023)
9. Moores, B., Mago, V.K. (2022). A Survey on Automated Sarcasm Detection on Twitter. *ArXiv*. DOI: abs/2202.02516.
10. Wenxuan Shi, Fei Li, Jingye Li, Hao Fei, and Donghong Ji. Effective Token Graph Modeling using a Novel Labeling Strategy for Structured Sentiment Analysis. *Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (Volume 1: Long Papers)*. Dublin, Ireland. Association for Computational Linguistics. 2022. P. 4232–4241. DOI: 10.18653/v1/2022.acl-long.291

**Dychka I.A., Tereikovskiy I.A., Korovii O.S., Tereikovska L.O., Romankevych V.O.**  
**ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY OF MEANS OF RECOGNITION  
OF THE EMOTIONAL TONE OF TEXT FRAGMENTS**

*The article examines the problems of text analysis in the context of determining emotional tonality. The limitations of the methodology for developing appropriate recognition tools from the standpoint of assessing their effectiveness are shown. It is proposed to correlate the effectiveness of these recognition tools with the fulfilment of the requirements of a given recognition task. A fundamental list of characteristics that can be used to evaluate the effectiveness of these tools has been formed based on the results of known solutions analysis in the field of emotional tonality recognition in text fragments. A set of relevant performance criteria has been defined. These specified criteria include: recognition of basic emotions; recognition of sentiments only; recognition at the level of individual expressions; recognition at the sentence and document levels; use of lexical analysis; use of modern neural network tools; use of established data sets; use of custom data sets; support for multiple languages simultaneously; use of a combination of models for recognition; use of a single model for recognition; accuracy and completeness of recognition.*

*Using the developed list and a binary scale, an evaluation of known recognition tools was implemented. The potential for using tools to recognize the emotional tonality of text fragments is demonstrated. It is proposed to correlate further research with the development of mathematical support for the procedure for evaluating the effectiveness of recognition tools and the integration of emotion recognition tools based on the analysis of text fragments and voice messages from computer system users.*

**Key words:** natural language processing, text fragment, emotion recognition, emotional tonality of the text, neural network model, efficiency criterion.

**Дроменко В.Б.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Пилипенко Ю.М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**Кисельов В.Б.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ЗАСТОСУВАННЯ РЕКУРСИВНИХ АЛГОРИТМІВ І ФУНКЦІЙ ПО ДЕКІЛЬКОХ ЗМІННИХ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*Метою роботи є пошук та реалізація засобів демонстрації особливостей рекурсивних обчислень по декількох змінних для організації складних циклічних процесів при розв'язуванні задач.*

*Рекурсивний метод побудови (визначення) класу чи об'єкту заснований на визначенні попередніх завдань одного чи декількох (зазвичай простих) його базових випадків чи методів та, в подальшому, заданням на їхній основі правила побудови класу, який визначається. Початкові значення задаються користувачем і вказуються правила побудови наступних образів через попередні. При дослідженні використовуються теорія алгоритмів для структурованої побудови алгоритмів; поняття різних форм рекурсії та рекурсивних обчислень.*

*Продемонстровані нестандартні підходи застосування рекурсії по декількох змінних до розв'язку задач зі складними циклічними процесами, на відміну від традиційного застосування рекурсії по одній змінній. Реалізація цих підходів полягає у сформульованих математичних виразах рекурсивних співвідношень, в яких чітко визначені перелік параметрів, що передаються в рекурсивну функцію; формула наступного елемента, що використовуватиметься в рекурсивному процесі; умова припинення послідовності виконання рекурсивних викликів функції. Наведено приклади практичного застосування функції користувача (підпрограми) з рекурсією по двох та трьох змінних, які ґрунтуються на розроблених рекурсивних співвідношеннях.*

*Запропоновані підходи демонстрації особливостей рекурсивних обчислень для організації складних циклічних процесів ґрунтуються на розроблених рекурсивних співвідношеннях і реалізовано у вигляді функції користувача (підпрограми) з рекурсією по двох та трьох змінних.*

*Наведені описи алгоритмів на основі рекурсивних співвідношень по декількох змінних дають можливість наочної уяви про реалізацію складних циклічних процесів і не потребують традиційного зображення алгоритмів у вигляді блок-схем. При цьому, запропоновані алгоритми можуть бути реалізовані у функціональному програмуванні багатьма сучасними мовами програмування, оскільки вони дають змогу компонувати та комбінувати функції.*

**Ключові слова:** рекурсія, рекурсивні співвідношення, функція користувача (підпрограма) з рекурсією по декількох змінних, програмна реалізація рекурсії по декількох змінних.

**Постановка проблеми.** Застосування рекурсії є потужним методом при розв'язуванні цілої низки задач, серед яких реалізація алгоритмів обходу списків, дерев, чисел Фібоначчі, аналізаторів виразів, комбінаторних задач, тощо [1–2].

У більшості розробників виникають певні труднощі, коли вони вперше стикаються з такою алгоритмічною структурою, як рекурсивні обчислення. Під рекурсивними функціями розуміють функції, які при своєму визначенні звертаються самі до себе. Відомо, що рекурсія може бути: прямою – якщо функція в тілі містить тільки виклик самої себе; та непрямую – якщо

функція викликає іншу функцію, а та, у свою чергу, викликає першу [3–4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При кожному рекурсивному виклику всі попередні значення внутрішніх локальних змінних та переданих у функцію користувача параметрів зберігаються в пам'яті. Обов'язковою умовою виконання наступного кроку рекурсивного виклику є необхідність змінення значення хоча б одного з параметрів функції. Процес рекурсивних викликів функції припиняється в разі досягнення змінюваного параметру певного кінцевого значення, наприклад, оброблено останній елемент в масиві [5–7].



Рекурсивне звернення до функції може бути здійснене тільки в разі, якщо алгоритм визначений (побудований) рекурсивно.

Рекурсію достатньо часто порівнюють з ітерацією. Будь-яку рекурсивну функцію можна визначити і нерекурсивно, тобто ітеративно через цикли, що є доведеним фактом. Також цілком доведеним є і зворотне твердження: будь-яку нерекурсивну функцію можна визначити рекурсивно. Це означає, що рекурсивність не є властивістю самої функції, а є лише властивістю її опису [8–9].

Виникає логічне питання: а який опис – рекурсивний чи ітеративний – краще застосовувати у програмуванні? Однозначної відповіді немає. Але, в загальному випадку рекурсивний опис функції, як правило, більш компактніший, а ітеративний – менш компактніший. При виборі способу опису функції потрібно враховувати, що обчислення рекурсивних функцій, зазвичай, відбувається довше і використовує більше пам'яті, ніж ітеративних (втрати відбуваються за рахунок повторних викликів, введення нових локальних змінних і т. і.) [2, 4, 7].

Проте, організація циклічного процесу за допомогою рекурсії має певні переваги, серед яких можна виділити наступні:

- 1) можливість представлення у природний спосіб складних, на перший погляд, алгоритмів;
- 2) рекурсивні алгоритми є більш наочними у порівнянні з ітераційними;
- 3) рекурсію простіше реалізувати ніж ітерацію для багатьох поширених задач.

Однак, в більшості відомих прикладів широко застосовується рекурсія по одній змінній [1, 3, 10]. В той же час, рекурсія може бути значно кориснішою, якщо її застосувати по двох чи більше аргументах одночасно. Тому, пошук та реалізація засобів демонстрації особливостей рекурсивних обчислень по декількох змінних для організації складних циклічних процесів при розв'язуванні задач є актуальними.

**Постановка завдання.** Спробуємо продемонструвати особливості рекурсивних обчислень по декількох змінних для організації складних циклічних процесів, і рекурсія стане зрозумілим і корисним інструментом в арсеналі програмування.

Щоб типовий циклічний процес перетворити на рекурсивний, необхідно правильно і чітко виділити (визначити) такі важливі моменти:

- 1) умову припинення послідовності виконання рекурсивних викликів функції;
- 2) формулу наступного елемента, що використовуватиметься в рекурсивному процесі;

3) перелік параметрів, що передаються в рекурсивну функцію. Один з параметрів обов'язково є лічильником, який змінює своє значення. Інші параметри є додатковими, наприклад, посилання на масив, обробка якого здійснюється.

Враховуючи вищезазначене, покажемо приклад застосування алгоритму і функції користувача (підпрограми) з рекурсією по декількох змінних.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо на прикладах, використовуючи принцип «від простого до складного», відомі типові задачі, в яких застосовуються рекурсивні функції при побудові різних алгоритмів. Всі приклади ми будемо ілюструвати фрагментами програмного коду мови програмування C++ в середовищі Microsoft Visual Studio 2019.

При невірному застосуванні рекурсія є недоцільною, адже обчислення проводяться частіше, ніж при ітерації. Щоб уникнути подібних помилок з рекурсивними функціями, почнемо з найпростіших задач.

*Типовий приклад 1.*  
Знайти суму  $S = \sum_{i=1}^n \frac{i+1}{i^2+1}$ , де значення n наперед відоме.

Наведений на рис. 1 фрагмент програмного коду демонструє ітеративний підрахунок суми S. Вважатимемо, що значення параметру n є визначеним у попередніх рядках програмного коду

```
S=0;
for (i=1; i<=n; i++)
    S = S + (i+1)/(pow(i,2)+1);
```

Рис. 1. Фрагмент програмного коду підрахунку суми

*Типовий приклад 2.*

З іншого боку, дії в задачі типового прикладу 1 повторюються, змінюються лише параметри, тому можна її розв'язати і наступним чином, застосовуючи рекурсивну функцію  $S_n$ , яка може бути визначена двома наступними математичними виразами рекурсивних співвідношень:

$$S_n = S_{n-1} + \frac{n+1}{n^2+1}; \quad (1)$$

$$S_0 = 0. \quad (2)$$

Фрагмент програмного коду по створенню функції  $S_n$  наведений на рис. 2.

```
double Function(double n)
{
    if (!n)
        return 0;
    else
        return Function (n-1) + (n+1)/(pow(n,2)+1);
}
```

Рис. 2. Фрагмент програмного коду підрахунку суми із застосуванням рекурсивної функції

Результат розрахунку значення суми  $S$  за рекурсивними співвідношеннями (1) або (2), в залежності від переданого у функцію користувача значення  $n$ , буде повернуто в основну програму.

*Типовий приклад 3.*

Необхідно знайти значення наступного виразу:

$$F(n,a) = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots \frac{1}{1 + \frac{1}{a}}}}}$$

де  $a$  – задане додатне число, а дріб містить  $n$  «поверхів».

Таку задачу достатньо просто можна розв'язати використовуючи рекурсію, беручи до уваги наступні два математичні вирази рекурсивних співвідношень, які дають уяву про алгоритм розв'язку задачі, а саме:

$$F(1,a) = 1 + \frac{1}{a}, \quad (3)$$

$$F(n,a) = 1 + \frac{1}{F(n-1,a)}. \quad (4)$$

При цьому, немає потреби традиційного зображення алгоритмів у вигляді блок-схем, оскільки у наведених рекурсивних співвідношеннях чітко визначені перелік параметрів, що передаються в рекурсивну функцію; формула наступного елемента, що використовуватиметься в рекурсивному процесі; умова припинення послідовності виконання рекурсивних викликів функції.

Фрагмент програмного коду по створенню функції користувача, яка реалізує поставлену задачу наведено на рис. 3.

```
double Function(int n, double a)
{
    if (n == 1)
        return 1 + 1 / a;
    else
        return 1 + 1 / Function(n - 1, a);
}
```

**Рис. 3. Фрагмент програмного коду із застосуванням рекурсивної функції по одній змінній**

Результат розрахунку значення суми  $F$  за рекурсивними співвідношеннями (3) або (4), в залежності від переданого у функцію користувача значення  $n$ , буде повернуто в основну програму.

Типові приклади 2 та 3 демонструють застосування рекурсії по одній змінній, яка набула значного поширення при розв'язку різноманітних обчислювальних задач. Вже на цих простих прикладах застосування рекурсивної функції по одній змінній можна спостерігати характерну особливість рекурсивної функції. При визначенні

такої функції спочатку поступово спрощується її аргумент, доки не дійдемо до найпростішого аргумента, при якому функція видає відповідь у явному вигляді без повторного звернення до самої себе. В подальшому починається рух у зворотному боці, обчислюючи значення функції для дедалі складніших аргументів.

Покажемо на наступному прикладі, як для вирішення більш складних задач нами застосований алгоритм з рекурсією по двох змінних.

*Приклад 4.*

Знайти значення суми

$$S = \sum_{i=1}^n 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots \frac{1}{1 + \frac{1}{a}}}}}$$

де  $i$ -ий доданок містить  $i$  «поверхів»; параметр  $a$  – довільне додатне число.

Пояснимо роботу алгоритму функції користувача (підпрограми) `recursion(k, n, a)`, в якій використовуватимемо рекурсію по двох перших параметрах ( $k$  та  $n$ ). Третій параметр  $a$  – довільне додатне число.

Вважатимемо, що основна комп'ютерна програма виконує стандартне введення всіх потрібних початкових даних для розрахунку, звернення до функції користувача (підпрограми) з передачею значень параметрів  $k$ ,  $n$ ,  $a$  в функцію `recursion` з основного алгоритму та виведення результатів розрахунку.

При розв'язку задачі алгоритм побудовано таким чином, що параметр  $k$  прийматиме лише два значення – «0» або «1». Значення «0» застосовується для підрахунку чергового (одного) значення доданку суми  $S$ , значення «1» – для формування накопичення суми.

В разі, коли значення  $n$  кількості «поверхів» дорівнює 1 ( $n = 1$ ), виникає окремий випадок, при якому значення суми  $S$  містить лише один доданок і визначатиметься наступним рекурсивним співвідношенням

$$\text{recursion}(0,1,a) = 1 + \frac{1}{a}. \quad (5)$$

В разі, коли значення  $n$  кількості «поверхів» відмінно від 1, підрахунок одного значення доданку суми  $S$  з  $n$  «поверхів» визначатиметься рекурсивним співвідношенням

$$\text{recursion}(0,n,a) = 1 + \frac{1}{\text{recursion}(0,n-1,a)} \quad (6)$$

з викликом функції `recursion( )` для виразу з  $(n - 1)$  «поверхів».

В разі, коли параметр  $k$  набуває значення «1», відбувається формування накопичення суми.

При кількості «поверхів», яке дорівнюватиме  $0$  ( $n = 0$ ) виникає окремий випадок, в результаті чого значення суми  $S$  визначатиметься рекурсивним співвідношенням

$$\text{recursion}(1, 0, a) = 0. \quad (7)$$

В разі, коли значення  $n$  кількості «поверхів» відмінно від  $0$ , формування накопичення суми  $S$  при  $n$  «поверхах» визначатиметься рекурсивним співвідношенням

$$\text{recursion}(1, n, a) = \text{recursion}(1, n - 1, a) + \text{recursion}(0, n, a) \quad (8)$$

з виконанням рекурсивного виклику функції  $\text{recursion}()$ .

Наведемо приклад програмної реалізації цього алгоритму. Фрагмент комп'ютерної програми з реалізацією рекурсивної функції по двох змінних представлено на рис. 4 розробленою авторами функцією користувача (підпрограмою).

Результат розрахунку значення суми  $S$  за рекурсивними співвідношеннями (5) – (8), в залежності від переданих у функцію користувача значень  $k$  та  $n$ , які можуть спричинити вищезазначені окремі випадки, буде повернуто в основну програму.

```
double recursion(bool k, int n, double a)
{
    if (k == false)
    {
        if (n == 1) return 1 + 1 / a;
        else return 1 + 1 / recursion(0, n - 1, a);
    }
    else
    {
        if (!n) return 0;
        else return recursion(1, n - 1, a) + recursion(0, n, a);
    }
}
```

Рис. 4. Функція користувача (підпрограма) з реалізацією рекурсії по двох змінних

*Приклад 5.*

Знайти значення виразу  $S = \sum_{i=1}^m \prod_{j=1}^n a_{ij}$ , де числа  $a_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ ) задані.

Пояснимо роботу алгоритму функції користувача (підпрограми)  $\text{recursion}(k, m, n)$ , в якій використовуватимемо рекурсію по трьох параметрах.

При розв'язку задачі алгоритм побудовано так само, як в прикладі 4, де параметр  $k$  прийматиме лише два значення – «0» або «1». Значення «0» застосовується для підрахунку чергового (одного) значення доданку суми  $S$ , яке, в свою чергу, є добутком чисел  $a_{ij}$ ; значення «1» – для формування накопичення суми.

Початкове значення для накопичення добутку ( $n = 0$ ) визначатиметься рекурсивним співвідношенням

$$\text{recursion}(0, m, 0) = 1. \quad (9)$$

Початкове значення для накопичення суми ( $m = 0$ ) визначатиметься рекурсивним співвідношенням

$$\text{recursion}(1, 0, n) = 0. \quad (10)$$

Для знаходження  $m$ -го доданку суми, яке по суті є накопиченим добутком множників заданих чисел  $a_{ij}$ , застосуємо рекурсивне співвідношення

$$\text{recursion}(0, m, n) = \text{recursion}(0, m, n-1) \cdot a_{mn} \quad (11)$$

з викликом функції  $\text{recursion}()$  для попереднього значення накопиченого добутку.

Формування накопичення суми визначатиметься наступним рекурсивним співвідношенням з викликом функції  $\text{recursion}()$

$$\text{recursion}(1, m, n) = \text{recursion}(1, m - 1, n) + \text{recursion}(0, m, n). \quad (12)$$

Фрагмент комп'ютерної програми з реалізацією рекурсивної функції, в даному разі по трьох змінних, для знаходження значення вищезазначеного прикладу представлено на рис. 5 розробленою авторами функцією користувача (підпрограмою).

```
double recursion(bool k, int m, int n)
{
    if (k == false)
    {
        if (!n) return 1;
        else return recursion(0, m, n - 1) * a[m - 1][n - 1];
    }
    else
    {
        if (!m) return 0;
        else return recursion(1, m - 1, n) + recursion(0, m, n);
    }
}
```

Рис. 5. Функція користувача (підпрограма) з реалізацією рекурсії по трьох змінних

Результат розрахунку значення суми  $S$  за рекурсивними співвідношеннями (9)–(12), в залежності від переданих у функцію користувача значень  $k$ ,  $m$  та  $n$ , буде повернуто в основну програму.

На прикладах 4 та 5, які реалізують рекурсію по декількох змінних, продемонстровано, що опис рекурсивної функції містить дві складові:

1) нерекурсивну гілку, де передбачені найпростіші випадки, при яких функція видає відповідь у явному вигляді. Зазначимо, що наявність хоча б однієї нерекурсивної гілки є обов'язковою. Інакше при обчисленні функції ланцюжок рекурсивних викликів виявиться формально нескінченно довгим, а простіше кажучи – не відбудеться вихід з рекурсії;

2) рекурсивну гілку, де передбачено загальний випадок розв'язку задачі. Загальний випадок зводиться до простіших аналогічних випадків, для вирішення яких рекурсивно застосовується та сама функція, а потім з отриманих відповідей утворюється остаточна відповідь.

Зазначимо, що наведені приклади з запропонованими рекурсивними співвідношення не при-

мушують розробників програм застосовувати рекурсивний алгоритм в якості «обов'язкового» при розв'язуванні задач зі складними циклічними процесами. Автори показали один з підходів для розв'язку задач такого типу, а як розв'язувати ту чи іншу конкретну задачу – це прерогатива розробника. Однак, на наш погляд, наведена інформація буде корисною як починаючим розробникам, так і науково-педагогічним працівникам.

**Висновки.** Таким чином, продемонстровано особливості застосування рекурсивних функцій по декількох змінних, які можна використовувати при організації достатньо складних циклічних процесів. Показано, що коли поставлену задачу можна розбити на більш дрібні підзадачі, які можна розв'язати одним і тим самим методом, рекурсивні

алгоритми стануть гарним вибором. Крім того, рекурсивні співвідношення дають можливість наочної уяви про алгоритм реалізації складних циклічних процесів на основі рекурсивних обчислень по декількох змінних і не потребують традиційного зображення алгоритмів у вигляді блок-схем. Наведені фрагменти програм з побудови відповідних рекурсивних функцій демонструють переходи за запропонованими рекурсивними співвідношенням по різних аргументах та поєднують в єдине ціле функцію для знаходження кінцевого результату. Запропоновані алгоритми рекурсивних функцій по декількох змінних можуть бути реалізовані у функціональному програмуванні багатьма сучасними мовами програмування, оскільки вони дають змогу компонувати та комбінувати функції.

#### Список літератури:

1. Трофименко О. Г. С++. Основи програмування. Теорія та практика : підручник / [О. Г. Трофименко, Ю. В. Прокоп, І. Г. Швайко, Л. М. Букага та ін.] ; за ред. О. Г. Трофименко. – Одеса: Фенікс, 2010. – 544 с.
2. Stroustrup, Bjarne (2008). The C++ Programming Language (Fourth ed.). Addison-Wesley.
3. Васильєв О. М. Програмування на С++ в прикладах і задачах / О. М. Васильєв – Київ : Ліра-К, 2017. – 382 с.
4. Lippman, Stanley B.; Lajoie, Josée; Moo, Barbara E. (2013). C++ Primer (Fifth ed.). Addison-Wesley.
5. Stroustrup, Bjarne (2014). Programming: Principles and Practice Using C++ (Second ed.). Addison-Wesley.
6. Josuttis, Nicolai M. (2012). The C++ Standard Library, A Tutorial and Reference (Second ed.). Addison-Wesley.
7. Steven Prata (2012). C++ Primer Plus. (6th ed.). Addison-Wesley.
8. Грицюк Ю. І. Програмування мовою С++ : навчальний посібник / Ю. І. Грицюк, Т. Є. Рак – Львів : Вид-во Львівського ДУ БЖД, 2011. – 292 с.
9. Scott Meyers (2008). Effective C++, Third Edition: 55 Specific Ways to Improve Your Programs and Designs, (3rd Edition).
10. Васильєв О. М. Алгоритми / О. М. Васильєв – Київ : Ліра-К, 2022. – 424 с.

#### **Dromenko V.B., Pylypenko Yu.M., Kyselov V.B. APPLICATION OF RECURSIVE ALGORITHMS AND FUNCTIONS ACCORDING TO SEVERAL VARIABLES IN THE ORGANIZATION OF CYCLIC PROCESSES**

*The purpose of the work is to find and implement means of demonstrating the features of recursive calculations on several variables for the organization of complex cyclical processes when solving problems.*

*The recursive method of building (defining) a class or object is based on the defined preliminary tasks of one or more (usually simple) of its basic cases or methods and, subsequently, the task of building rules of the defined class based on them. The initial values are set by the user and the rules for building subsequent images through the previous ones are specified. The research uses the theory of algorithms for the structured construction of algorithms; concepts of various forms of recursion and recursive calculations.*

*Non-standard approaches of applying recursion on several variables to the solution of problems with complex cyclic processes, in contrast to the traditional application of recursion on one variable, are demonstrated. The implementation of these approaches consists in formulated mathematical expressions of recursive relations, in which the list of parameters transferred to the recursive function is clearly defined; the formula of the next element to be used in the recursive process; the condition for terminating the sequence of execution of recursive function calls. Examples of the practical application of the user function (subroutine) with recursion in two and three variables are given, which are based on the developed recursive relations.*

*The proposed approaches for demonstrating the features of recursive calculations for the organization of complex cyclic processes are based on the developed recursive relations and are implemented in the form of a user function (subroutine) with recursion in two and three variables.*

*The given descriptions of algorithms based on recursive relations for several variables provide a visual representation of the implementation of complex cyclic processes and do not require the traditional representation of algorithms in the form of block diagrams. At the same time, the proposed algorithms can be implemented in functional programming in many modern programming languages, as they allow to compose and combine functions.*

**Key words:** recursion, recursive relations, user function (subroutine) with recursion on several variables, software implementation of recursion on several variables.

УДК 004.942:697.245

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/22>**Дудкін К.В.**

ТОВ «КВ-автоматизація»

**Гродов В.Ф.**

ПЗВО «Дніпровський технологічний університет ШАГ»

**Дубровський С.С.**

ПЗВО «Дніпровський технологічний університет ШАГ»

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ НИЗЬКОЇ ТЕПЛИЦІ З ТРУБЧАСТИМИ ГАЗОВИМИ НАГРІВАЧАМИ НА ПЕЛЕТАХ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБІГРІВУ

Розглядається система опалення низької теплиці. Для опалення використовується трубчастий газовий нагрівач, який розташовується на нульовому рівні всередині теплиці. У якості палива використовуються паливні гранули – пелети з деревини. В результаті аналізу останніх досліджень і публікацій показано, що традиційно для опалення теплиць застосовуються системи опалення з розташуванням інфрачервоних нагрівачів у верхніх зонах простору теплиці. Такий підхід неможливий при опаленні низьких теплиць, тому що променистий тепловий потік буде перевищувати допустиме значення по санітарних нормам. Вихід з цього становища – розташувати трубчасті нагрівачі на нульовому рівні і зменшити можливе випромінювання початкової ділянки трубчастого нагрівача, використовуючи теплову ізоляцію цієї ділянки. Це нове технічне рішення потребує відповідного експериментального підтвердження. Ціллю даної роботи є викладення результатів експериментального дослідження теплового режиму всередині теплиці по площі та внутрішньому простору теплиці у реальних умовах експлуатації системи опалення в опалювальний період. Передбачається, що результати експериментального дослідження теплового режиму дозволять перейти до розробки адекватної математичної моделі системи опалення низької теплиці з трубчастими газовими нагрівачами на пелетах. Для експериментального дослідження вибрана низька теплиця з трубчастим газовим нагрівачем, що працює на пелетах. Розміри теплиці у плані 21 м на 7 м, зовнішнє покриття виконане з полікарбонату. Система автоматичної подачі пелет регулювала потужність системи опалення від 10 до 40 кВт, яка здійснювалось від датчика температури повітря всередині теплиці. При дослідженні вимірялися температури у різних точках на плані теплиці і у різних точках по висоті теплиці. На плані теплиці були вибрані 9 точок, і для кожної з яких вимірялися температури повітря у трьох точках по висоті теплиці, всього – 27 точок виміру температури внутрішнього повітря. Встановлено, що незважаючи на нерівномірність виділення тепла від трубчастого нагрівача по його довжині температурне поле по різних зонах всередині теплиці має досить рівномірний характер. А також встановлено, що для невисокої теплиці при застосуванні трубчастого газового нагрівача, розташованого на нульовому рівні по периметру теплиці, забезпечує рівномірне поле температури по висоті теплиці. Середнє арифметичне коливання температури по висоті теплиці в окремих зонах лежить у межах 0,04–0,11 градусів за Цельсієм. Експериментальне дослідження показало, що головна задача математичного моделювання системи опалення низької теплиці потребує математичного моделювання трубчастого газового нагрівача на пелетах. Наведені основні складові відповідного математичного моделювання як математичної моделі гідравлічного ланцюга з розподіленими параметрами.

**Ключові слова:** низька теплиця, трубчастий газовий нагрівач на пелетах, експериментальні дослідження, температурний режим, математичне моделювання, гідравлічні ланцюги з розподіленими параметрами.

**Постановка проблеми.** Використання відновлювальних джерел енергії – актуальний напрям розвитку теплоенергетики. Особливо привабливаним є використання паливних гранул (пелет)

для опалення теплиць. Відомо багато технічних рішень для систем опалення теплиць, в тому числі при використанні природного або зрідженого газу. Серед таких рішень – використання приладів

інфрачервоного газового обігріву, що можливо застосовувати для опалення достатньо високих теплиць, але не можливо застосовувати для низьких теплиць через порушення санітарних вимог. Нові технічні рішення для опалення низьких теплиць – трубчасті газові нагрівачі, що працюють на пелетах і розташовуються на нульовому рівні по периметру теплиці. Для таких систем було невідомо, чи забезпечується якісне опалення і раніше не були розроблені математичні моделі для систем опалення низьких теплиць з трубчастими газовими нагрівачами на пелетах. Для вирішення поставлених задач необхідно експериментальне дослідження теплового режиму низької теплиці.

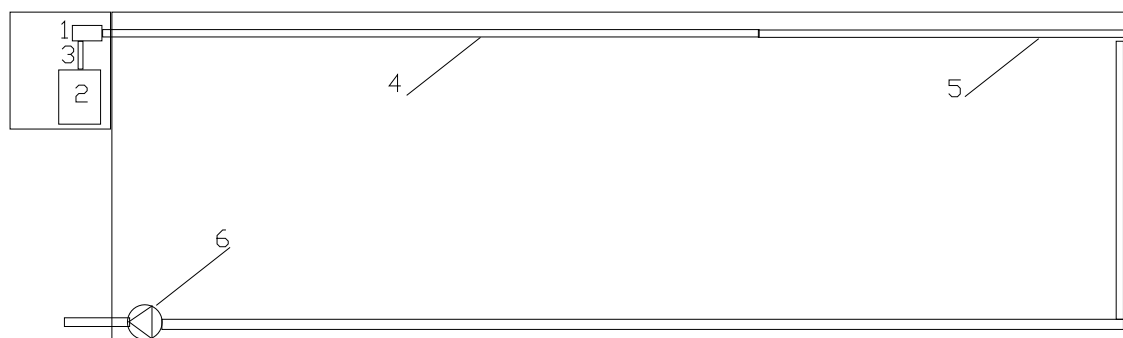
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомі технічні рішення з застосуванням інфрачервоного обігріву теплиць [1]. При цьому обігрівачі розташовуються на достатньої висоті всередині високих теплиць. Аналогічне розташування розглядалось при аналізі методів розрахунку систем інфрачервоного опалення. Узагальнений підхід до моделювання та розрахунку теплового балансу сонячних теплиць з урахуванням внутрішніх теплових потоків можна знайти в [2]. Нові технічні рішення дали можливість використовувати пелети в системах опалення теплиць в тому числі з трубчастими газовими нагрівачами [3–6]. Але дослідження теплового режиму всередині низької теплиці при застосуванні системи опалення з трубчастими газовими нагрівачами на пелетах раніше не виконувалось. Математичне моделювання трубчастих газових нагрівачів, в тому числі на пелетах, представлено у результатах [6], ці результати, а також [7–9] можна бути врахувати при розробці математичної моделі системи опалення низької теплиці з трубчастими газовими нагрівачами на пелетах.

**Метою статті є** викладення результатів експериментального дослідження теплового режиму всередині теплиці по площі та внутрішньому простору теплиці у реальних умовах експлуатації системи опалення в опалювальний період, та на основі цього розробка адекватної математичної моделі системи опалення низької теплиці з трубчастими газовими нагрівачами на пелетах.

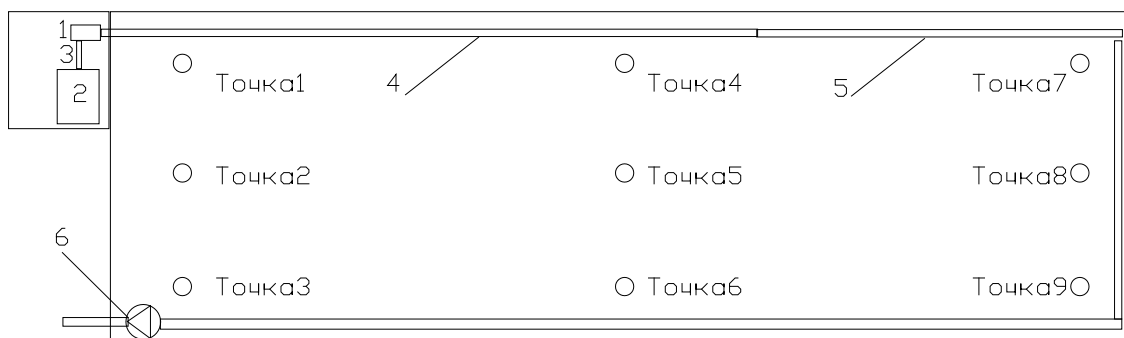
**Виклад основного матеріалу.** Розроблена конструкція трубчастого газового нагрівача на пелетах досліджувалась у лабораторних умовах і на реальному об'єкті. У якості реального об'єкту застосування вибрана система теплопостачання теплиці у м. Дніпропетровськ. Розміри теплиці у плані 21 м на 7 м, зовнішнє покриття виконане з полікарбонату. Для теплопостачання теплиці був запроєктований вузол розміщення пелетного пальника з оперативним бункером для пелет і системою автоматичної подачі пелет для регулювання потужності системи теплопостачання від 10 до 40 кВт. Регулювання потужності теплопостачання здійснювалось від датчика температури повітря всередині теплиці.

При експериментальному дослідженні визначались наступні параметри: теплова потужність пальника, витрата газоповітряної суміші і припливного повітря, температури на зовнішній поверхні трубчастого нагрівача по його довжині. Для основного досліджуваного режиму  $Q = 20$  кВт,  $V = 320$  м<sup>3</sup>/год. Діаметр трубчастого нагрівача 150 мм, товщина стінки сталевих труби – 3 мм на початковій ділянці довжиною 18 м і 0,55 мм на подальшій довжині нагрівача від 18 м до 48 м.

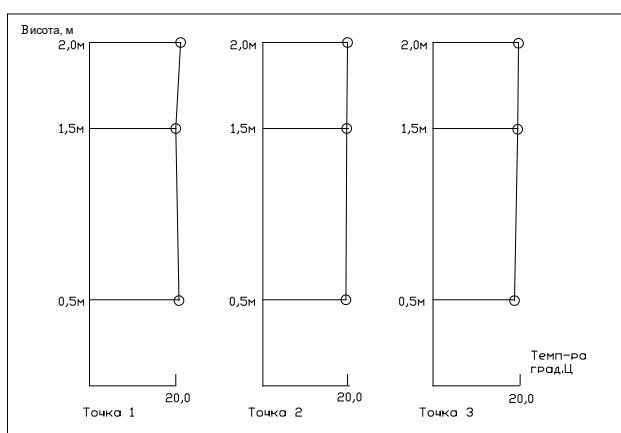
Виконувалось дослідження температурного режиму у низьких теплицях з розробленими трубчастими газовими нагрівачами. Наведемо результати дослідження температурного режиму



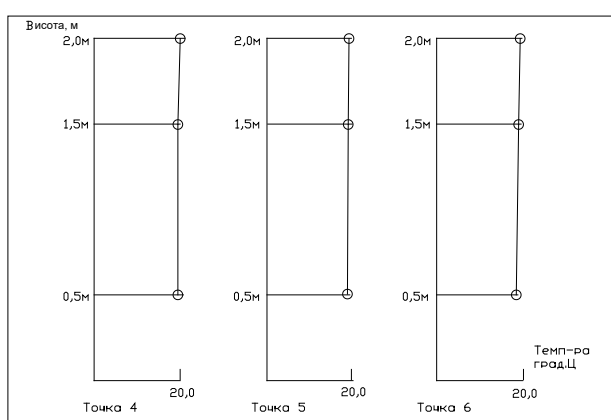
**Рис. 1.** План теплиці з трубчастим газовим нагрівачем на пелетах: 1 – газовий пальник з вузлом газифікації пелет; 2 – оперативний бункер для пелет; 3 – лінія автоматичної подачі пелет; 4 – початкова ділянка нагрівача (18 м); 5 – П-образна ділянка нагрівача (30 м); 6 – витяжний вентилятор



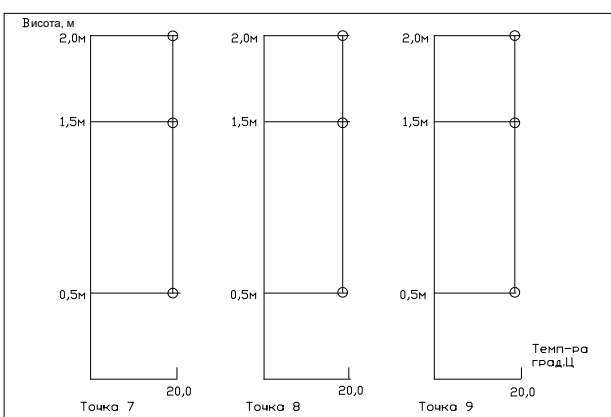
**Рис. 2. План теплиці з розташування зон виміру температури внутрішнього повітря (точки 1–9):**  
 1 – газовий пальник з вузлом газифікації пелет; 2 – оперативний бункер для пелет;  
 3 – лінія автоматичної подачі пелет; 4 – початкова ділянка нагрівача (18 м);  
 5 – П-образна ділянка нагрівача (30 м); 6 – витяжний вентилятор



**Рис. 3. Розподіл температури внутрішнього повітря у зонах 1–3 по висоті теплиці**



**Рис. 4. Розподіл температури повітря у зонах 4–6 по висоті теплиці**



**Рис. 5. Розподіл температури повітря у зонах 7–9 по висоті теплиці**

у теплиці з трубчастим газовим нагрівачем, що працює на пелетах.

На рис. 2 – план низької теплиці, для якої досліджувались температурні режими. У якості прикладу наведемо режим при таких даних:

Температура зовнішнього повітря  $+3,7^{\circ}\text{C}$ , початкова температура всередині теплиці  $+8,3^{\circ}\text{C}$ . Теплова потужність нагрівача – 24 кВт.

При дослідженні вимірялися температури у різних точках на плані теплиці і у різних точках по висоті теплиці. На плані теплиці були вибрані 9 точок, розташування яких наведені на рис. 5.6, і для кожної з яких вимірялися температури повітря у трьох точках по висоті теплиці: 0,5 м, 1,5 м, 2,0 м, всього – 27 точок виміру температури внутрішнього повітря.

С початку роботи трубчастого газового нагрівача після 25 хвилин його роботи встановився практично стаціонарний температурний режим, який характеризується досить рівномірними значеннями температури як у різних точках на плані так і по висоті теплиці.

Значення температури внутрішнього повітря використані для побудови діаграм розподілу температури, що наведені на рис. 3–5.

З аналізу розподілу температури на плані теплиці та по висоті теплиці (рис. 5.7–5.9) можна зробити висновки:

1. Незважаючи на нерівномірність виділення тепла від трубчастого нагрівача по його довжині температурне поле по різних зонах всередині теплиці має досить рівномірний характер. **Середня температура по різних зонах коливається у межах: 19,2 – 20,1 С** і по різних зонах має вигляд матриці середніх температур (у градусах Цельсія):

Точка 1 – 20,1    Точка 2 – 19,27    Точка 3 – 19,23  
Точка 4 – 19,77    Точка 5 – 19,33    Точка 6 – 19,3  
Точка 7 – 19,4    Точка 8 – 19,2    Точка 9 – 19,23

2. Для невисокої теплиці при застосуванні трубчастого газового нагрівача, розташованого на нульовому рівні по периметру теплиці забезпечує рівномірне поле температури по висоті теплиці. **Середнє арифметичне коливання температури по висоті теплиці в окремих зонах лежить у межах 0,04 – 011 С** і має вигляд матриці коливань температури (у градусах Цельсія):

Точка 1 – 0,07    Точка 2 – 0,09    Точка 3 – 0,11  
Точка 4 – 0,09    Точка 5 – 0,04    Точка 6 – 0,07  
Точка 7 – 0,0    Точка 8 – 0,0    Точка 9 – 0,04

Математична модель системи обігріву низької теплиці можна представити у вигляді стаціонарної математичної моделі з урахуванням таких основних процесів:

1. Процес руху та теплообміну газоповітряної суміші всередині трубчатої ділянки нагрівача.
2. Процес теплопередачі від трубчатої поверхні нагрівача до повітря всередині теплиці.
3. Процес теплопередачі від повітря всередині теплиці до повітря оточуючого теплицю середовища.

Математична модель системи обігріву теплиці, перш за все, складається з математичної моделі газового трубчастого нагрівача на пелетах, яка включає наступне.

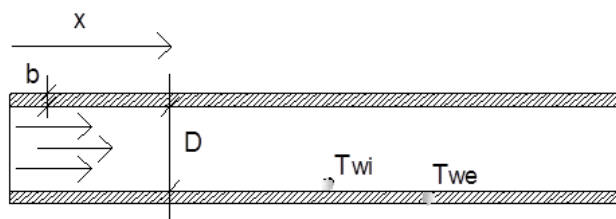


Рис. 6. Схема ділянки трубчастого газового нагрівача

$T_o$  – температура повітряного середовища в теплиці;  $T_{wi}$  – температура внутрішньої поверхні стінки;  $T_{we}$  – температура зовнішньої поверхні стінки;  $b$  – товщина стінки

Основні рівняння математичної моделі можна представити таким чином.

Рівняння руху:

$$dP = -\frac{\lambda}{D} \cdot \frac{\rho \cdot \omega^2}{2} \cdot dx + g(\rho_0 - \rho) \cdot dh$$

$\lambda$  – коефіцієнт гідравлічного опору.  $\lambda = f(Re)$ , де:  $Re = \frac{\omega \cdot d}{\nu}$  – число Рейнольдсу;  $\frac{\rho \cdot \omega^2}{2}$  – швидкісний напір;  $dP$  – зміна тиску завдяки руху;  $\rho_0$  – густина повітря у навколишньому середовищі;  $\rho$  – густина газоповітряної суміші всередині жарової труби;

$dx$  – приріст координати вздовж жарової труби;  $dh$  – приріст висоти підйому труби;  $h = h(x)$  – висота підйому труби.

Рівняння збереження маси:

$$\rho \omega F = M = const$$

Рівняння стану (рівняння ідеального газу):

$$P = \rho RT$$

Рівняння теплообміну:

$$dQ_1 = \alpha_1 \cdot \pi D \cdot dx (T - T_{wi})$$

$$dQ_2 = EC \cdot \pi D \cdot dx (T^4 - T_{wi}^4)$$

$$dQ_3 = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \pi D \cdot dx (T_{wi} - T_{we})$$

$$dQ_4 = \alpha_2 \cdot \pi D \cdot dx (T_{we} - T_o)$$

$$dQ_1 + dQ_2 = dQ_3 = dQ_4$$

$$\rho \omega F C_p dT = -dQ_4$$

$dQ_1$  – тепловий потік від суміші до стінки труби, який передається конвекцією (завдання руху пару та повітря);  $dQ_2$  – тепловий потік від суміші до стінки труби, передається випромінюванням.  $CO_2, H_2O$  – поглинають добре і випромінюють. Якщо є  $CO_2, H_2O$ , то ступінь чорноти  $\epsilon \neq 0$ , її можна розраховувати.  $dQ_3$  – тепловий потік від суміші до стінки труби, передається теплопровідністю від внутрішньої поверхні стінки до зовнішньої;  $dQ_4$  – тепловий потік від зовнішньої поверхні стінки до оточуючого простору теплиці;

Поєднання математичної моделі трубчастого газового нагрівача з математичними моделями обігріву повітря всередині теплиці та математичної моделі теплообміну та теплопередачі від внутрішнього повітря теплиці до навколишнього середовища – це задача наступних досліджень.

#### Висновки:

1. Експериментальне дослідження температурного режиму всередині низької теплиці при розташуванні трубчастого газового нагрівача на нульовому рівні по периметру теплиці виявило, що температурне поле внутрішнього повітря характеризується рівномірністю як по зонам на плані теплиці, так і по висоті теплиці.

2. Математична модель системи обігріву низької теплиці з урахуванням результатів експериментального дослідження повинна бути стаціонарною і не обов'язково враховувати геометрію розміщення трубчастого газового нагрівача на пелетах на нульового рівні всередині теплиці.



## Список літератури:

1. Болотських М.М. Інфрарчервоний обігрів теплиць за допомогою електричних довгохвильових нагрівачів панелей / М.М. Болотських // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 9 (140). – С. 43–52.
2. Khalimov, A.G., Khairiddinov, B.E., Kim, V.D. *et al.* Modeling the heat balance of a solar greenhouse with a passive heat accumulator. *Appl. Sol. Energy* **49**, 211–214 (2013). <https://doi.org/10.3103/S0003701X13040063>
3. Дудкін К.В. Повітряно-водяна система теплопостачання теплиць з трубчастими газовими нагрівачами / К.В.Дудкін, В.В.Ткачова В.В. Данішевський // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/8 (63) -2013.- pp. 57-60.
4. Irodov V., Shaptala M., Dudkin K., Shaptala D., Prokofieva H. Development of evolutionary search algorithms with binary choice relations when making decisions for pellet tabular heaters// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3/8 ( 111 ) 2021. pp. 50– 59. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.235837.
5. Irodov V.F., Shaptala M.V., Dudkin K.V., Shaptala D.E., Chirin D.A. Decision-making at evolutionary search during limited number of fuzzy experiments with multiple criteria // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2022. – No 1 – P.167–175. DOI 10.15588/1607-3274-2022-1-17
6. Математичне моделювання та оптимізація теплопостачання з трубчастими газовими нагрівачами : навчальний посібник / В. Ф. Іродов, С. С. Дубровський, К.В. Дудкін; під ред. В.Ф. Іродова. – Дніпро : ПрВНЗ ДТУ «ШАГ», 2022. – 120 с.
7. Дудкін К.В. Експериментальне дослідження роботи початкової ділянки трубчастого газового нагрівача / Дудкін К.В., Ткачова В.В. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури.- Д.: ПДАБА, 2013.- №6.- С.4-6.
8. Irodov V. F., Barsuk R. V. Decision-making Limited Number of Experiments With Multiple Criteria, Radio Electronics, Computer Science, Control, 2020, No. 1, pp. 200–208. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-1-20>
9. Irodov V.F., Shaptala M.V., Dudkin K.V., Shaptala D.E., Chirin D.A. Decision-making at evolutionary search during limited number of fuzzy experiments with multiple criteria // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2022. – No 1 – P.167–175. DOI 10.15588/1607-3274-2022-1-17.

**Dudkin K.V., Irodov V.F., Dubrovskiy S.S. EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL REGIME OF A LOW GREENHOUSE WITH TUBULAR GAS HEATERS ON PELLETS FOR THE CREATION OF A MATHEMATICAL HEATING MODEL**

*The heating system of a low greenhouse is considered. For heating, a tubular gas heater is used, which is located at zero level inside the greenhouse. Fuel pellets are used as fuel – wood pellets. As a result of the analysis of the latest research and publications, it is shown that heating systems with the location of infrared heaters in the upper zones of the greenhouse space are traditionally used for heating greenhouses. This approach is impossible when heating low greenhouses, because the radiant heat flow will exceed the permissible value according to sanitary standards. The way out of this situation is to place the tubular heaters at the zero level and reduce the possible radiation of the initial section of the tubular heater; using thermal insulation of this section. This new technical solution needs appropriate experimental confirmation. The purpose of this work is to present the results of an experimental study of the thermal regime inside the greenhouse on the area and internal space of the greenhouse in real conditions of operation of the heating system during the heating period. It is assumed that the results of the experimental study of the thermal regime will allow to proceed to the development of an adequate mathematical model of the heating system of a low greenhouse with tubular gas heaters on pellets. A low greenhouse with a tubular gas heater working on pellets was chosen for the experimental study. The dimensions of the greenhouse in plan are 21m by 7m, the outer covering is made of polycarbonate. The automatic pellet supply system regulated the power of the heating system from 10 to 40 kW, which was controlled by air temperature sensors inside the greenhouse. During the study, temperatures were measured at different points on the plan of the greenhouse and at different points along the height of the greenhouse. On the plan of the greenhouse, 9 points were selected, and for each of them air temperatures were measured at three points along the height of the greenhouse, a total of 27 points of internal air temperature measurement. It was established that despite the unevenness of heat release from the tubular heater along its length, the temperature field in different zones inside the greenhouse has a fairly uniform character. And it was also found that for a low greenhouse, when using a tubular gas heater located at the zero level along the perimeter of the greenhouse, it provides a uniform temperature field along the height of the greenhouse. The average arithmetic temperature fluctuation along the height of the greenhouse in individual zones lies within 0.04–0.11 degrees Celsius. An experimental study showed that the main task of mathematical modeling of the heating system of a low greenhouse requires mathematical modeling of a tubular gas heater on pellets. The main components of the corresponding mathematical modeling as a mathematical model of a hydraulic chain with distributed parameters are given.*

**Key words:** low greenhouse, tubular gas pellet heater, experimental studies, temperature regime, mathematical modeling, hydraulic circuits, distributed parameters.

**Забуга А.Г.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

*Статтю присвячено проблемі оцінювання знань в період реформування системи вищої освіти України. Це питання набуло особливої актуальності після запровадження дистанційного навчання у переважній більшості ВНЗ. Відомо, що на якість підготовки майбутніх фахівців впливає постійне використання різноманітних видів педагогічного контролю, який є одним із ефективних засобів стимулювання навчально-пізнавальної діяльності студентів. Також зазначається, що оцінювання результатів набуття знань студентами у процесі вивчення дисципліни здійснюється на основі системи критеріїв і показників, яка враховує основні структурні компоненти формування майбутніх спеціалістів. Спираючись на положення про організацію навчального процесу підготовки фахівців, згідно з яким контроль успішності студента здійснюється з використанням системи ECTS та національною шкалою, автором статті пропонується власна методика оцінювання рівня набутих знань. Це є важливим елементом створення оптимальних умов для ефективної роботи нової стобальної системи оцінювання знань у ВНЗ. Спираючись на аналіз існуючих джерел, автором сформована постановка проблеми. На основі систематизації літературних даних означена мета даної розробки. В процесі реалізації запропонованої методики автором вводяться деякі основні поняття, роз'яснення яких надається у статті. Запропонована класифікація рівнів успішності та відповідний розподіл студентів на групи. Висвітлено зв'язок показників успішності з отриманими результатами. Описані математичні методи, використані для розрахунку якості набутих знань. За допомогою методів математичної статистики оцінюються ймовірнісні критерії для визначення успішності студентів. Аналізується роль даної методики у загальному контексті системи вищої освіти. Надаються пропозиції щодо подальшого розвитку та оптимізації процесу оцінювання знань.*

**Ключові слова:** система оцінювання, шкала ECTS, математична статистика, рівень успішності, теорія ймовірності.

**Постановка проблеми.** Питання адекватного оцінювання досягнень студентів завжди було дуже актуальним та значущим. Особливої ваги ця проблема набула саме тепер, коли в Україні відбувається реформування системи освіти. Необхідність змін у системі оцінювання визначена на державному рівні. Це пов'язано з тим, що при організації навчального процесу в вищих навчальних закладах саме оцінюванню знань студентів належить важлива роль у забезпеченні високої якості освіти та формуванні конкурентоспроможних фахівців [1, с. 6].

Оцінка – це одна із важливих складових впливу на особистість студента у навчально-виховному процесі, регулятор, показник результативності, стимул діяльності студента. Як свідчить практика, немає ідеальних систем оцінювання, адже кожна із тих, що використовується, має свої сильні і слабкі сторони. Вочевидь, варто не шукати ідеальні системи, а проектувати та використовувати ті, які мають найбільшу кількість переваг.

Сьогодні навчання передбачає кардинально інший погляд щодо оцінювання знань, умінь і навичок студентів. Традиційна п'ятибальна система змінилася на систему накопичення балів, суть якої полягає в тому, що студент протягом вивчення дисципліни повинен набрати від 60 балів (задовільно) до 100 балів (відмінно). Чим більше балів набирає студент, тим вищий рівень якості його знань з конкретного курсу [2–5].

Запровадження стобальної системи оцінювання має за мету забезпечити об'єктивне визначення рівня навчальних досягнень студентів. Але при здійсненні оцінювання засвоєних знань, умінь і навичок здобувачів вищої освіти виникають певні проблеми щодо адекватного визначення рівня підготовки студентів. Тому кожен викладач прагне створити власну оптимальну шкалу оцінювання, за допомогою якої можна було б найкращим чином визначити рівень знань, набутих студентами. Відповідним прикладом може слугувати методика обчислення якості успішності, запропонована автором цієї статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішення проблеми підвищення якості підготовки спеціалістів з вищою освітою на сучасному етапі передбачає значне поліпшення контролю навчальної роботи студентів як важливого засобу управління процесом здобуття знань. Тому цьому питанню присвячено низку робіт, де розглядаються принципи організації контролю й оцінки знань студентів. Так, наприклад, згідно з концепцією Є. Перовського, Ю. Бабанського, М. Ярмаченка, В. Онищука та інших [6, с. 113], контроль успішності навчання виконує водночас п'ять функцій: контролюючу (перевірну), навчальну, виховну, розвивальну та методичну. Заліки, екзамени, курсові та дипломні роботи й педагогічна практика традиційно вважаються основними формами контролю навчальної роботи студентів. Інколи викладачі проводять іспити за білетами у вигляді вільної бесіди. При цьому запитання білета виступають стрижнем такої бесіди, а оцінки оголошуються, як її підсумок. Це сприяє створенню атмосфери довіри та взаєморозуміння. Великим майстром проведення іспитів у формі співбесіди був професор Київського державного університету С.Х. Чавдаров [7]. У деяких ВНЗ нагромаджений певний досвід проведення іспитів взагалі без використання білетів (з урахуванням специфіки курсу). Подібний іспит з «відкритим підручником» розрахований, насамперед, на перевірку уміння швидко знайти необхідну інформацію, користуватися додатковою літературою, довідниками, навчальними посібниками тощо. Вочевидь, запропонований тип екзамену доцільно проводити зі складних і великих за обсягом дисциплін. Так, академік П.В. Копнін (Київський університет) вважав, що такий іспит має сенс проводити, наприклад, у бібліотечному залі з відкритим фондом літератури [8, с. 385]. Але, в будь-якому випадку, кожна з форм контролю має свої особливості й залежить від мети, змісту, методів та характеру освітнього процесу.

Сьогодні, коли дедалі більшого поширення у вищій школі набувають форми і засоби дистанційного навчання [9, с. 47], особливе значення надається об'єктивному підрахунку балів, отриманих студентами в процесі вивчення тієї чи іншої дисципліни. А тому метою даної статті є ознайомлення з авторською методикою переведення плюсів у бали, яку було розроблено та впроваджено у навчальний процес протягом кількох останніх років.

Методи дослідження. При розробці даної методики автором використовувались як загальні критерії оцінювання успішності студентів згідно з системою ECTS, так і спеціальні засоби, що ґрунтуються на методах математичної статистики тощо.

Викладення основного матеріалу та обговорення результатів. Протягом вивчення курсу студенти накопичують певну кількість плюсів за виконані ними завдання (участь у семінарах, колоквиумах, написання рефератів, підготовку та демонстрацію презентацій, виконання розрахункових робіт, розв'язування задач тощо). Далі необхідно трансформувати накопичені плюси у загальноприйнятні бали. Для виконання цього завдання і пропонується наступна методика. Для її ілюстрації зручно розподілити студентів на 3 групи: ті, що досягли найкращих результатів (Перфекціоністи), студенти із середнім показником успішності (Претенденти) та невстигаючі (Аутсайдері). Отримані студентами попередні результати (плюси) можна представити у вигляді таблиць, наведеної нижче.

i	ПІБ	Кількість плюсів, $n_i$	Кількість балів, $b_i$
1	Претендент 1	10	
2	Перфекціоніст	50	
3	Претендент 2	5	
4	Аутсайдер 1	0	
5	Претендент 3	15	
6	Аутсайдер 2	0	
7	Аутсайдер 3	0	

Нехай максимальний можливий бал  $b_{max}=10$  і мінімальний можливий бал  $b_{min}=0$ . Зрозуміло, що студент з максимальною кількістю плюсів ( $n_{max}=50$ ) має отримати максимальну кількість балів  $b_{max}=10$ , а студенти з мінімальною кількістю плюсів ( $n_{min}=0$ ) – мінімальну кількість балів  $b_{min}=0$ . Питання полягає у тому, як обчислити бали Претендента 1, Претендента 2 і Претендента 3?

Відзначимо, що, якщо перераховувати плюси у бали за допомогою звичайної пропорції, то отримаємо для Претендента 1, Претендента 2 і Претендента 3 занижені значення:

$$b_1 = \frac{n_1}{n_{max}} b_{max} = \frac{10}{50} \cdot 10 = 2,$$

$$b_3 = \frac{n_3}{n_{max}} b_{max} = \frac{5}{50} \cdot 10 = 1,$$

$$b_5 = \frac{n_5}{n_{max}} b_{max} = \frac{15}{50} \cdot 10 = 3.$$

В результаті отримаємо наступну таблицю:

i	ПІБ	Кількість плюсів, $n_i$	Кількість балів, $b_i$
1	Претендент 1	10	2
2	Перфекціоніст	50	10
3	Претендент 2	5	1
4	Аутсайдер 1	0	0
5	Претендент 3	15	3
6	Аутсайдер 2	0	0
7	Аутсайдер 3	0	0

Описане вище заниження балів проявляється сильніше у більших групах. Для того, щоб дещо виправити ситуацію, будемо застосовувати методи математичної статистики, вважаючи, що успіхи студентів у навчанні можна розглядати згідно із законом нормального розподілу ймовірності. Нижче наведений відповідний розрахунок балів:

1) Знаходимо точкову оцінку математичного сподівання:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N n_i}{N} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5 + n_6 + n_7}{N} = \frac{10 + 50 + 5 + 0 + 15 + 0 + 0}{7} \approx 11,429,$$

де  $N$  – кількість студентів у групі (в нашому прикладі  $N=7$ ).

2) Знаходимо точкову оцінку середнього квадратичного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (n_i - \mu)^2}{N - 1}} = \left( \frac{(n_1 - \mu)^2}{N - 1} + \frac{(n_2 - \mu)^2}{N - 1} + \frac{(n_3 - \mu)^2}{N - 1} + \frac{(n_4 - \mu)^2}{N - 1} + \frac{(n_5 - \mu)^2}{N - 1} + \frac{(n_6 - \mu)^2}{N - 1} + \frac{(n_7 - \mu)^2}{N - 1} \right)^{1/2} = \left( \frac{(10 - 11,429)^2}{7 - 1} + \frac{(50 - 11,429)^2}{7 - 1} + \frac{(5 - 11,429)^2}{7 - 1} + \frac{(0 - 11,429)^2}{7 - 1} + \frac{(15 - 11,429)^2}{7 - 1} + \frac{(0 - 11,429)^2}{7 - 1} + \frac{(0 - 11,429)^2}{7 - 1} \right)^{1/2} \approx 17,962.$$

3) Виходячи із закону нормального розподілу ймовірності, обчислюємо ймовірності  $p_i$  того, що значення випадкової величини не перевищить  $n_i$ . Для цього застосовуємо формулу:

$$p_i = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_i - \mu}{\sigma}\right),$$

$$\text{де } \Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt - \text{функція Лапласа.}$$

Оскільки інтеграл, через який визначається функція Лапласа, не може бути обчислений в елементарних функціях, то для одержання значень функції  $\Phi(x)$  потрібно використати спеціальні таблиці, які можна знайти у підручниках з теорії ймовірності та математичної статистики або в інтернеті (наприклад, [https://matematuka.in.ua/info/formuly-z-teoriji-ymovirnosti/fx\\_int/](https://matematuka.in.ua/info/formuly-z-teoriji-ymovirnosti/fx_int/)). Враховуючи вищезазначене і той факт, що функція Лапласа є непарною ( $\Phi(-x) = -\Phi(x)$ ), обчислимо ймовірності  $p_i$ :

$$p_1 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_1 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{10 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(-0,08) = \frac{1}{2} - \Phi(0,08) \approx \frac{1}{2} - 0,0319 = 0,4681,$$

$$p_2 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_2 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{50 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(2,15) \approx \frac{1}{2} + 0,4838 = 0,9838,$$

$$p_3 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_3 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{5 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(-0,36) = \frac{1}{2} - \Phi(0,36) \approx \frac{1}{2} - 0,1406 = 0,3594,$$

$$p_4 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_4 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{0 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(-0,64) = \frac{1}{2} - \Phi(0,64) \approx \frac{1}{2} - 0,2389 = 0,2611,$$

$$p_5 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_5 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{15 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(0,20) \approx \frac{1}{2} + 0,0793 = 0,5793,$$

$$p_6 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_6 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{0 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(-0,64) = \frac{1}{2} - \Phi(0,64) \approx \frac{1}{2} - 0,2389 = 0,2611,$$

$$p_7 = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{n_7 - \mu}{\sigma}\right) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{0 - 11,429}{17,962}\right) \approx \frac{1}{2} + \Phi(-0,64) = \frac{1}{2} - \Phi(0,64) \approx \frac{1}{2} - 0,2389 = 0,2611.$$

4) Після цього обчислюємо бали за формулою:

$$b_i = b_{min} + \frac{p_i - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}),$$

де  $p_{min}$  – мінімальне значення ймовірності,  $p_{max}$  – максимальне значення ймовірності.

У прикладі, що розглядається,  $p_{min} = p_4 = p_6 = p_7 = 0,2611$  і  $p_{max} = p_2 = 0,9838$ . Враховуючи це, отримуємо наступні бали:

$$b_1 = b_{min} + \frac{p_1 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,4681 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) \approx 2,9,$$

$$b_2 = b_{min} + \frac{p_2 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,9838 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) = 10,$$

$$b_3 = b_{min} + \frac{p_3 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,3594 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) \approx 1,4,$$

$$b_4 = b_{min} + \frac{p_4 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,2611 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) = 0,$$

$$b_5 = b_{min} + \frac{p_5 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,5793 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) \approx 4,4,$$

$$b_6 = b_{min} + \frac{p_6 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,2611 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) = 0,$$

$$b_7 = b_{min} + \frac{p_7 - p_{min}}{p_{max} - p_{min}} \cdot (b_{max} - b_{min}) = 0 + \frac{0,2611 - 0,2611}{0,9838 - 0,2611} \cdot (10 - 0) = 0.$$

Заносимо одержані бали у таблицьку:

$i$	ПІБ	Кількість плюсів, $n_i$	Кількість балів, $b_i$
1	Претендент 1	10	2,9
2	Перфекціоніст	50	10
3	Претендент 2	5	1,4
4	Аутсайдер 1	0	0
5	Претендент 3	15	4,4
6	Аутсайдер 2	0	0
7	Аутсайдер 3	0	0

Як можна бачити, для Претендента 1, Претендента 2 і Претендента 3 були одержані вищі бали, ніж при розрахунку за допомогою звичайної пропорції.

Висновки і подальші напрями досліджень. Таким чином, запропонована методика дає можливість максимально об'єктивно визначити рівень успішності кожного студента та з допомогою методів математичної статистики розрахувати показник якості набутих знань. Це є важливим, оскільки оцінка – це одна із ключових складових впливу на особистість студента у навчально-виховному процесі. Вона є не лише показником результативності, але й стимулом подальшої діяльності здобувача освіти [10]. Тому форми і методи оцінювання навчальних досягнень студентів можуть служити як гуманізації навчального процесу, якщо вони сприяють розкриттю особистості, так і активізації його творчого духу та духовно-психічного потенціалу. Водночас, недостатньо об'єктивний підхід може призводити до відчуження особистості та втрати стимулу для подальшого самовдосконалення [11]. Тому подальший пошук оптимальної системи оцінювання має забезпечити об'єктивне визначення рівня навчальних досягнень студентів.

І кожен викладач, незалежно від рівня знань і досягнень студента, повинен створити для нього умови, за яких останній зможе чітко усвідомити отриманий ним результат. Це, в свою чергу, має надати поштовх для самореалізації та самоствердження особистості здобувача освіти [12]. Таким чином, об'єктивне комплексне оцінювання дозволить кожному студенту розкрити свій внутрішній потенціал, спонукає до самовдосконалення, стане стимулом до отримання особистих досягнень і дасть можливість відчувати успіх. А успішний студент – це успішна людина, успішна особистість, творча, вільна, гуманна, духовно зріла і морально досконала, громадська відповідальна, активна, ініціативна, розумна, здатна до вирішення життєвих проблем, готова до самооцінки, самоосвіти, самовдосконалення та самореалізації [13].

Отже, взаємодія зі студентами, координація, синтез їхньої співпраці в інтересах досягнення поставленої мети є чи не найважливішою складовою у роботі викладача. У процесі своєї діяльності педагог впливає на свідомість студентів, пояснює сутність процесу засвоєння знань як безпосередньо, так і через сучасні засоби. Тому керівна роль викладача реалізується за допомогою взаємодії функцій планування, організації, стимулювання, контролю, корекції та інформаційного забезпечення [14–15]. І подальша оптимізація освітнього процесу буде залежати як від створення належних умов викладання, так і від розробки ефективних методик, які забезпечать позитивну мотивацію у студентів [16–18]. Тобто виклики сучасності вимагають запровадження в системі вищої освіти нових інноваційних підходів, насамперед, у сфері оцінювання знань.

#### Список літератури:

1. Городецький В.І. Особливості оцінювання знань студентів і методичні вказівки до виконання проєкту: [методичні рекомендації]. Івано-Франківськ, 2013. 200 с.
2. Болонський процес в Україні 2005–2020: досягнення, виклики та перспективи. [https://erasmusplus.org.ua/wp-content/uploads/2022/03/BolognaStudy\\_Ukraine2005\\_2020\\_NEO\\_ukr.pdf](https://erasmusplus.org.ua/wp-content/uploads/2022/03/BolognaStudy_Ukraine2005_2020_NEO_ukr.pdf)
3. Згуровський М.З. Болонський процес: головні принципи та шляхи структурного реформування вищої освіти України. К.: НТУУ «КПІ», 2006. 544 с.
4. Ільченко А.М., Шейко С.В. Вища освіта і Болонський процес. Навчально-методичний посібник. Полтава, 2014. 316 с. <https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/9a344045-6928-4429-978e-0c8eb94813b2/content>
5. Рашкевич Ю.М. Болонський процес та нова парадигма вищої освіти. Львів: Львівська політехніка, 2014. 168 с.
6. Ковальчук З.Я. Критерії оптимізації навчання у вищому навчальному закладі. Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Психологія і педагогіка». Вип. 23. 2013. С. 112–121. <https://eprints.ua.edu/2539/1/Kovalchuk.pdf>
7. Чавдаров С.Х., Грищенко М.М. Тарас Григорович Шевченко і народна освіта. Київ: Вид-во Київського ун-ту, 1961. 56 с.
8. Київський національний університет імені Тараса Шевченка : Незабутні постаті / [Авт.-упор. О. Матвійчук, Н. Струк]. Київ: Світ Успіху, 2005. 464 с.

9. Gamaliia V., Sichkarenko H., Zabuga A. Digitalization in education: modern challenges. Materials of the IX-th International scientific-practical conference: "Modern trends of foreign language training of future specialists of non-native specialties in the multicultural space". Kyiv. June 02, 2023. P. 44–51.

10. Єгорова І.В. Моніторинг та оцінювання якості освіти: навчально-методичний посібник. Івано-Франківськ, 2021. 141 с.

11. Дороніна Т.О. Теорія і практика вищої професійної освіти в Україні: навч. посіб. Кривий Ріг: КДПУ, 2018. 250 с.

12. Удосконалення змісту й технологій оцінювання якості підготовки майбутніх фахівців відповідно до вимог європейської асоціації якості освіти: Матеріали регіонального науково-практичного семінару / За ред. Г.В. Терещука. Тернопіль: Вид-во ТНПУ ім. В.Гнатюка, 2007. 160 с.

13. Підласий І.П. Практична педагогіка або три технології. Інтерактивний підручник для педагогів ринкової системи освіти. К.: ВД «Слово», 2004. 616 с.

14. Зварич І.М. Оцінювання професійної діяльності викладачів у вищих навчальних закладах США. Молодь і ринок. № 9. 2016. С. 19–25. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mir\\_2016\\_9\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mir_2016_9_6)

15. Ріжняк Р.Я. Розвиток інформатики та інформаційних технологій у вищих навчальних закладах України у другій половині ХХ – на початку ХХІ століття. Монографія. Кіровоград: В-во «КОД», 2014. 360 с.

16. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на період до 2021 року. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/344/2013#Text>

17. Моніторинг якості освіти: принципи, форми, вимоги. Довідник-посібник. Хмельницький: ХОІППО. 2013. 61 с.

18. Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність» <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19#Text>

#### **Zabuga A.G. STUDENT PERFORMANCE ASSESSMENT AUTOMATION WITH MATHEMATICAL STATISTICS METHODS**

*The article is devoted to the problem of knowledge assessment in the period of reforming the higher education system in Ukraine. This issue became especially relevant after the introduction of distance learning in the vast majority of universities. It is known that the training quality of future specialists is affected by the constant using various types of pedagogical control. It is one of the effective stimulating means for the educational and cognitive activity of students. It is also noted that the results evaluation of knowledge acquisition by students in the process of studying the discipline is carried out on the basis of a system with definite criteria and indicators. They take into account the main structural components necessary for the formation of future specialists. Based on the regulations about the organization of the educational training process for specialists, according to which the control of the student's success is carried out using the ECTS system and the national scale, the author of the article has proposed his own method for assessing the level of acquired knowledge. This is an important element of creating optimal conditions for the effective operation using the new 100-point system of knowledge assessment in higher education institutions. Analyzing existing sources, the author formulated a problem statement. Based on the systematization of literary data, the purpose of this development is defined. In the process of implementing the proposed methodology, the author introduces some basic concepts, the explanation of which is also provided in the article. The classification of success levels and the corresponding division of students into groups is suggested. The relationship between progress indicators and the obtained results is highlighted. The mathematical methods used to calculate the quality of acquired knowledge are described. Using the methods of mathematical statistics, probabilistic criteria for determining the success of students are evaluated. The role of this method in the general context of the higher education system is analyzed. Suggestions for further development and optimization of the knowledge assessment process are provided.*

**Key words:** rating system, ECTS scale, mathematical statistics, success rate, probability theory.

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/24>**Завгородній В.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Завгородня Г.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Байраковський В.В.**

Державний університет інфраструктури та технологій

**Коваль Р.А.**

Державний університет інфраструктури та технологій

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЯВЛЕННЯ СХОЖИХ ПІСЕНЬ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ ЗВУКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК

*Робота присвячена проблемі, що виникає при спробі орієнтуватися в великому обсязі музичних композицій. У якості рішення, було запропоновано розробити метод, який дозволяє виявляти схожі пісні за звучанням та сортувати їх за ступенем подібності, використовуючи аналіз їх звукових характеристик.*

*В процесі роботи були розроблені алгоритми для визначення значень частотного балансу, темпу та тональності музичних композицій. Крім того, був створений метод пошуку схожих за звучанням музичних композицій. За результатами експерименту було підтверджено ефективність розробленого методу та розкрито його потенціал.*

*Була запропонована методика автоматизованого сортування музичних композицій за рівнем подібності їх звукових характеристик, включаючи частотний баланс, темп та тональність. Особлива увага була приділена аналізу саб-басових частот, що дозволяє отримати додаткову інформацію про звукові особливості композицій. Розроблений метод використовує комплексний підхід, який поєднує алгоритми аналізу звукових даних і математичні моделі для визначення значень звукових характеристик. Частотний баланс досліджує розподіл енергії по різних частотних діапазонах, темп визначає швидкість ритму, а тональність виявляє головну музичну тональність композиції. Аналіз саб-басових частот дозволяє отримати додаткову інформацію про нижній діапазон звуку, що має значення для виявлення специфічних характеристик та жанрових особливостей. Результати застосування цієї методики вказують на успішність автоматизованого сортування музичних композицій за рівнем їх звукової подібності.*

*Розроблена методика може бути використана для покращення існуючих музичних сервісів, особливо в контексті рекомендаційних систем з фільтрацією за змістом. Шляхом впровадження цієї методики, сервіси зможуть надавати користувачам більш точні й персоналізовані рекомендації музичних композицій на основі їх звукових характеристик.*

**Ключові слова:** музичні композиції, звукові характеристики, частотний баланс, метод пошуку, методика автоматизованого сортування музичних композицій, аналіз звукових даних.

**Постановка проблеми.** У сучасному світі, швидкість зростання обсягу інформації, яка зберігається на цифрових носіях, включаючи музику, є небувалою [1–3].

Завдяки зростанню числа музикантів і виходу нових творів, а також збільшенню обсягу доступної музики, стало важко орієнтуватися в цьому розмаїтті. Однак, розв'язком цієї проблеми стали потокові музичні сервіси [4].

Однак, велика кількість музики може перевищити можливості слухачів у відборі того, що

їм подобається. Саме тут рекомендаційні системи надають допомогу. Ці системи аналізують музичні уподобання слухачів на основі їхньої історії прослуховування, вибору пісень та інших даних [5, 6].

Крім того, деякі потокові музичні сервіси також пропонують функції фільтрації за змістом, які дозволяють користувачам налаштувати свої вподобання та отримувати більш точні рекомендації.

Отже, потокові музичні сервіси разом з рекомендаційними системами стали важливими

інструментами для орієнтації у великому обсязі музичної інформації. Вони допомагають користувачам відкривати нову музику, знайомитися з новими виконавцями і насолоджуватися незрівнянними музичними враженнями [7–9].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні технології сприяють створенню, зберіганню та поширенню величезної кількості даних у різних формах, включаючи текстові, аудіо, відео, зображення та інші формати. Це пов'язано зі збільшенням кількості медійного контенту, електронної комунікації, соціальних мереж, наукових досліджень, бізнес-даних та інших джерел інформації [10–12].

Однак, разом зі зростанням обсягу інформації виникають виклики, пов'язані з її ефективним зберіганням, організацією та здійсненням пошуку [13–15]. Технології обробки інформації, такі як штучний інтелект, машинне навчання та аналітика даних, стають важливими інструментами для управління «інформаційним вибухом» та виділення значущої інформації з шуму даних.

Сервіси, такі як Spotify [16], використовують складні алгоритми аналізу музичних уподобань користувачів та надання рекомендацій, які базуються на їхніх індивідуальних смаках. Ці алгоритми беруть до уваги різноманітні фактори, такі як жанр, настрій, популярність та інші параметри, щоб зробити персоналізовані рекомендації для кожного користувача.

Крім того, сервіси також використовують колективну інтелекцію, або так звану «подібність до інших користувачів», де рекомендації формуються на основі уподобань інших користувачів з подібними смаками.

У всіх цих випадках технології аналізу звуку, машинного навчання та штучного інтелекту використовуються для створення моделей, які можуть враховувати різноманітні параметри звуку та музичних композицій [17]. Ці моделі можуть використовуватися для автоматичного та точного сортування музики за ступенем подібності.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є:

1. Виявити звукові характеристики, які можуть бути використані для порівняння музичних композицій.

2. Розробити автоматичний метод визначення значень цих звукових характеристик у музичних композиціях.

3. Розробити методику порівняння та сортування музичних композицій за ступенем їх звукової подібності.

4. Провести експеримент та порівняти результати розроблених методик з результатами роботи існуючих музичних сервісів.

**Виклад основного матеріалу.** Для аналізу характеристик музичних композицій в даній роботі пропонується використовувати один формат для всієї музики. У даному методі використовується найбільш поширений для зберігання музики і забезпечення високої якості звуку формат MPEG-3 Layer 3 з бітрейтом 320 кбіт/с та частотою дискретизації 44 100 Гц.

*1. Визначення частотного балансу музичних композицій*

Основною характеристикою методу для порівняння та пошуку музичних композицій є їхній частотний баланс. Для цього використовується діапазон частот, який сприймає людське вухо, а саме від 25 Гц до 20 кГц. В музичній індустрії використовується стандарт ISO 266, де для роботи з частотами застосовується логарифмічна шкала. Щоб скласти частотний баланс композиції, також використовується логарифмічна шкала, на якій розміщено 500 точок з рівномірним інтервалом між ними, кожна точка відповідає певній частоті. Точність аналізу залежить від кількості використовуваних точок-частот, і в даному випадку було вирішено використовувати 500 точок. Збільшення кількості точок не призводить до значного зростання точності. Позначення точок відбувається від нижньої межі 25 Гц ( $n = 1$ ) до верхньої межі 20 кГц ( $n = 500$ ).

Для досягнення рівномірного розподілу частот за логарифмічною шкалою використовується наступна формула (1):

$$P = 25 \cdot 1,0135^{sn-1}, \quad (1)$$

де  $P$  – значення частоти;  $sn$  – порядковий номер частоти в діапазоні від 1 до 500.

При обчисленні рівня енергії звуку на кожному відліку дискретизації пісні для кожної частоти, визначається рівень енергії. Після цього, обчислюється середнє арифметичне значень рівнів енергії для кожної частоти. Отримана сукупність цих значень буде представляти частотний баланс.

Формула для розрахунку частотного балансу музичної композиції (2) може бути записана таким чином:

$$AAV_{sn} = \frac{\sum_{m=1}^m VL_{sn}^c}{m}, \quad (2)$$

де  $AAV_{sn}$  – середнє арифметичне значення енергії звуку на частоті  $sn$ ;  $sn$  – порядковий номер частоти, який може знаходитись в діапазоні від 1 до 500;  $c$  – номер відліку дискретизації;  $VL$  – рівень гучності частоти  $sn$  у відліку  $c$ .



2. *Визначення темпу музичних композицій*

Для визначення сплесків звукової енергії рекомендується використовувати відрізки музики залежно від їх тривалості. Для цього можна використовувати мінімальний розмір ноти – 1/64 такту, і визначити її тривалість. Варто зазначити, що тривалість цієї ноти залежатиме від темпу музичної композиції: чим вищий темп, тим коротше триватиме ця нота.

Згідно з дослідженням Д. Олівета, яке присвячене виявленню закономірностей у музиці, найшвидший темп, що використовується в музиці, складає 238 BPM [8]. В такому темпі 1/64 такту має тривалість 15 мс.

При частоті дискретизації 44 100 Гц, тривалість 15 мс складатиме 661,5 відліку. Оскільки відліки не можуть бути розділені на частини, дробове значення округлюється, і в результаті отримується 662 відліки. Для подальших розрахунків будемо позначати це значення як  $nb$ .

Кількість звукової енергії у виділеному відрізку музичної композиції розрахуємо за формулою (3):

$$ASE_{nb} = \sum_m^{nb} ASE^c, \quad (3)$$

де  $ASE_{nb}$  – означає кількість звукової енергії, що міститься у відліках;  $nb$  – кількість відліків у 1/64 такту;  $c$  – номер відліку дискретизації; а  $ASE^c$  – кількість енергії звуку у відліку  $c$ .

Для визначення найближчої середньої звукової енергії, достатньо використовувати фрагмент музики тривалістю 1 секунда. Якщо фрагмент буде коротшим, то сплески будуть сприйняті як шум, а не як ритмічні удари. З іншого боку, якщо фрагмент буде довшим, це негативно вплине на точність розрахунків. Після визначення загального рівня енергії звуку для фрагмента тривалістю 1 секунда і поділу його на кількість відрізків, можемо розрахувати найближчу середню енергію звуку за допомогою наступної формули (4):

$$ASE_n = \frac{1}{nb \sum_{c=1}^{SF} ASE^c}, \quad (4)$$

де  $ASE_n$  – найближча середня енергія звуку, яка міститься в  $SF$  відліках;  $SF$  – частота дискретизації;  $nb$  – кількість відліків, що містяться в 1/64 такту;  $c$  – порядковий номер відліку дискретизації;  $ASE^c$  – кількість енергії звуку, яка міститься у відліку  $c$ .

Далі необхідно визначити, наскільки значною має бути різниця між кількістю звукової енергії, виділеною у певному фрагменті, та найближчою середньою енергією звуку, щоб зробити висновок про присутність удару в цьому фрагменті.

Шляхом проведення експериментів було встановлено, що оптимальним є рівень різниці в 1,3 рази. Позначимо цей коефіцієнт як  $coef$ . Таким чином, удар буде слухово помітним, якщо буде виконуватися наступна умова, визначена формулою (5):

$$ASE_{nb} \geq coef \cdot ASE_n, \quad (5)$$

де  $ASE_{nb}$  – кількість звукової енергії, що міститься у виділеному фрагменті звуку;  $ASE_n$  – найближча середня енергія звуку;  $coef$  – коефіцієнт різниці між цими енергіями.

Виявивши удари, можна обчислити час між ними, а з нього розрахувати темп музичної композиції. Темп вважається кількістю чвертей такту, що звучать за хвилину. Наведемо формулу для обчислення темпу музичної композиції (6):

$$TMC = \frac{60}{t_{fs} - t_{ss}}, \quad (6)$$

де  $TMC$  – темп музичної композиції;  $t_{fs}$  – час першого удару;  $t_{ss}$  – час другого удару.

Оскільки цей алгоритм може виявляти удари не тільки в чверті, але й у половині, і у восьмій частині такту, то  $TMC$  (час ритмічного маркування) може бути занадто малим або великим. Для досягнення оптимального значення  $TMC$  рекомендується обирати значення між 100 і 200. Якщо темп не відповідає цьому діапазону, його можна збільшити або зменшити в 2 або 4 рази, щоб отримати бажане значення.

3. *Аналіз тоновості музичних композицій з метою встановлення їхнього музичного тонального центру*

У музиці існує певний діапазон частот, в якому інструменти не перетинаються один з одним, оскільки музиканти стараються зберегти чистоту звучання. Цей діапазон називається саб-басом.

Для визначення цих нот використовується діапазон частот від 25 до 63 Гц, в якому зазвичай розташовуються саб-баси. У цьому діапазоні знаходяться ноти контроктави і субконтроктави.

Кожен вимір дискретизації визначається частотою, на якій звук має найбільшу енергію, а потім знаходиться найближча до неї нота за формулою (7):

$$MN^c \approx \max \{P_1^c, P_2^c, \dots, P_i^c\}, \quad (7)$$

де  $MN^c$  – позначає музичну ноту, яка звучить на  $i$ -тому вимірі  $c$ ;  $\{P_1^c, P_2^c, \dots, P_i^c\}$  – діапазон частот від 25 до 63 Гц;  $c$  – порядковий номер виміру дискретизації;  $i$  – кількість частот.

На підставі нот, що звучали в саб-басі, визначається тоновідношення музичного твору та його тоновий лад – мажорний або мінольний.

4. *Аналіз музичних композицій на основі їх звукових характеристик*

Спочатку необхідно окремо порівняти музичні композиції за кожною зі звукових характеристик.

З отриманих значень буде обчислена кінцева різниця між композиціями. Для того, щоб оцінити цю різницю за частотним балансом, слід знайти різницю між відповідними частотами.

Формула (8) дозволяє обчислити величину різниці частотних балансів між двома музичними композиціями. Для цього використовується відношення суми отриманих значень до числа використаних частот:

$$VD = \frac{\sum_{sn=1}^{500} |AAV_{sn}^{ca} - AAV_{sn}^{cb}|}{sn}, \quad (8)$$

де  $VD$  – відносна різниця між частотними балансами композицій  $ca$  і  $cb$ ;  $AAV_{sn}^{ca}$  – середнє арифметичне значення енергії звуку частоти  $sn$  у музичній композиції  $ca$ , а  $AAV_{sn}^{cb}$  – у музичній композиції  $cb$ ;  $sn$  – порядковий номер частоти, який може знаходитись в діапазоні від 1 до 500.

Величина різниці темпів двох музичних композицій буде дорівнювати відношенню різниці у темпах до значення темпу обраної композиції. Різниця між темпами вважається без урахування знаку і розраховується за формулою (9):

$$TMC_{ID} = \frac{|TMC^{ca} - TMC^{cb}|}{TMC^{ca}}, \quad (9)$$

де  $TMC_{ID}$  – це відносна різниця у темпі між музичними композиціями  $ca$  та  $cb$ .  $TMC_{ID}$  приймає значення від 0 до 1, де 0 означає, що композиції мають однаковий темп, а 1 означає, що темпи композицій відрізняються вдвічі.

Після цього музичні композиції порівнюються за їхніми тональностями. За допомогою експерименту було встановлено, що якщо композиції мають різні тональні лади, то кінцеве значення

різниці слід збільшити на 10%. Цей параметр позначається як  $MOD$ .

Для обчислення кінцевої відносної різниці між двома музичними композиціями, враховуючи порівняння їх звукових характеристик, застосовується формула (10):

$$Tot = VD \cdot (1 + TMC_{ID} + MOD), \quad (10)$$

де  $Tot$  – кінцеве значення різниці між двома композиціями. Воно є додатнім числом, при чому більше значення вказує на сильнішу різницю в звучанні композицій. Значення 0 означає, що композиції ідентичні за звучанням;  $MOD$  – параметр, який дорівнює 0.1, якщо порівнювані композиції мають різні тонові лади, або 0, якщо вони однакові.

### 5. Проведення експерименту

За допомогою розробленого методу було створено додаток, який проаналізував 25 тисяч музичних композицій різних жанрів. Значення аудіо-характеристик, отримані під час аналізу, були занесені до бази даних.

Для здійснення експерименту було обрано п'ять музичних композицій. Загалом було відібрано десять учасників, з яких п'ять мають музичну освіту.

На початку експерименту було необхідно, щоб учасники прослухали запропоновані музичні композиції. Після цього їм треба було знайти у мережі Інтернет по 10 пісень, які схожі за звучанням до кожної з композицій. Метою експерименту було продемонструвати учасникам, наскільки важким може бути пошук потрібних композицій, тому їм було заборонено користуватися потоковими музичними сервісами.

На наступному етапі експерименту учасники мали завантажити 5 обраних композицій до ство-

Таблиця 1

### Результати експерименту

Номер учасника	Розроблений додаток		Google Play Music		Spotify	
	Оцінка учасника	Оцінка експерта	Оцінка учасника	Оцінка експерта	Оцінка учасника	Оцінка експерта
1	6,3	6,7	8,4	8,3	9,5	9,2
2	4,7	6,7	8,3	8,2	9,0	9,3
3	8,0	6,7	5,9	8,3	10,0	9,2
4	3,8	6,7	7,9	8,1	9,5	9,6
5	5,6	6,7	9,0	8,2	9,5	9,3
6	5,9	6,7	8,1	8,7	9,5	9,6
7	7,1	6,7	7,2	8,2	10,0	9,2
8	7,4	6,7	8,2	8,5	9,5	9,5
9	5,4	6,7	8,8	8,3	9,0	9,4
10	6,8	6,7	9,5	8,2	9,5	9,4
<b>Остаточний результат</b>	6,1	6,7	8,13	8,3	9,5	9,37
<b>Розбіжність, %</b>	8,96		2,05		1,37	

реної програми, а також до сервісів Google Play Music та Spotify. Потім вони повинні були оцінити перші 10 пісень, запропонованих кожним з сервісів для кожної завантаженої композиції. Оцінювалася подібність звучання між завантаженою музичною композицією та пропонованою піснею. Оцінки ставилися за шкалою від 1 до 10, де 1 означало, що композиції абсолютно не схожі за звучанням, а 10 вказувало на ідентичність звучання. Загалом, кожен учасник надав по 50 оцінок для кожного з додатків.

У фінальному етапі приймав участь експерт, який провів додаткову оцінку всіх композицій, запропонованих сервісами під час експерименту.

За допомогою обчислення середньоарифметичного з отриманих оцінок для кожного випробуваного, була підрахована загальна оцінка для кожного з додатків. Подібним чином були отримані оцінки експерта і остаточні оцінки для кожного додатка.

У Таблиці 1 наведені загальні оцінки, надані випробуваними та експертом, а також остаточні оцінки для кожного з сервісів.

З таблиці 1 видно, що розбіжності в оцінках між учасниками експерименту та експертом становили менше 10%, що свідчить про достовірність отриманих результатів.

**Висновки.** У даному дослідженні було розроблено метод, який дозволяє виявляти схожі пісні

за їх звучанням та сортувати їх за ступенем подібності, використовуючи аналіз їх звукових характеристик. Один з підходів до порівняння полягає у використанні алгоритмів класифікації та кластеризації, що дозволяють групувати пісні зі схожим звучанням.

Результати аналізу звукових характеристик дозволяють створити метрику подібності між піснями, яка використовується для їх сортування за ступенем подібності.

Розроблений метод виявляється ефективним у виявленні схожих пісень за звучанням та дозволяє зробити процес сортування музичних композицій більш точним і користувачки орієнтованим.

Результати роботи дозволили встановити ефективність розроблених методів порівняння музичних композицій на основі їх звукових характеристик і порівняти їх з результатами, отриманими від існуючих музичних сервісів.

Запропонований метод ефективно вирішує проблему орієнтації у великих музичних обсягах. За оцінками експерта, програма, розроблена на основі цієї методики, надає лише на 28% менш точні рекомендації порівняно зі Spotify. Ця різниця не є значущою, й при збільшенні обсягів музичної бібліотеки результати роботи методу можуть бути подальшим чином вдосконалені.

#### Список літератури:

1. D. Bouneffouf, A. Bouzeghoub and A. L. Gancarski, "Following the User's Interests in Mobile Context-Aware Recommender Systems: The Hybrid-e-greedy Algorithm," 2012 *26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. Fukuoka, Japan, 2012. pp. 657-662. DOI: <https://doi.org/10.1109/WAINA.2012.200>
2. Aoife Coffey. The impact that music streaming services such as Spotify, Tidal and Apple Music have had on consumers, artists and the music industry itself. University of Dublin. 2016. URL: <https://www.scss.tcd.ie/publications/theses/diss/2016/TCD-SCSS-DISSERTATION-2016-027.pdf> (дата звернення: 23.05.2023)
3. Eriksson, M. Close reading big data: The Echo Nest and the production of (rotten) music metadata. *First Monday*. 2016. 21(7). DOI: <https://doi.org/10.5210/fm.v21i7.6303>
4. Jehan, T. Creating music by listening (Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, School of Architecture and Planning, Program in Media Arts and Sciences). 2005. URL: [https://web.media.mit.edu/~tristan/phd/pdf/Tristan\\_PhD\\_MIT.pdf](https://web.media.mit.edu/~tristan/phd/pdf/Tristan_PhD_MIT.pdf) (дата звернення: 26.05.2023)
5. Kaitila, J. A content-based music recommender system. 2017. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/250147513.pdf> (дата звернення: 20.05.2023)
6. Tagg, P. Analysing Popular Music: Theory, Method and Practice. *Popular Music*. 1982. No2. pp. 37–67. <http://www.jstor.org/stable/852975>
7. Francesco Ricci, Lior Rokach, Bracha Shapira, Paul B. Kantor. Recommender Systems Handbook. *Springer New York*, NY. P. 842. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-0-387-85820-3_1)
8. Santos-González I, Rivero-García A, Molina-Gil J, Caballero-Gil P. Implementation and Analysis of Real-Time Streaming Protocols. *Sensors*. 2017; 17(4):846. DOI: <https://doi.org/10.3390/s17040846>
9. Zhao Shuyang. A personalized hybrid music recommender based on empirical estimation of user-timbre preference. *Tampere University of Technology*. 2014. URL: <https://urn.fi/URN:NBN:fi:ty-201405131164> (дата звернення: 25.05.2023)
10. Suied C, Agus TR, Thorpe SJ, Pressnitzer D. Processing of short auditory stimuli: the rapid audio sequential presentation paradigm (RASP). *Adv Exp Med Biol*. 2013;787:443-51. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1590-9\\_49](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1590-9_49)

11. Nicholas C. Zakas. How content delivery networks (CDNs) work. 2011. URL: <https://humanwhocodes.com/blog/2011/11/29/how-content-delivery-networks-cdns-work/> (дата звернення: 22.05.2023)
12. Marco Ziccardi. Beat Detection Algorithms (Part 1). URL: <https://mziccard.me/2015/05/28/beats-detection-algorithms-1/> (дата звернення: 27.05.2023)
13. Dodonov, A., Mukhin, V., Zavgorodnii, V., Kornaga, Y., & Zavgorodnya, A. Method of searching for information objects in unified information space. *System research and information technologies*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2021.1.03>
14. Mukhin, V., Zavgorodnii, V., Kornaga, Y., Zavgorodnya, A., Krylov, I., Rybalochka, A., ... & Belous, R. Devising a method to identify an incoming object based on the combination of unified information spaces. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 3(2), 111. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.229568>
15. Dodonov, A., Mukhin, V., Zavgorodnii, V., Kornaga, Y., Zavgorodnya, A., & Mukhin, O. Method of Parallel Information Object Search in Unified Information Spaces. *International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS)*, 2021. 13(4), 1-13. DOI: <https://doi.org/10.5815/ijcnis.2021.04.01>
16. Spotify vs. Pandora Full Comparison. 2023. URL: <https://history-computer.com/spotify-vs-pandora/> (дата звернення: 29.05.2023)
17. Matt Payne. Best Use Cases For Product Matching In Ecommerce & How You Can Implement Each One. 2021. URL: <https://www.width.ai/post/product-matching-in-ecommerce> (дата звернення: 27.05.2023)

**Zavgorodnii V.V., Zavgorodnya A.A., Bairakovskiy V.V., Koval R.A. DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETECTING SIMILAR SONGS BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR SOUND CHARACTERISTICS**

*The work is devoted to the problem that arises when trying to navigate in a large volume of musical compositions. As a solution, it was proposed to develop a method that allows you to identify similar songs by sound and sort them according to the degree of similarity, using the analysis of their sound characteristics.*

*In the process of work, algorithms were developed for determining the values of frequency balance, tempo and tonality of musical compositions. In addition, a method of searching for musical compositions similar in sound was created. According to the results of the experiment, the effectiveness of the developed method was confirmed and its potential was revealed.*

*A method of automated sorting of musical compositions according to the level of similarity of their sound characteristics, including frequency balance, tempo and tonality, was proposed. Special attention was paid to the analysis of sub-bass frequencies, which allows you to get additional information about the sound features of the compositions. The developed method uses a comprehensive approach that combines sound data analysis algorithms and mathematical models to determine the values of sound characteristics. Frequency balance examines the distribution of energy across different frequency ranges, tempo determines the speed of the rhythm, and tonality reveals the main musical key of the composition. Analysis of sub-bass frequencies allows you to obtain additional information about the lower range of sound, which is important for identifying specific characteristics and genre features. The results of the application of this technique indicate the success of the automated sorting of musical compositions according to the level of their sound similarity.*

*The developed technique can be used to improve existing music services, especially in the context of recommender systems with content filtering. By implementing this technique, services will be able to provide users with more accurate and personalized recommendations of musical compositions based on their sound characteristics.*

**Key words:** *musical compositions, sound characteristics, frequency balance, search method, methodology of automated sorting of musical compositions, analysis of sound data.*

УДК 004.584

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/25>

**Кравченко С.М.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Сугоняк І.І.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Марчук Г.В.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Гришкун Є.О.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Венгловська Ю.М.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

## UML-МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ГРИ В ЖАНРІ ГОЛОВЛОМКИ

*Об'єктом дослідження є принцип застосування UML-моделювання моделі для розробки комп'ютерних ігор. В даній статті представлено UML-моделювання побудови моделі логічної гри в жанрі головоломки з використанням 2D графіки.*

*Проведено аналіз вивчення даної області подібних процесів і проведення власних досліджень, які в свою чергу потребують більш поглиблено занурюватись у саму сутність наукової області та розширювати горизонти для подальших досліджень.*

*Визначено алгоритм роботи та стани програмної системи, фізична модель. Продемонстровано застосування об'єктно-орієнтованої моделі системи, здійснено проектування ігрового процесу і здійснення етапів розробки комп'ютерної гри. Використано UML-модель для візуалізації та оптимізації представлення гри.*

*У роботі визначено аналіз вимог, концептуальне моделювання побудови моделі розробки логічної гри., Проаналізовано основні етапи створення комп'ютерної гри. Охарактеризовано функціональні можливості використання UML-моделювання при розробці гри. UML-моделі мають більше функціональних можливостей для відображення об'єктів реальної та віртуальної реальності через застосування графічних та структурованих вербальних описів.*

*UML-моделі мають більше функціональних можливостей для відображення об'єктів реальної та віртуальної реальності через застосування графічних та структурованих вербальних описів.*

**Ключові слова:** моделювання програмного забезпечення, логічна гра, фізична модель, UNITY, UML, графіка, середовище розробки.

**Постановка проблеми.** Для того, щоб розробити складний проект з великою кількістю механік та можливостей, обов'язково треба спочатку його спроектувати та чітко визначити, що саме зможе робити користувач.

Існують високо рівневі вимоги, якими повинна володіти гра, щоб мати можливість добре виконувати покладені на неї функції, тим самим відповідно задовольнивши всі зазначені стандарти, специфікації та інші формальні документи. Тому було використано UML-моделювання.

**Актуальність теми дослідження.** Популярність комп'ютерних ігор зростає з кожним днем,

діти та дорослі проводять за цим заняттям все більше часу. Люди звертаються до ігор, щоб впоратися з невпевненістю, урізноманітнити рутину та поспілкуватися з друзями. Не всі вони грали раніше, багато хто робить це вперше. Проте всіх їх об'єднує спільний інтерес – бажання випробувати у віртуальних світах щось нове, незвідане, спробувати удачу і отримати насолоду як від ігрового процесу, так і від досягнутих у грі результатів.

У зв'язку зі зростаючою комп'ютеризацією, розвиток морфології дизайн-об'єктів виходить з наступності еволюційного досвіду в межах

певної художньо-естетичної традиції та базується на інноваційних наукових досягненнях [8].

Логічне мислення – це безцінний і, мабуть, найнеобхідніший навичка для програміста: і досвідченого, і початківця. ІТ-фахівцеві вдається виявляти закономірності, відстежувати їх і самостійно задавати. Логічне мислення також допомагає програмісту створювати нестандартні рішення поставлених завдань, справлятися зі складними завданнями та сприяє підтримці вогню творчості. Для розвитку логіки відмінно підходять комп'ютерні ігри – це захоплюючі міні-тренування для мозку, які дозволяють відволіктися від поточних завдань і допомагають добре перезавантажитися [9].

Будь-яка гра – це не просто гарна графіка і завдання, яке потрібно виконати, це і сюжетна лінія, і різні рішення і дії, які призведуть до різних результатів. Тому, для легшого орієнтування, створюються блок-схеми з усіма згаданими можливостями. Особливо це корисно у великих проєктах, над якими працює велика кількість людей.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Дослідженням щодо використання UML-моделювання займалися такі зарубіжні та вітчизняні вчені як У. Боггс, М. Боггс, Р. Буч, Дж. Рамбо, А. Джекобсон, А.М. Вендров, Т. Кватрані, А.Г. Українець, М.Ф. Бондаренко. Базова система позначень UML популярно і доступно викладена в книзі Мартіна Фовлера [2; 5].

Вчені пропонують аналіз змодельованих механік, який полягає в перевірці на досяжність і несуперечливість сценаріїв ігрових механік [6], розробляють методологію оцінки для перевірки продуктивності моделі UML, що представляє архітектуру програмного забезпечення [6].

Запропоновано розглядати процес створення ігрового сценарію як, насамперед, набір вимог, послідовність відтворення сценарію [8]. Для цих систем моделювання і аналіз поведінки є найбільш важливою і проблемою [4].

**Метою статті** є визначення доцільності використання UML-моделювання при стадії проєктування комп'ютерних ігор.

**Виклад основного матеріалу.** UML (Unified Modeling Language) представляє собою стандартизовану мову моделювання, що складається з інтегрованого набору діаграм, яка розроблена, щоб допомогти розробникам систем та програмного забезпечення визначати, візуалізувати, створювати і документувати артефакти програмних систем, а також для бізнес-процесів моделювання. UML – це набір найкращих інженерних практик,

які дуже ефективні при моделюванні великих та складних систем.

В основу UML-моделей покладений принцип спрощення моделі об'єктів через їхню класифікацію, тобто поділ на різновиди відповідно до важливих ознак (структури або атрибутики, поведінки або зв'язку з іншими класами, спадковості ознак) та поєднання у класи.

UML є дуже важливою частиною процесу розробки об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення. Цей вид моделювання забезпечує в основному графічні позначення для опису дизайну програмних проєктів. Використання UML допомагає проєктним групам спілкуватись, вивчати потенційні проєкти та перевіряти архітектурний дизайн програмного забезпечення.

Так як UML-моделювання використовується загалом у програмуванні різних систем, визначається доцільність використання і для відображенні об'єктів гри через застосування графічних та структурованих описів.

Представлено різні етапи проєктування сценарію гри у вигляді діаграм UML.

Так як проєкт доволі великий, і розробляється у команді з трьох учасників, надалі будуть зображуватися лише діаграми, що стосуються частини проєкту, пов'язану з головоломками.

#### **Діаграма прецедентів**

Діаграма варіантів використання описує систему на концептуальному рівні та показує відносини між акторами (персонажами, які беруть участь у ситуації або грі) та прецедентами (діями гравця, що призводять до певного відчутного результату). Така діаграма дозволяє побачити повторюваність дій, зайві рухи, що дає підстави для оптимізації бо свідомого збагачення дійової системи-об'єкта.

На рисунку 1 представлено діаграму прецедентів гравця.

#### **Алгоритм роботи та стани програмної системи**

Діаграми діяльності описують, як діяльність координується для надання послуги, яка може бути на різних рівнях абстракції. Як правило, подія має бути досягнута деякими операціями, особливо якщо операція призначена для досягнення кількох різних речей, які вимагають координації, або як події в одному варіанті використання співвідносяться одна з одною, зокрема випадки використання, де дії можуть збігатися і вимагати узгодження.

Створення діаграми діяльності представлена на рис. 2–4.



Рис. 1. Діаграма варіантів використання гри



Рис. 2. Діаграма активності для перетягування предмета

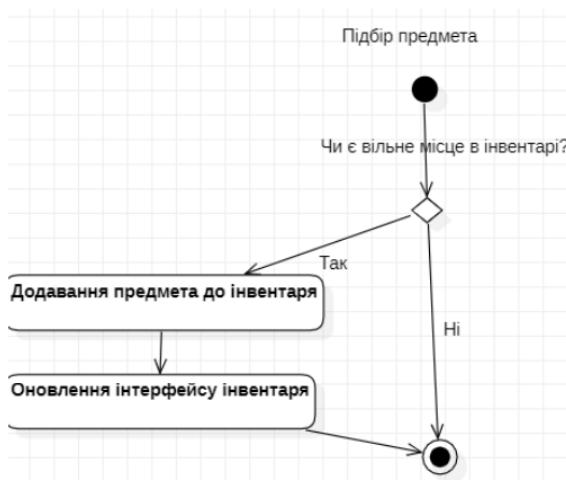


Рис. 3. Діаграма активності для підбору предмета

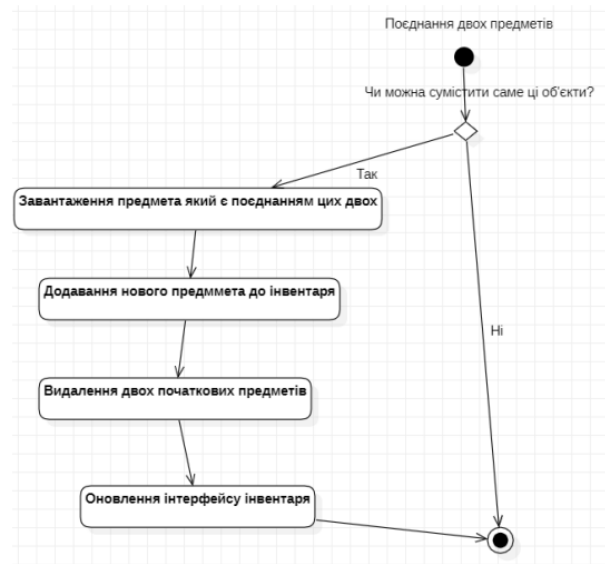


Рис. 4. Діаграма активності для використання предмета з інвентаря

**Об'єктно-орієнтована модель системи**

Діаграма класів являє собою набір статичних, декларативних елементів моделі. Вона дає най-

більш повне і розгорнуте уявлення про зв'язки в програмному кодї, функціональність та інформацію про окремі класи. Додатки генеруються часто

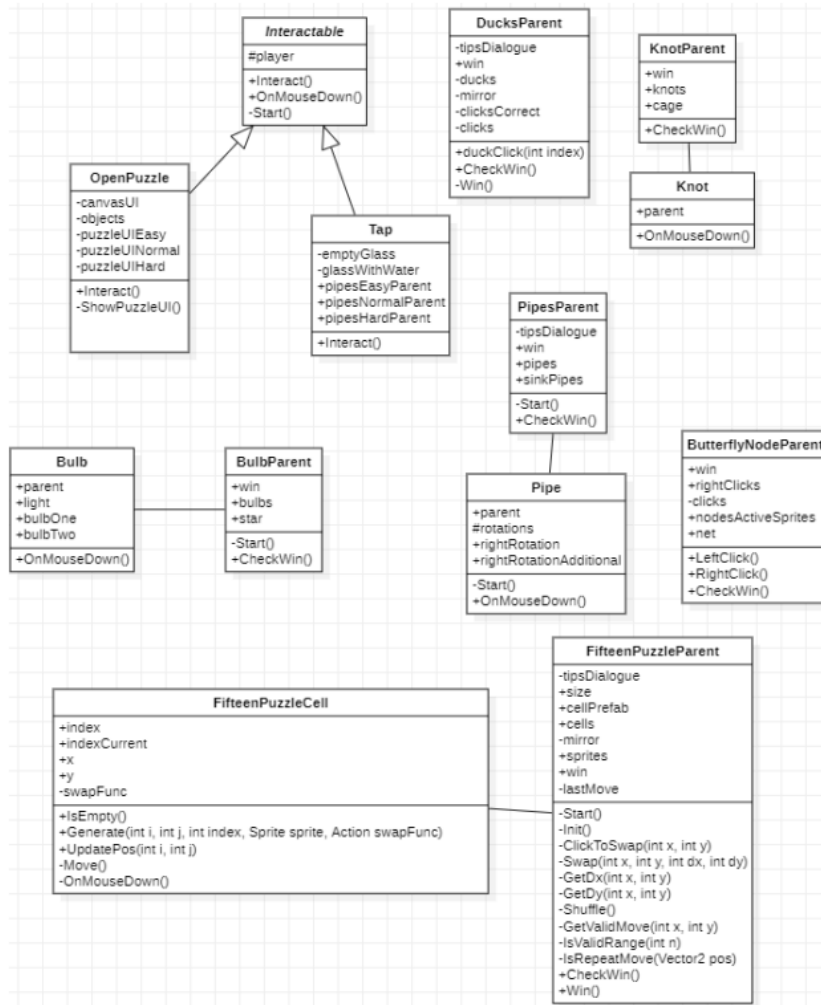


Рис. 5. Діаграма класів логічної гри

саме з діаграми класів. При моделюванні об'єктно-орієнтованих систем цей тип діаграм використовують найчастіше. Виходячи з даних відомостей, було побудовано діаграму класів, зображену на рис. 5.

### Взаємодія об'єктів системи

Діаграми послідовності UML – це діаграми взаємодії, які детально описують, як виконуються операції. Вони фіксують взаємодію між об'єктами в контексті співпраці. Діаграми послідовності зосереджені на часі, і вони візуально показують порядок взаємодії за допомогою вертикальної осі діаграми, щоб відобразити час, які повідомлення надсилаються та коли. Для спроектованої гри було реалізовано діаграму послідовності – рис. 6. Так як в цій частині проектування мова йде лише про окремі головоломки, то взаємодії відбуваються лише в межах кожної задачі.

Як видно з діаграми, зазвичай один клас звертається до іншого на початку роботи (метод Start()), при перевірці на виграш (метод CheckWin()), при кліку мишею та деякі інші. В цих методах найчастіше клас, що відповідає за міні-гру в цілому, викликає об'єкти пов'язаного класу.

### Фізична модель та прототип програмного комплексу

#### Взаємодія компонентів системи

Для демонстрації взаємодії компонентів системи використовуються діаграми реалізації, які включають дві UML діаграми: діаграму компонентів (component diagram) і діаграму розгортання (deployment diagram).

Діаграма компонентів, також відома як діаграма компонентів UML, описує організацію та підключення фізичних компонентів у системі. Діаграми компонентів часто малюються, щоб допомогти змоделювати деталі впровадження та ще раз перевірити, чи всі аспекти необхідних функцій системи охоплені плановою розробкою. Діаграма основних компонентів спроектованої системи зображена на рис. 7.

#### Архітектура програмного комплексу та його розгортання

Діаграма розгортання – це тип діаграми UML, який показує архітектуру виконання системи,



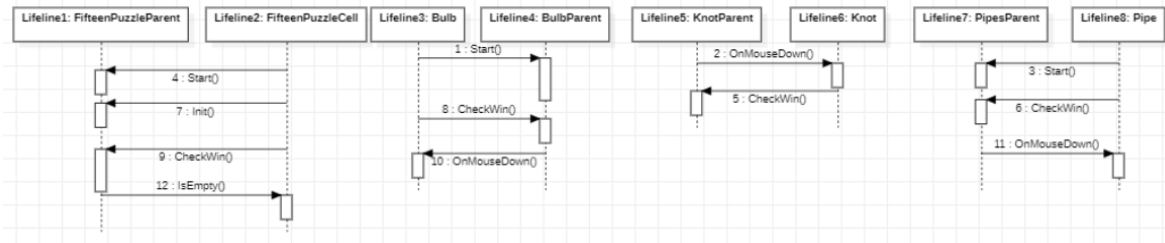


Рис. 6. Діаграма послідовності

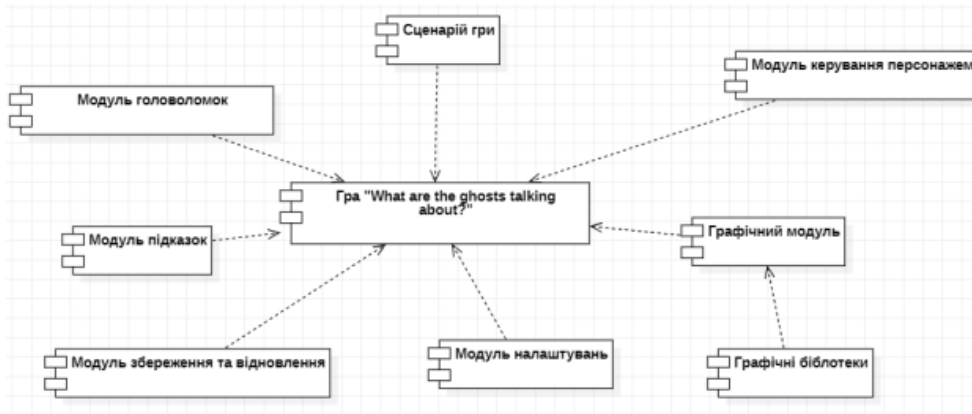


Рис. 7. Діаграма компонентів

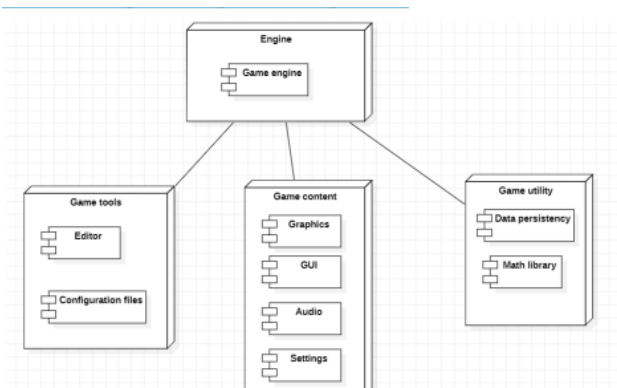


Рис. 8. Діаграма розгортання

включаючи такі вузли, як середовища виконання апаратного чи програмного забезпечення, і проміжне програмне забезпечення, що їх з'єднує. Діаграми розгортання зазвичай використовуються для візуалізації фізичного обладнання та

програмного забезпечення системи. Використовуючи його, ви можете зрозуміти, як система буде фізично розгорнута на апаратному забезпеченні. Діаграми розгортання допомагають змоделювати апаратну топологію системи порівняно з іншими типами діаграм UML, які здебільшого описують логічні компоненти системи.

Виконана діаграма зображена на рис. 8.

**Висновки.** У роботі визначений підхід до застосування UML-моделювання при проектуванні сценарію комп'ютерної гри. Представлено, що UML-моделі мають більше функціональних можливостей для відображення об'єктів реальної та віртуальної реальності через застосування графічних та структурованих вербальних описів.

Визначено, що запропонований підхід може застосовуватись в даній сфері розробки, а саме дає широкі можливості застосування UML-моделей для відображення подій (концептуальне моделювання, логічний та фізичний рівень) при розробці гри.

### Список літератури:

1. Хокінг Д. М. Unity в дії. Мультиплатформенна розробка на практиці. 2-е міжн. видання. 2016. 336 с.
2. G. Booch, J.Rumbaugh., I.Jacobson. The Unified Modeling Language User Guide . MA.: Addison-Wesley Publishing Co. 1999. 512 p.
3. Blazhko, O., & Luhova, T. Features of using the canvas-oriented approach to game design. Applied Aspects of Information Technology. 2018. №1(01). 66-77p.

4. Лугова, Т.А., Лись Д.А. UML-моделі як основа проектування та балансування сценаріїв. LOGOS мистецтво наукової думки: Технічні науки. № 7. С. 33-37.

5. S. Distefano, M. Scarpa, A. Puliato. From UML to Petri nets: The PCM-based methodology. IEEE Transactions on Software Engineering. 2010. № 37 (1). 65-79p.

6. Harel, D. From play-in scenarios to code: An achievable dream. Computer. 2000. № 34(1). 56-78p.

7. Antoshchuk, S., Arsirii, O., Blazhko, O., Troianovska, Y., & Luhova T. Method for Detecting Errors in the Design of Virtual Environments. The 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS), (Metz, France, 18-21 September 2019). France, 2019. 20-24p.

8. Сухорукова Л. А. Види та класифікація технологічних засобів створення мультимедійного продукту [Електронний ресурс]. Традиції та новачі у вищій архітектурно-художній освіті: Харків. Держ. акад. дизайну і мистецтв. – Харків, 2012. URL: <https://ksada.org/articles/suhorukova-article-07.pdf>. (дата звернення: 21.11.22).

9. Найцікавіші логічні ігри для програмістів. [Електронний ресурс]. URL: <https://itfuture.online/uk/najcikavishi-logichni-igry-dlya-majbutnih-programistiv/> (дата звернення: 11.10.22).

**Kravchenko S.M., Suhoniak I.I., Marchuk H.V., Gryshkun Ye.O., Venhlovska Yu.M.**

### **UML MODELING OF THE DESIGN PROCESS OF A PUZZLE GAME**

*The object of the research is the principle of applying the UML modeling model for the development of computer games. This article presents UML modeling of the construction of a logic game model in the puzzle genre using 2D graphics.*

*An analysis of the study of this area of similar processes and the conduct of own research, which in turn require a more in-depth immersion in the very essence of the scientific area and expanding the horizons for further research, has been carried out.*

*The work algorithm and states of the software system, physical model are defined. The application of the object-oriented model of the system was demonstrated, the game process was designed and the stages of computer game development were carried out. The UML model was used to visualize and optimize the presentation of the game.*

*The work defines the analysis of requirements, conceptual modeling of the construction of a logical game development model. The main stages of creating a computer game are analyzed. The functional possibilities of using UML modeling in game development are characterized.*

**Key words:** software modeling, logical game, physical model, UNITY, UML, graphics, development environment.

**Куликовська Н.А.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Тіменко А.В.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Костецький Д.В.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ В ПРИМІЩЕННІ

Стаття присвячена інформаційним технологіям у сфері Інтернету речей (IoT), які дозволяють з'єднувати різні пристрої та сенсори через мережу Інтернет. Але для комфортної та ефективної взаємодії клієнта з IoT-системами необхідні розумні та природні інтерфейси користувача, які враховують контекст та потреби людини. У статті розкрито використання чатботів, які можуть забезпечити користувачам зручну та продуктивну підтримку, відгукуючись на їх питання, безпосередньо вирішуючи їх проблеми. Крім того, визначено, що чатботи можуть обробляти великі масиви даних, які генеруються сенсорами та системами IoT, та візуалізувати їх у доступному для розуміння форматі. У даній роботі розглянуто IoT-систему, яка складається з датчиків, хмарної платформи для зберігання та обробки даних, бази даних та інтерфейсу чатбота для взаємодії з користувачем. Автоматизована система контролю температури в приміщенні використовує датчики температури, підключені до IoT або мікроконтролерів, які регулярно вимірюють температуру і передають її в хмарну платформу. Хмарна платформа обробляє, аналізує і зберігає дані про температуру у базі даних за допомогою Python скриптів. Користувачі можуть взаємодіяти з IoT системою через інтерфейс чатбота, який розуміє їх команди і реагує відповідно. Чатбот дозволяє запитувати поточну температуру, історичні дані про температуру, встановлювати порогові значення температури або налаштовувати інші аспекти IoT системи. Тестування чатбота проводилось на прикладі де встановлені датчики температури, кондиціонери, датчики відкриття/закриття вікон, датчики відкриття/закриття дверей, система вентиляції. Бот може працювати автономно підтримуючи температуру. Чатбот має адаптивний інтерфейс та реагує на текстові команди від користувача для зміни температури до певного значення. В системі передбачені критичні ситуації. Визначені механізми захисту, такі як автоматична зміна температури та повідомлення про виникнення проблеми. В результаті дослідження перевірені функції чатбота в реальному часі для надання користувачам можливості встановлювати бажану температуру в приміщеннях, переглядати поточний стан датчиків температури та кондиціонерів, отримувати сповіщення про критичні ситуації та умови включення датчиків та кондиціонерів. Завдяки використанню інтерфейсу месенджера отримано людину орієнтовану автоматизовану систему.

**Ключові слова:** IoT, чатбот, моделювання, контроль температури, критичні ситуації, модель, система, датчики.

**Постановка проблеми.** Інтернет речей (IoT) є одним з найперспективніших напрямків розвитку інформаційних технологій, який передбачає зв'язок між різноманітними пристроями та сенсорами через мережу Інтернет. IoT системи можуть збирати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних, що генеруються цими пристроями, та використовувати їх для покращення якості життя людей, ефективності бізнесу та безпеки середовища. Однак для того, щоб клієнти могли легко та зручно взаємодіяти з IoT системами, потрібні інтелектуальні та природні інтерфейси

користувача. Чатботи є одним з таких інтерфейсів, які використовують штучний інтелект (ШІ) та обробку природної мови (ОПМ) для симуляції розмови з людьми або іншими чатботами за допомогою тексту або голосових повідомлень [1, с. 1]. Чатботи можуть надавати користувачам комфортну та ефективну допомогу, відповідаючи на їх запитання, надаючи їм більш цікаві відповіді, безпосередньо реагуючи на їх проблеми. Крім того, чатботи можуть аналізувати великі обсяги даних, що виробляються сенсорами та системами IoT, та представляти їх у форматі,

який легко сприймається та діє користувачами [2, с. 100006].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останні дослідження та публікації за цією темою свідчать про високу актуальність та перспективність чатботів як інтерфейсу користувача для IoT систем. Наприклад, автори статті [3, с. 2930] пропонують міждисциплінарну наукову програму для майбутнього розвитку чатботів, в якій вони виділяють шість тематичних напрямків:

- користувачі та наслідки;
- досвід користувача та дизайн;
- фреймворки та платформи;
- чатботи для співпраці;
- демократизація чатботів;
- етика та приватність.

Для кожного з цих напрямків вони надають короткий огляд сучасного стану, обговорюють ключові наукові виклики та пропонують перспективні напрямки для майбутнього дослідження.

У статті [4, с. 136] автори розглядають застосування чатботів для вирішення складних бізнес-проблем за допомогою ШІ та IoT. Вони показують, як чатботи можуть забезпечити швидкий і зручний доступ до великих обсягів даних, що генеруються пристроями IoT, а також аналізувати

ці дані для покращення продуктивності та якості послуг. Вони також описують деякі сценарії використання чатботів у розумних фабриках, розумних будинках та розумних медичних системах.

У статті [5, с. 10] автори описують історію, технологію та застосування чатботів як природних діалогових систем. Вони розглядають розвиток чатботів в контексті розвитку ШІ, ОПМ та взаємодії людини з комп'ютером. Вони також аналізують сучасні типи чатботів за їх функціональністю та архітектурою. Вони показують, як чатботи можуть бути корисними у різних галузях, таких як освіта, охорона здоров'я, бізнес та розваги.

**Метою статті є** дослідження роботи чатбот для контролю температури в приміщеннях за допомогою IoT-систем. Аналіз сучасних мов програмування IoT-систем. Перевірка функцій чатбота для надання користувачам можливості встановлювати бажану температуру в приміщеннях, переглядати поточний стан датчиків температури та кондиціонерів, отримувати сповіщення про критичні ситуації та умови включення датчиків та кондиціонерів.

**Виклад основного матеріалу.** При виборі мов програмування для систем IoT, існує кілька доступних варіантів, кожен зі своїми перевагами та недоліками та сферами застосування. В таблиці 1

Таблиця 1

**Аналіз популярних мов програмування**

Мова програмування	Аналіз застосування мови програмування для IoT систем
C/C++	Широко використовуються в IoT завдяки її ефективності, низькому рівню керування та сумісності з мікроконтролерами та вбудованими системами. Вона забезпечує прямий доступ до обладнання, що робить його придатним для пристроїв з обмеженими ресурсами. C/C++ зазвичай використовуються в платформах IoT, розробці програмного забезпечення та драйверах пристроїв [6, с. 1].
Python	Це універсальна та проста у вивченні мова, відома своєю доступністю та читабельністю. Вона пропонує широкі бібліотеки та фреймворки для розробки IoT, що робить її популярною для швидкого створення прототипів, аналізу даних та хмарної інтеграції. Хоча Python може бути не таким ефективним, як C/C++, він часто використовується для додатків IoT вищого рівня, обробки даних і сценаріїв [7, с. 8175].
Java	Вона зазвичай використовується в шлюзах IoT, серверних програмах і пристроях IoT на базі Android. Надійність, функції безпеки та масштабованість Java роблять її придатною для широкомасштабного розгортання IoT та корпоративних рішень [8, с. 3].
Rust	Це мова системного програмування, відома своєю зосередженістю на безпеці, продуктивності та паралелізмі. Вона забезпечує гарантії безпеки пам'яті та надійну типізацію, що робить її придатною для низькорівневого програмування в пристроях Інтернету речей і мікропрограмному забезпеченні. Rust часто використовується в критично важливих для безпеки програмах або там, де ефективність використання ресурсів має вирішальне значення [9, с. 55].
Lua	Це легка мова сценаріїв, яка часто використовується у вбудованих системах і пристроях Інтернету речей. Вона легко масштабується та забезпечує хорошу продуктивність. Lua зазвичай використовується для програмування сенсорних вузлів, шлюзів Інтернету речей і створення спеціального програмного забезпечення [10, с. 200].
Мова програмування	Аналіз застосування мови програмування для IoT систем
Swift	Swift в основному асоціюється з розробкою iOS і macOS, але вона набуває популярності в IoT завдяки своїм функціям безпеки, виразності та сумісності з інфраструктурою Apple HomeKit. Swift підходить для розробки додатків IoT, які інтегруються в екосистему Apple [11, с. 22].

наведено аналіз популярних мов програмування, які використовуються в розробці IoT:

Зрештою, вибір мови програмування для системи IoT залежить від таких факторів, як цільове обладнання, обмеження ресурсів, вимоги до масштабованості, швидкість розробки та наявний досвід. Системи IoT зазвичай використовують комбінацію мов на різних рівнях, таких як мікро-програмне забезпечення, шлюз, хмарні служби та веб/мобільні інтерфейси.

У даній роботі ми розглядаємо IoT-систему, яка складається з датчиків, хмарної платформи для зберігання та обробки даних, бази даних та інтерфейсу чатбота для взаємодії з користувачем (рис. 1).



Рис. 1. IoT-система

Для пристроїв IoT обрані плати Arduino. Мова розробки Python використовується завдяки широким бібліотекам, підтримці аналізу даних і простоті інтеграції з пристроями IoT. Для зберігання даних про температуру застосована реляційна система керування базами даних PostgreSQL. Ця технологія дає надійну підтримку запитів SQL і може обробляти великі набори даних. Для підключення до бази даних із хмарної платформи застосована бібліотека psqlorg2.

Чатбот написаний мовою Python. Для модулю ОПМ використана бібліотека spaCy, яка пропонує розширені функції для токенизації, розпізнавання іменованих об'єктів і аналізу синтаксичних залежностей. Python також надає попередньо підготовлені моделі для різних мов, що дозволяє швидше розробляти додаток. spaCy можна використовувати для аналізу запитів користувачів, вилучення важливих об'єктів (наприклад, значень температури, часу, місця розташування) і розуміння контексту для формулювання значущих відповідей.

Алгоритм роботи автоматизованої системи контролю температури в приміщенні наступний:

1. Датчики підключені до пристроїв IoT або мікроконтролерів, періодично збирають дані про температуру.

2. За допомогою спеціальних бібліотек дані датчиків зчитуються та зберігаються в хмарі.

3. Хмарна платформа отримує дані про температуру від пристроїв IoT через AWS IoT Core.

Скрипти Python обробляють вхідні дані, за потреби виконують аналіз і зберігають їх у базі даних.

4. Інтерфейс чатбота надає користувачам розмовний інтерфейс для взаємодії з системою IoT. Чатбот розуміє команди користувача, отримує дані про температуру з бази даних і реагує відповідно. Клієнти можуть запитувати поточну температуру, історичні дані про температуру, встановлювати порогові значення температури або налаштовувати інші аспекти системи IoT через інтерфейс чатбота.

Блочна структура модулів представленого IoT-бота для температурного контролю в приміщенні надана на рисунку 2.

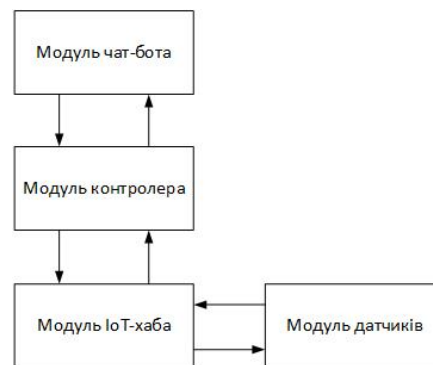


Рис. 2. Блочна структура модулів IoT-бота

Розглянемо детальніше функції кожного блоку:

– модуль чатбота є інтерфейсом між людиною та IoT-системою. Це програмне забезпечення, яке дозволяє користувачеві встановлювати бажану температуру в кожному приміщенні окремо, або встановлювати глобальні параметри для всього будинку;

– модуль контролера аналізує дані від IoT-хаба та приймає рішення про керування пристроями для контролю або зміни температури;

– модуль IoT-хаба збирає всі дані від різних датчиків та передає їх до модуля контролера;

– модуль IoT-датчиків включає в себе сенсори вимірювання температури, роботи кондиціонера, відкритих вікон, вентиляційних решіток. Ці сенсори підключені до мережі Інтернет, щоб надсилати дані в модуль IoT-хаба.

Тестування чатбота проводилось на прикладі приміщення ангара з площею 800 м<sup>2</sup> де встановлені датчики температури, кондиціонери, датчики відкриття/закриття вікон, датчики відкриття/закриття дверей, система вентиляції. Бот може працювати автономно підтримуючи температуру за допомогою кондиціонерів не вище 32 градусів (рис. 3а). Чатбот має користувацький інтерфейс та реагує на текстові команди від користувача для зміни температури до певного значення (рис. 3б). В кожному режимі є контроль закритих вікон та



**Рис. 3. Результати тестування IoT-бота:**  
**а) робота чатбота в автономному режимі; б) керування температурою згідно команд користувача**

дверей, включення системи вентиляції. Показники температури вимірюються кожні півгодини.

В системі передбачені критичні ситуації. Наприклад, збій IoT-датчика температури або помилкова команда користувача, яка може призвести до небезпечної зміни температури в приміщенні. Тому реалізовано механізми захисту, такі як автоматична зміна температури та повідомлення про виникнення проблеми.

**Висновки.** У даній роботі ми розглянули IoT-систему, яка складалася з датчиків, хмарної платформи для зберігання та обробки даних, бази даних та інтерфейсу чатбота для взаємодії з користувачем. Автоматизована система контролю температури в приміщенні використовувала датчики температури, підключені до IoT або мікроконтролерів, які регулярно вимірювали температуру і передавали її в хмарну платформу через AWS IoT Core. Хмарна платформа обробляла, аналізувала і зберігала дані

про температуру у базі даних за допомогою Python скриптів. Користувачі могли взаємодіяти з IoT системою через інтерфейс чатбота, який розумів їх команди і реагував відповідно. Чатбот дозволяв користувачам запитувати поточну температуру, історичні дані про температуру, встановлювати порогові значення температури або налаштовувати інші аспекти IoT системи. Використання IoT чатбота для контролю температури в приміщенні дозволяє забезпечити комфортні умови для людей та обладнання, зменшити витрати енергії та покращити безпеку. Така автоматизована система є перспективною для розвитку індустрії, оскільки вона може застосовуватися в різних сферах, таких як сільське господарство, медицина, складське зберігання. Наступні етапи дослідження в цій темі можуть бути пов'язані з розширенням функціоналу IoT чатбота, покращенням його інтелектуальних здібностей та адаптацією до різних мов.

#### Список літератури:

1. How AI and Chatbots with IoT can help in solving tricky business. URL: <https://www.capgemini.com/insights/expert-perspectives/how-ai-and-chatbots-with-iot-can-help-in-solving-tricky-business-problems/> (date of access: 01.05.2023).
2. Adamopoulou E., Moussiades L. Chatbots: History, technology, and applications. *Machine Learning with Applications*. 2020. Vol. 2. P. 100006. URL: <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2020.100006> (date of access: 10.05.2023).
3. Future directions for chatbot research: an interdisciplinary research agenda / A. Følstad et al. *Computing*. 2021. Vol. 103, no. 12. P. 2915–2942. URL: <https://doi.org/10.1007/s00607-021-01016-7> (date of access: 11.04.2023).
4. McTear M. Conversational AI: Dialogue Systems, Conversational Agents, and Chatbots. *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*. 2020. Vol. 13, no. 3. P. 1–251. URL: <https://doi.org/10.2200/s01060ed1v01y202010hlt048> (date of access: 10.03.2023).
5. Castellucci P., Gomelino E. Chatbot. *Digitalita*. 2021. Vol. 16, no. 2. P. 9–24. URL: <https://doi.org/10.36181/digitalita-00034> (date of access: 01.02.2023).
6. Why Chatbots Can Be Used As Internet of Things (IoT) Interface. URL: <https://www.ameyo.com/blog/why-chatbots-can-be-used-as-internet-of-things-iot-interface> (date of access: 31.05.2023).

7. Controlling Devices by IoT. International Journal of Recent Technology and Engineering. 2019. Vol. 8, no. 4. P. 8173–8176. URL: <https://doi.org/10.35940/ijrte.d8777.118419> (date of access: 01.02.2023).
8. Kulykovska N., Kudermetov R. Improving the Productivity of Distributed Computer Systems Through the Use of Knowledge Engineering. 2020 IEEE 5th International Symposium on Smart and Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS), Dortmund, 17–18 September 2020. pp. 1–4. URL: <https://doi.org/10.1109/idaacs-sws50031.2020.9297082> (date of access: 04.03.2023).
9. Тіменко А.В., Шкарупіло В.В., Смолій В.В. Нейромережева модель контролю апаратної сумісності компонентів IoT-системи Вісник Запорізького національного університету фізичних і математичних наук. 2021. № 2. С. 52–59. URL: <https://doi.org/10.26661/2413-6549-2020-2-07> (дата звернення: 21.03.2023).
10. Python Programming Recipes for IoT Applications / M. G. Lanjewar et al. Springer, 2023.
11. Abdul Kadhar K. M., Anand G. Basics of Python Programming. Data Science with Raspberry Pi. Berkeley, CA, 2021. P. 13–47. URL: [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6825-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6825-4_2) (date of access: 13.05.2023).

### **Kulykovska N.A., Timenko A.V., Kostetsky D.V. AUTOMATED ROOM TEMPERATURE CONTROL SYSTEM**

*The article is devoted to information technologies in the field of the Internet of Things (IoT), which allow connecting various devices and sensors via the Internet. But for a comfortable and effective interaction of the client with IoT systems, smart and natural user interfaces that take into account the context and human needs are necessary. The article reveals the use of chatbots that can provide users with convenient and productive support by responding to their questions and solving their problems directly. In addition, it has been determined that chatbots can process large amounts of data generated by sensors and IoT systems and visualize them in an easy-to-understand format. This work examines an IoT system consisting of sensors, a cloud platform for data storage and processing, a database, and a chatbot interface for user interaction. An automated indoor temperature control system uses temperature sensors connected to IoT or microcontrollers that regularly measure the temperature and transmit it to the cloud platform. The cloud platform processes, analyzes and stores temperature data in a database using Python scripts. Users can interact with the IoT system through a chatbot interface that understands their commands and responds accordingly. The chatbot allows you to query the current temperature, historical temperature data, set temperature thresholds, or configure other aspects of the IoT system. The chatbot was tested on an example where temperature sensors, air conditioners, window opening/closing sensors, door opening/closing sensors, and a ventilation system are installed. The bot can work autonomously maintaining the temperature. The chatbot has an adaptive interface and responds to text commands from the user to change the temperature to a certain value. The system provides for critical situations. Protection mechanisms are defined, such as automatic temperature change and notification when a problem occurs. As a result of the study, the chatbot functions were tested in real time to enable users to set the desired temperature in the rooms, view the current state of temperature sensors and air conditioners, receive notifications about critical situations and the conditions for turning on sensors and air conditioners. Thanks to the use of the messenger interface, a human-oriented automated system is obtained.*

**Key words:** IoT, chatbot, simulation, temperature control, critical situations, model, system, sensors.

**Legeza V.P.**

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

**Neshchadym O.M.**

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

## THE PROBLEM OF FUGITIVE INTERCEPTION ON A PLANE IN THE ONE-DIMENSIONAL VECTOR FIELD OF A MOVING FLUID

*The process of pursuit on the horizontal plane of a fugitive boat  $V$  by a pursuing boat  $U$  in a one-dimensional field of moving fluid is considered. The subject of the research is a mathematical model and paradoxical characteristics and properties of the persecution process. The main goal of the study was to establish the trajectory of the interception of the fleeing boat by the pursuit boat in the moving fluid flow.*

*In the work, a mathematical model of the process of chasing a fugitive boat on a plane is built in the form of four normal differential equations of the first order. The model takes into account the speed of the river, which forms a one-dimensional field of moving fluid. It is assumed that the pursuer  $U$  at each moment of time tries to move along the instantaneous line that visually connects two current points (him and the fugitive) on the horizontal plane, that is, the pursuer “keeps the course on the fugitive” during the pursuit. At the same time, the fugitive  $V$  tries to cross the river as quickly as possible, moving in the direction of the “life line”. The pursuer tries to catch up with the fleeing boat before it reaches a certain point, which is on the “lifeline”.*

*The method of numerical solution and research of the resulting system of differential equations was proposed and implemented in the MathCad package, and the equation of the pursuit curve was found using it. The main characteristics of the pursuit curve were established and analyzed, certain paradoxical phenomena were noted. Among the main characteristics of the pursuit process, the dependence between the amount of horizontal movement of the fugitive  $V$  towards the “lifeline” and the angular coefficient of his escape line in stagnant water was obtained. On the graph of this dependence, a well-defined local maximum is observed, which is reached at some non-zero value of the angular coefficient  $k$ . Numerical analysis also showed that there is some minimum limit of the ratio  $\alpha_{\min}$  of the speed modules of the pursuer  $U$  and the fugitive  $V$ , for which the pursuer  $U$  will be able to detain the fugitive within the given lane  $x \in [0, X]$  before the fugitive crosses the “life line”. If the value  $\alpha$  is less than the specified value  $\alpha_{\min}$ , then the fugitive  $V$  will not be detained in this lane.*

**Key words:** *the pursuer, the fugitive, the process of pursuit, pursuit curve, “life line”, escape line, successful escape, the speed of the river.*

**Formulation of the problem.** Pursuit problems have always been among those that have interested various researchers since ancient times [1–4]. With the development of technical means and with the growth of computing capabilities and capacities of modern computers, the pursuit tasks became more precise and complicated, especially in the military field of interception of combat targets [5–22]. At the same time, in the majority of formulations of such problems, the process of pursuit was considered in stationary conditions of the external environment, that is, it did not depend on the change in the position in time of the points of space in which both the pursuer and the fugitive are instantly located. This work considers just such a case.

**The object of the study** is the process of chasing and intercepting a fugitive boat by a chasing boat on the horizontal surface of the river, taking into account the speed of its current.

**The subject of the study** was the mathematical model and paradoxical properties and characteristics of the specified persecution process.

**The purpose of the research:** to find 1) the trajectory of the interception  $L$  of the fugitive boat  $V$  by the pursuit boat  $U$  in moving water; 2) the point on the surface of the river in which the pursuer will catch up with the fugitive; 3) the angular coefficient  $k$  of the escape line, which ensures the maximum movement  $x(k)$  of the escapee along the horizontal axis perpendicular to the “life line”.

So, consider the starting position of two moving points, one of which is chasing the other (Fig. 1).

On one bank (indicated in Fig. 1 as the ordinate axis  $OY$ ) of a raging river, there are two boats at a distance  $y_0$  from each other – a coast guard boat  $U$  (hereinafter the pursuit boat) and a border violator boat  $V$  (hereinafter the fugitive boat). The river separates



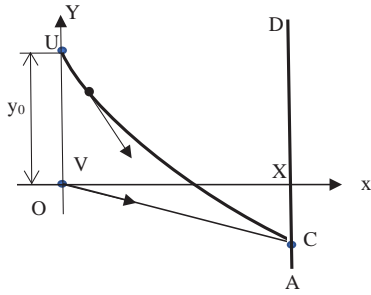


Fig. 1. Pursuit curve

the two countries as a natural border between them. At the same time, the runaway boat tries to cross the river as quickly as possible, moving in the direction of the border  $AD$  between the two countries. Let's call it "lifeline" in the future. We believe that the "lifeline"  $AD$  for the escape boat is parallel to the initial shoreline  $OY$  of the two boats. The chasing boat  $U$  tries to catch up with the boat  $V$  before it has time to reach a certain point, which is on the "lifeline". Point  $C$  in Fig. 1 is the point of possible detention of the fugitive  $V$  by the pursuer  $U$ .

So, at the initial time  $t = 0$ , the runaway boat  $V$  (relative to the moving river) begins to move along a straight line  $y = kx$  with an angular coefficient  $k$  (Fig. 1) and with a speed whose modulus is constant  $\gamma_V = \sqrt{p^2 + q^2} = const$ . Here, the values  $p$  and  $q$  are the horizontal and vertical projections of the speed of the boat  $V$ , respectively, which it can develop as much as possible in stagnant water. The pursuing boat  $U$  starts at the same time as the fleeing boat  $V$  and in the process of pursuit chooses the direction of movement to the current location of the boat  $V$  on the plane  $OXY$ . At the same time, the boat  $U$  also has a constant speed module  $\gamma_U = \sqrt{u^2 + v^2} = const$ , which is  $\alpha$  times greater than the speed module of the boat  $V$ :  $\gamma_U = \alpha\gamma_V$ . Here, the variables  $u$  and  $v$  are the horizontal and vertical projections of the speed  $\gamma_U$  of the boat  $U$ , respectively, which it can develop as much as possible in stagnant water. Constant values  $\gamma_U$  and  $\gamma_V$  in a certain way depend on the power of the engines of both boats.

As it was said above, the specified speed modules of both boats are set relative to the stationary surface of the water without taking into account the transferable speed of the river current. But in this problem, the movement of boats is considered in moving water, and the module of the speed of the river current is given by the function  $f(x)$  of the horizontal coordinate  $x$ , and the velocity vector is directed in the opposite direction in relation to the positive direction of the ordinate axis  $OY$ .

Physically, the movement of both boats can be identified with the movement of material points in the horizontal vector field  $\vec{B}$  of velocities of a moving fluid. In this case, the components of the vector field of the moving fluid have the form:  $\vec{B} = (0, -f(x), 0)$ . Vertical kinematics of boat movement (that is, movement in the direction of the applique axis) is not considered in this problem.

**Analysis of recent research and publications.**

The pursuit curve is the line along which the pursuer moves while pursuing the fugitive. The problem of persecution probably dates back to the time of Leonardo da Vinci. He was the first to investigate this problem when the fugitive moved in a horizontal straight line. The general case was studied by the French scientist Pierre Bouguer in 1732 [1–4]. The task was to find the curve of pursuit of a merchant ship by a pirate ship. At the same time, it was assumed that the speeds of the two vessels are always in the same ratio.

In works [4–7], the well-known problem of "chasing four mice" is considered. Suppose four mice are located in each of the four corners of a square table, and each mouse runs to the one to the right of it. We need to find parametric curves that describe the trajectory of each mouse. The solutions of this problem will be spiral trajectories that coincide in the center of the table.

In [8], deterministic continuous pursuit is considered, in which  $n$  ants chase each other in a circle and have predetermined variable speeds. Two discrete analogues are considered, in which a cricket or a frog is cyclically pursued with a constant and equal speed. The possible evolution of this motion as time approaches infinity is explored: collisions, limit points, equilibrium states, and periodic motion.

The paper [9] presents a simple mathematical model of the local interaction of a colony of ants or other natural or artificial creatures with a great "sense of global geometry" to find a direct path from the anthill to food. This task was also considered within the framework of the general task of chasing  $n$  ants.

The paper [10] investigates the movement of an arbitrary set of points (or beetles) on a plane chasing each other in cyclic pursuit. It is shown that for regular centrally symmetric configurations, analytical solutions are easily obtained by switching to the corresponding rotating frame of reference. Several cases of asymmetric configurations are discussed. In particular, it is shown that for three beetles in a triangular configuration of a centrally rotating coordinate system, relative to which the beetles have no tangential velocity, is the point of collapse and coincides with one of the two Brocard points in the triangle. For the

case where all beetles have the same speed, a theorem is proved that whenever premature (ie, non-reciprocal) capture occurs, the collision must be head-on. This theorem is then applied to the case of three- and four-beetle configurations to show that these systems collapse up to a point, i.e., the capture is mutual. Some aspects of these results are generalized to the case of systems with  $n$  beetles.

The paper [11] investigates the motion of an arbitrary set of points on a plane chasing each other, moving in a circle. A set of marked points  $1, 2, 3, \dots, n$  with coordinates  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ , is given, and the point  $(x_i, y_i)$  is considered to be the chaser point of the fugitive point  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  along the instantaneous line that connects. To close the loop, the point  $(x_n, y_n)$  must follow the point  $(x_1, y_1)$ . All points move at the same speed. Motion described in this way is called motion in "direct time." If the sign of the time derivative operator is changed, causing the point  $(x_i, y_i)$  to move away from the point  $(x_{i+1}, y_{i+1})$ , the motion is called "reverse-time" motion. Motion in both forward and reverse time is studied using a computer program. In real time, it is observed that eventually, in almost all tested cases, the points become collinear, with a large ratio of maximum to minimum distance, regardless of the shape of the initial configuration. In reverse time, it is observed that the points eventually arrange themselves in a star pattern, with the angle of the star apex less than some number in the neighborhood of ninety degrees. An analysis based on the stability of the equations of motion calculates the exact value of the maximum star angle as a function of the number of points.

The work [12] considers a well-known problem that continues to be analyzed today. Three (or more) beetles, which are initially located at the vertices of a regular polygon, begin to cyclically chase each other, moving together at the same speed. It is usually necessary to know the distance traveled by each beetle before mutual capture. The case of four beetles is the simplest. Due to symmetry, the four beetles always remain on the four vertices of the square. Since the fleeing beetle B2 always moves at right angles to the pursuing beetle B1, the capture speed of these two beetles depends only on the speed of the beetle B1. The case for  $n$  beetles is only slightly more complicated. The problem is again symmetrical, since  $n$  beetles are always located in  $n$  vertices of a regular  $n$ -gon.

In the book [13], systematic methods of winning in differential pursuit and evasion games are presented, the scope and application of game procedures are investigated. Numerous examples are helpful and illustrate basic and advanced concepts, including cap-

ture, strategy selection, and algebraic theory. In addition, the book contains a review of both linear and non-linear games. Chapters in the book also include stroboscopic and isochronous target acquisition.

In [14], the formulation of the pursuit problem on the plane from the point of view of the multi-agent approach is proposed. Disagreements are shown that distinguish the proposed formulation of the problem from the formulation of such a problem from the point of view of the theory of differential games. A list of methods to be developed is given.

The article [15] considers differential pursuit games on the plane, in which a group of pursuers is created for each of the fugitives. Formulated tasks of optimization of pursuit groups. Numerical methods for solving such problems were constructed, numerical experiments were conducted, and the effectiveness of these methods was analyzed.

The article [16] considers the pursuit problem with simple movement for the case when the maximum speeds of the players are the same, and the fleeing person moves along a strictly convex smooth  $n$ -dimensional surface. It is proven that the end of pursuit is possible from any starting position. It is established that evasion is possible from some initial positions if the hypersurface contains a two-dimensional flat part.

In the book [17], problems from the classical theory of optimal control are considered, in which optimal control is determined, which optimizes a criterion subject to a dynamic constraint, which expresses the evolution of the system state under the influence of control variables. Different differential games are studied when extended to the case of multiple controllers (or players) with different and sometimes conflicting optimization criteria (gain function). The most developed part of differential games are zero-sum differential games (or differential pursuit games), which are extensively studied. The book develops a complete theory of differential pursuit games with full and partial information. Numerous specific pursuit-evasion games (lifeline games, simple pursuit games, etc.) are solved, as well as new time-consistent optimality principles in  $n$ -person differential game theory.

In the book [18], differential games are considered as conflict situations with an infinite set of alternatives that can be described using differential equations. In the book, the main attention is paid to fundamental mathematical questions, the solution methods are illustrated by a large number of interesting examples, which are important in themselves. A number of unsolved problems for independent work are offered.

In the message [19], the persecution process was analyzed from a military point of view. As pursuers can

be considered: missiles, interceptor aircraft (or other aircraft); intelligent search for a military target (for example, ammunition depots, tanks, aircraft at airfields, etc.); a unit or individual soldier pursuing and approaching an enemy unit or individual soldier; ships approaching other ships, tracking torpedoes that explode when they hit enemy ships. In this paper, the pursuit process was considered under the following assumptions: the pursuer moves at a constant speed, the pursuit takes place in a given direction during a certain time interval, and the pursuer always sees the fugitive (target). The simulation of the pursuit process was first performed for the flat case, and later this model was generalized to the three-dimensional case. The purpose of the study was to determine the movement curve for the pursuer, provided the location of the target is known.

The technical report [20] provides a detailed description of the implementation of a clean pursuit curve tracking algorithm. Given the general success of the algorithm in recent years, it is likely that it will be used again in land navigation tasks. The report also includes a geometric version of the method and provides some information on the performance of the algorithm as a function of its parameters.

The article [21] describes a third-order chase, a game of evasion in which both players have the same speed and minimum turning radius. A idiosyncratic game is first resolved for a barrier or shell of states that can be captured. When capture is possible, the game at some level is decided for optimal control of the two players as a function of relative position. It is found that the solution of the problem includes a universal surface for the pursuer and an acceleration surface for the evaders.

The article [22] considers the coplanar problem of evading pursuit, in which two pursuers  $P_1$  and  $P_2$  and one fugitive E participate. The fugitive E evades with a constant speed  $w > 1$  greater than that of the pursuers, and must pass between the two pursuers  $P_1$  and  $P_2$  with a single speed, the gain is the distance of closest approach to any of the pursuers. This is a typical two-player zero-sum game theory problem. Velocity directions  $P_1$ ,  $P_2$  and E are chosen as controlling variables. A closed-loop solution is obtained through elliptic functions of the first and second kind. The closed-loop solution is shown graphically in several diagrams for different values of  $w$ .

The considered problem is a continuation of previous studies [23–25], which considered the problem of the fastest movement of a boat in moving water in a variation setting.

**Construction of the differential equation of the trajectory of the pursuit boat.**

Let us identify the location of the boats on the plane  $OXY$  with the points  $U$  and  $V$ . We denote by  $(x, y)$  the coordinates of a point  $U$  in moving water and by  $(\xi, \eta)$  – the coordinates of a point  $V$  in moving water at the current moment of time  $t$ . Let's build a system of differential equations to establish the pursuit curve taking into account the transferable speed of the river current:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = u; \\ \frac{dy}{dt} = v - f(x); \\ \frac{d\xi}{dt} = p; \\ \frac{d\eta}{dt} = q - f(x); \end{cases} \quad (1)$$

Let's set the expression for the angular coefficient  $y'$  of the tangent to the curve  $L$  at the current point  $U(x, y)$ :

$$y' = (v - f(x))/u. \quad (2)$$

Note that the pursuer at each moment of time tries to move along the instantaneous line that visually connects the two current points  $U(x, y)$  and  $V(\xi, \eta)$  on the plane  $OXY$  (that is, the pursuer  $U(x, y)$  "keeps track of the fugitive"  $V(\xi, \eta)$ ). At the same time, this direction must coincide with the direction of the tangent  $y'$  to the desired pursuit curve  $U(x, y)$ . Let's describe it mathematically, taking into account (2). As a result, we will get the equality of two angular coefficients:

$$(v - f(x))/u = (\eta - y)/(\xi - x). \quad (3)$$

First, let's get rid of the variables  $u$  and  $v$  in system (1) using equality (3) and the relation for  $\gamma_U$ . To do this, let's express the variable  $v$  in terms of the remaining variables  $(x, y, \xi, \eta)$  from equation (3).

$$v = f(x) + u \cdot \omega(x, y, \xi, \eta), \quad (4)$$

where  $\omega(x, y, \xi, \eta) = (\eta - y)/(\xi - x)$ . In further transformations, the arguments of the function  $\omega = \omega(x, y, \xi, \eta)$  will be omitted. Now let's use relations  $\gamma_U = \sqrt{u^2 + v^2}$  and expression (4) to get rid of the variable  $u$ . As a result, we get a quadratic equation

$$u^2 \cdot (1 + \omega^2) + 2f(x)\omega u + f^2(x) - \gamma_U^2 = 0. \quad (5)$$

Solutions of equation (5) are a pair of relations:

$$\tilde{u}_{1,2} = \left[ -f(x)\omega \pm \sqrt{\gamma_U^2(1 + \omega^2) - f^2(x)} \right] / (1 + \omega^2). \quad (6)$$

The corresponding two solutions for  $v$  have the form:

$$\tilde{v}_{1,2} = \pm \sqrt{\gamma_U^2 - u_{1,2}^2}. \quad (7)$$

Now, in system (1), let's get rid of the variables  $p$  and  $q$  using the relations  $\gamma_V = \sqrt{p^2 + q^2}$  and  $q = kp$ . In this problem, these variables are constant and have the following form:

$$\tilde{p}_{1,2} = \pm \gamma_V / \sqrt{1 + k^2}, \quad \tilde{q}_{1,2} = \pm \gamma_V k / \sqrt{1 + k^2}. \quad (8)$$

Substituting the obtained expressions (6) – (8) into system (1), we obtain a normal system of four nonlinear differential equations that describes the process of chasing a fugitive in moving water:

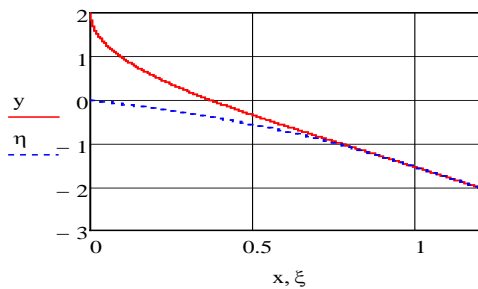
$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \tilde{u}(x, y, \xi, \eta); \\ \frac{dy}{dt} = \tilde{v}(x, y, \xi, \eta) - f(x); \\ \frac{d\xi}{dt} = \tilde{p}; \\ \frac{d\eta}{dt} = \tilde{q} - f(x); \end{cases} \quad (9)$$

**Numerical analysis of the process of pursuit of a fugitive in moving water.**

For the numerical integration of system (9), the following initial conditions are chosen:  $x(0) = \xi(0) = \eta(0) = 0; y(0) = 2$ . So, we have the following starting points: for the pursuing boat it is point  $U(0,2)$ , and for the runaway boat –  $V(0,0)$  respectively. The function, which sets the modulus of the river current, has the form:

$$f(x) = A_0 \sin(\pi x/H). \quad (10)$$

We present a graph (Fig. 2) constructed for the case of the pursuit process, in which the following movement parameters are selected:  $k = -1, A_0 = 1, H = 2$  and  $\gamma_U/\gamma_V = \alpha = 2$ . On the graph in Fig. 2, the dashed curve represents the trajectory of the runaway boat  $V$ , and the solid curve represents the trajectory of the pursuing boat  $U$ . Note that the dashed curve in moving water is not straight, but has a certain curvature due to the transfer speed of the river current.

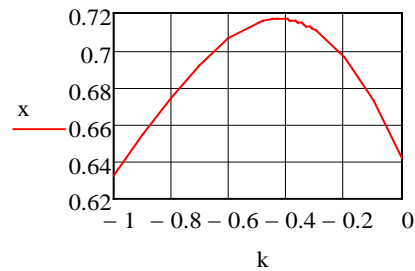


**Fig. 2. Pursuit (solid curve) and escape (dashed curve) curves for the case:  $k=-1, A_0=1, H=2, \alpha=2, y_0=1$**

The point on the plane  $OXY$  where the fugitive will be apprehended has coordinates:  $C(1.264, -2.170)$ . The time  $T$  that will be spent on the pursuit process in this case is equal to:  $T = 1.787$  (time units).

Now let's examine the behavior of the function  $x(k)$  (this is the horizontal coordinate of the fugitive's arrest point) depending on the variable angular coefficient  $k$  of the straight line along which the fugitive would move in stagnant water. For this, the following

fixed parameters were chosen:  $A_0 = 1, H = 1, y_0 = 1$  and  $\alpha = 2$ . The following initial conditions are chosen for integration:  $x(0) = \xi(0) = \eta(0) = 0; y(0) = 1$ . Thus,  $U(0,1)$  – the starting point of the pursuit boat;  $V(0,0)$  – the starting point of the runaway boat's movement. Fig. 3 shows the indicated graph, on which a clearly expressed local maximum is observed, which is reached at a certain value of the angular coefficient  $k$ . In our case, it is approximately equal to  $k = -0,450$ .



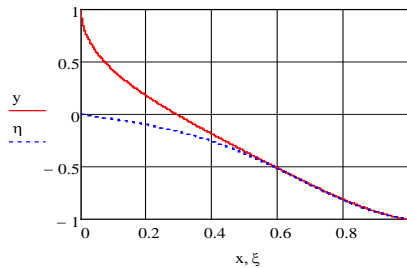
**Fig. 3. Graph of dependence of the maximum horizontal movement of the fugitive towards the "life line"**

The local maximum of the curve indicates that there is a certain non-zero angle of inclination of the escape boat's direct motion (in stagnant water), which gives it the opportunity to achieve the maximum movement towards the "lifeline"  $AD$ . So, we observe a certain paradox: the curve in Fig. 3 establishes that the strategy of choosing an angle of inclination equal to zero for direct escape in standing water (that is, movement along the shortest segment connecting two parallel lines  $OY$  and  $AD$  – which would be natural) is not correct for a successful escape. In this version of the calculation ( $\alpha = 2, k = -0,450$ ), this movement is as follows:  $x(-0,45) = 0,717$  (distance units). For comparison, we note that if the "life line"  $AD$  were, for example, at a distance of  $X = 0,700$  (units of distance) from the ordinate axis, then the escape of the boat  $V$  would be successful, unlike the case when a straight line with a zero angle coefficient was chosen for escape (i.e. abscissa axis). In the latter case  $x(0) = 0.642 < X$ , and the fugitive will definitely be detained.

Numerical analysis of the pursuit process also showed that there is a certain minimum limit of the ratio of speed modules  $\gamma_U/\gamma_V = \alpha_{MIN}$ , at which the pursuer  $U$  will be able to detain the fugitive  $V$  within the given lane  $0 < x < X$  before the fugitive crosses the "life line"  $AD$ . If the value  $\alpha$  is less than the specified value  $\alpha_{MIN}$ , then the fugitive  $V$  will not be apprehended in this lane. Recall that the ratio  $\alpha$  establishes a connection between the power of the motors of the two boats. Moreover, the value  $\alpha_{MIN}$  is

significantly different from the similar value in the case when the speed of the river flow is not taken into account in the formulation of the problem.

To illustrate this interesting property, consider the process of chasing a fugitive in the case of  $k = -0,450$ ,  $A_0 = 1$ ,  $H = 1$ ,  $y_0 = 1$ ,  $X = 1,00$ . First, we will find the minimum value  $\alpha_{MIN}$  that will ensure the arrest of the fugitive within the given lane  $0 < x < 1,00$ . A numerical experiment showed that it is equal to:  $\alpha_{MIN} = 1,69$ . Fig. 4 shows the pursuit curve constructed for the considered case.



**Fig. 4. The process of chasing and apprehending a fugitive in a given lane  $0 < x < 1,00$  at a speed ratio  $\alpha_{MIN} = 1,69$**

The intersection of the two curves occurs at the point  $C(0,997; -1,001)$ , which indicates that the fugitive  $V$  was apprehended within the given lane  $0 < x < 1,00$ .

**Conclusions.** The work solves the actual problem of creating a mathematical model of the process of chasing and apprehending a fugitive in a horizontal

vector field of a moving fluid with certain restrictions on the movement of the fugitive.

*The scientific novelty* of the obtained results lies in the fact that for the first time a mathematical model of the process of chasing a fugitive was formulated and built, taking into account the transferable speed of the external environment.

*The practical significance* of the obtained results is that based on the developed mathematical model and its software implementation, a numerical analysis of the fugitive pursuit process was carried out and its important characteristics and properties were established. One of them concerns the choice of the direction of escape and indicates that there is a certain non-zero angle of inclination of the rectilinear (in still water) movement of the fleeing boat, which, out of all other possible angles, makes it possible to achieve its maximum movement closest to the “lifeline”. Thus, this paradoxical property establishes that the choice of the angle of inclination of the escape line, which is equal to zero, is not optimal for a successful escape. The results of the numerical experiment allow recommending the developed mathematical model and its software implementation for further practical use in the study of pursuit processes in horizontal vector fields of a moving fluid.

*Prospects for further research* will be related to the study of the features and properties of the pursuit process for the case when the fugitive chooses an algebraic curve of the second order (in a standing fluid) for escape, provided that the transfer velocity of the moving fluid is taken into account.

#### Bibliography:

1. A. Bernhart, Curves of pursuit, Scripta Math. 20 (1954) 125-141.
2. A. Bernhart, Curves of pursuit-II, Scripta Math. 23 (1957) 49-65.
3. A. Bernhart, Polygons of pursuit, Scripta Math. 24 (1959) 23-50.
4. A. Bernhart, Curves of general pursuit, Scripta Math. 24 (1959) 180-206.
5. J.C. Clapham, Playful mice, Recreat. Math. Mag. (August 1962) 6-7.
6. Zuzana Malacká. Pursuit Curves and Ordinary Differential Equations // Komunikacie 14(1): 66-68, University of Žilina, March 2012, DOI: <https://doi.org/10.26552/com.C.2012.1.66-68>.
7. Nahin P. J. Chases and Escapes: The Mathematics of Pursuit and Evasion. Princeton-New Jersey: (Princeton Puzzlers), 2012. 272 p. ISBN 0691155011
8. A.M. Bruckstein, N. Cohen and A. Efrat, Ants, crickets and frogs in cyclic pursuit, Preprint, Techion CIS Report #9105 (July 1991).
9. A.M. Bruckstein, Why the ant trails look so straight and nice, Math. Intelligencer 15(2) (1993) 59-62. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03024195>
10. F. Behroozi and R. Gagnon, Cyclic pursuit in a plane, J. Math. Phys. 20 (November 1979) 2212-2216.
11. F. Behroozi and R. Gagnon, A computer-assisted study of pursuit in a plane, Amer. Math. Monthly (October 1975) 804-812.
12. M.S. Klamkin and D.J. Newman, Cyclic pursuit or “The Three Bugs Problem”, Amer. Math. Monthly (June 1971) 631-639. DOI: <https://www.jstor.org/stable/2316570>
13. O. Hajek, Pursuit Games: An Introduction to the Theory and Applications of Differential Games of Pursuit and Evasion, New York: Academic Press (1975). ISBN 0123172608
14. A. L. Yalovets. On the formulation of the pursuit problem on the plane // Programming problems. 2013. No. 2, p.p. 95-100. ISSN 1727-4907.

15. S.V. Pashko, A.L. Yalovets. Numerical methods for solving pursuit optimization problems // Problems of programming. 2013. No. 4, p.p. 74-85. ISSN 1727-4907.
16. A.S. Kuchkarov, B.B. Rikhsiev. A Pursuit Problem under Phase Constraints // Automation and Remote Control, 2001, 62(8):1259-1262; DOI: [https://www.researchgate.net/publication/251205855\\_A\\_Pursuit\\_Problem\\_under\\_Phase\\_Constraints](https://www.researchgate.net/publication/251205855_A_Pursuit_Problem_under_Phase_Constraints)
17. L.A. Petrosyan, Differential Games of Pursuit (World Scientific Publisher, Singapore, London, 1993, 340 p. <https://doi.org/10.1142/1670>
18. Isaacs R., Differential Games, John Wiley and Sons, New York, 1967, p. 260.
19. David C. Arney. The Chase Problem (Part 1). p.p. 109 – 128. DOI: [https://www.westpoint.edu/sites/default/files/inlineimages/academics/academic\\_departments/mathematical\\_sciences/Math/DDS2.pdf](https://www.westpoint.edu/sites/default/files/inlineimages/academics/academic_departments/mathematical_sciences/Math/DDS2.pdf)
20. R. Craig Conlter. Implementation of the Pure Pursuit Path Tracking Algorithm. CMU-RI-TR-92-01, The Robotics Institute Carnegie Mellon University Pittsburgh, Pennsylvania 15213, January 1992
21. A. Merz. The game of two identical cars // Journal of Optimization Theory and Applications, 1972, V. 9, p.p. 324 – 343. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00932932>
22. P. Hagedorn, J.V. Breakwell. A Differential Game with Two Pursuers and One Evader // Multicriteria Decision Making and Differential Games, 1976, p.p. 443 – 457; DOI: [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8768-2\\_27](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8768-2_27).
23. V.P. Legeza, O.V. Atamaniuk. The Brachistochronic Movement of a Material Point in the Horizontal Vector Field of a Mobile Fluid. KPI Science News. 2019. №3. P. 44-51. DOI: <https://doi.org/10.20535/kpi-sn.2019.3.175735>.
24. V.P. Legeza. Solution of the Zermelo problem in a variational formulation // Report on the 7th International conference "Mathematical modeling, optimization and information technologies" (MMOTI-2021), November 15-19, 2021, Chisinau-Kyiv-Batumi, p.p. 248-251.
25. Viktor Legeza, Liubov Oleshchenko. Paradoxical Properties Research of the Pursuit Curve in the Intercepting a Fugitive Problem. ICCSEEA2023: The 6th International Conference on Computer Science, Engineering and Education Applications. March 17-19, 2023, Warsaw, Poland. Section 2. Perfection of Computer Algorithms and Methods. [https://www.icics.net/documents/ICCSEEA2023\\_Conference\\_Program.pdf](https://www.icics.net/documents/ICCSEEA2023_Conference_Program.pdf)

### Лебеза В.П., Нешадим О.М. ЗАДАЧА ПЕРЕХОПЛЕННЯ ВТІКАЧА НА ПЛОЩИНІ В ОДНОВИМІРНОМУ ВЕКТОРНОМУ ПОЛІ РУХОМОЇ РІДИНИ

Розглядається процес переслідування на горизонтальній площині катера-втікача  $V$  катером-переслідувачем  $U$  в одновимірному полі рухомої рідини. Предметом дослідження є математична модель та характеристики і властивості процесу переслідування. Основною метою дослідження було встановлення траєкторії перехоплення катера-втікача  $V$  катером переслідування  $U$  у рухомому потоці рідини. Побудовано математичну модель процесу переслідування катера-втікача  $V$  на площині у вигляді чотирьох нормальних диференціальних рівнянь першого порядку. Модель враховує швидкість течії річки, яка утворює одновимірне поле рухомої рідини. Припускалося, що переслідувач  $U$  в кожен момент часу намагається рухатися по миттєвій лінії, яка візуально з'єднує дві поточні точки (його і втікача  $V$ ) на горизонтальній площині, тобто переслідувач  $U$  «тримає курс на втікача» під час переслідування. При цьому втікач  $V$  намагається якомога швидше перетнути річку, рухаючись у напрямку «лінії життя»  $AD$ . В свою чергу, переслідувач  $U$  намагається наздогнати катер-втікач  $V$  до того, як той встигне досягти певної точки, яка знаходиться на «лінії життя»  $AD$ . Запропоновано і реалізовано в пакеті MathCad метод числового розв'язання і дослідження отриманої системи диференціальних рівнянь та з його використанням знайдено рівняння кривої переслідування. Встановлено і проаналізовано основні характеристики кривої переслідування, відмічені певні парадоксальні властивості. Серед основних характеристик процесу переслідування отримано залежність між величиною горизонтального переміщення втікача  $V$  у бік «лінії життя» та кутовим коефіцієнтом  $k$  його лінії втечі в стоячій воді. На графіку цієї залежності спостерігається чітко виражений локальний максимум, який досягається при деякому ненульовому значенні куткового коефіцієнта  $k$ . Числовий аналіз також показав, що існує деяка мінімальна межа  $\alpha_{\min}$  співвідношення модулів швидкостей переслідувача  $U$  і втікача  $V$ , за якого переслідувач  $U$  зможе затримати втікача  $V$  в межах заданої смуги  $x \in [0, X]$  до того, як втікач перетне «лінію життя». Якщо значення  $\alpha < \alpha_{\min}$ , то втікач  $V$  не буде затриманий на даній смузі.

**Ключові слова:** втікач, переслідувач, процес переслідування, крива переслідування, «лінія життя», лінія втечі, успішна втеча, швидкість течії річки.

УДК 004.27

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/28>**Лемешко А.В.**

Державний університет телекомунікацій

**Антоненко А.В.**

Державний університет телекомунікацій

**Петрик А.В.**

Державний університет телекомунікацій

**Миронов С.О.**

Державний університет телекомунікацій

## НЕЙРОМОРФНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Стаття присвячена огляду проектування нейроморфних систем, здатних імітувати роботу біологічних нейронів та синапсів, моделювати когнітивні процеси людського мозку, розглядається як один із ключових напрямків у сфері штучного інтелекту. У статті розкрито дослідження, спрямовані на розвиток нових обчислювальних парадигм та апаратну реалізацію моделей нейронних мереж, що переходять на новий етап – досягнутий у світі технологічний рівень дозволяє створювати системи на кристалі, містять мільйони штучних нейронів та синапсів. З'ясовано, що сьогодні проекти в галузі нейроморфних чіпів ведуться багатьма світовими гравцями – від технологічних гігантів до стартапів. Нейроморфні системи є важливим напрямком розвитку штучного інтелекту, оскільки вони дозволяють імітувати роботу біологічних нейронів та синапсів і моделювати когнітивні процеси людського мозку. Дослідження, спрямовані на розвиток нових обчислювальних парадигм та апаратної реалізації моделей нейронних мереж, дозволяють створювати системи на кристалі, які містять мільйони штучних нейронів та синапсів. Це відкриває нові можливості для створення інтелектуальних систем, здатних до виконання складних завдань у реальному часі. З'ясовано, що принцип побудови нейроморфних систем полягає у тому, що вони повинні імітувати роботу біологічного мозку, використовуючи властивості нейронів та синапсів. Для цього необхідно забезпечити взаємодію між нейронами та синапсами, що досягається за допомогою мережі електронних компонентів, що дозволяє передавати сигнали між нейронами та синапсами. Визначено, що нейроморфні системи можуть бути побудовані на базі різних матеріалів, наприклад, на кремнієвих чіпах, що дозволяє отримати велику кількість нейронів та синапсів на одному чіпі. Одним із найважливіших викликів для розробників нейроморфних систем є реалізація ефективних методів навчання нейронних мереж. Визначено, що традиційні методи машинного навчання, такі як зворотне поширення помилок, можуть не бути ефективними для нейроморфних систем, оскільки вони потребують великої кількості обчислень. У статті розглянуто загальні принципи побудови нейроморфних систем та способи реалізації нейронних мереж, представлений огляд перспективних проектів у галузі нейроморфних обчислень.

**Ключові слова:** мемристор, нейронна мережа, нейроморфні системи, штучний інтелект, фонейманівські процесори, синапси.

**Постановка проблеми.** Протягом кількох останніх десятиліть основною обчислювальною моделлю для переважної більшості комп'ютерних систем служила архітектура фон Неймана. У цій архітектурі пам'ять та центральний процесор спілкуються один з одним через шину даних, що обмежує продуктивність системи, особливо у додатках з інтенсивним використанням даних. Дедалі ширше використання алгоритмів машинного навчання, що потребують обробки величез-

них масивів даних, і також фізичні обмеження технології змушують шукати альтернативу процесорам із класичною архітектурою для створення систем зі штучним інтелектом [1–4].

На відміну від послідовних систем, до яких належать фонейманівські процесори, в людському мозку обробка інформації проводиться зовсім інакше. Кожен із майже 100 млрд нейронів обробляє інформацію незалежно, працюючи паралельно з іншими нейронами та отримуючи

сигнали від них через синапси – зв'язок між нейронами з пам'яттю. На цьому принципі будують штучні аналоги біологічного мозку – нейроморфні системи (рис. 1). Апаратна реалізація нейроморфних систем дозволяє кардинально підвищити обчислювальну потужність за рахунок паралельної обробки даних на безлічі процесорах. Сьогодні з розвитком субмікронних та нанотехнологій створення таких систем стає все більш реальним завданням [5–7].

Розглядаються системи, що містять як штучні нейрони кілька десятків тисяч і навіть мільйонів процесорних ядер. При цьому структура кожного процесора-нейрону простіша, ніж традиційного процесорного ядра, але за рахунок їх величезної кількості функціональність системи суттєво зростає [8]. Слід зважати на ще один важливий фактор – енергоспоживання. Сьогодні основною проблемою мобільних і периферійних пристроїв є жорстко обмежені бюджети споживаної потужності. Можливості традиційних обчислювальних архітектур з погляду зниження споживання незначні. Відповіддю може стати більш ефективна паралельна архітектура у поєднанні із можливістю навчання [9, 10].

Дуже важливою є також можливість системи працювати автономно, без постійного обміну інформацією з віддаленим сервером або хмарою, оскільки це знижує безпеку та швидкодію системи. Тому бажано створити нейроморфну систему, що самонавчається, здатну обробляти дані локально, всередині пристрою [11].

**Аналіз останніх джерел.** Для подальшого розвитку систем штучного інтелекту потрібно впро-

ваджувати зміни в архітектурі, як і програмного, так і апаратного забезпечення. На теперішній момент ми підбираємося до межі можливостей класичних напівпровідникових електронних пристроїв. Мемристор є одним з найперспективніших напрямків для розвитку в сфері апаратного забезпечення [12–14].

Питанням створення нейроморфних процесорів на основі мемристорів займається багато вчених у всьому світі. Наразі вже розроблена велика кількість різних концепцій даної архітектури, написано багато наукових статей: Чжоу Пен (Zhou Peng), Донг-Ук Чой (Dong-Uk Choi), Джейсон Камран Ешрагян (Jason Kamran Eshraghian) та Сун-Мо Стив Кан (Sung-Mo Steve Kang) “Повністю мемристична нейронна мережа з неконтрольованим навчанням (A Fully Memristive Spiking Neural Network with Unsupervised Learning)”, Рейтер Філіп (Reiter Philippe), Г. Р. Хоце (G. R. Jose), Спиридон Бізмпікіс (Spyridon Bizmpikis) та Іонела-Анкута Цирхіла (Ionela-Ancuta Cîrjila) “Нейроморфна обробка та зондування: еволюційний прогрес штучного інтелекту до спайкування (Neuromorphic Processing and Sensing: Evolutionary Progression of AI to Spiking)”, Кім Сін Джу (Kim Seung Ju), Санг Бум Кім (Sang Bum Kim) та Хо Вон Чан (Ho Won Jang) “Конкуруючі мемристори для обчислень, натхненних мозком (Competing memristors for brain-inspired computing)” та ін. і книг: Бен Абдалла (Ben Abdallah), Абдеразек і Кхан Н. Данг (Abderazek, та Khanh N. Dang) “Принципи та організація нейроморфних обчислень (Neuromorphic computing principles and organization)”, даний напрямок комп'ютерної

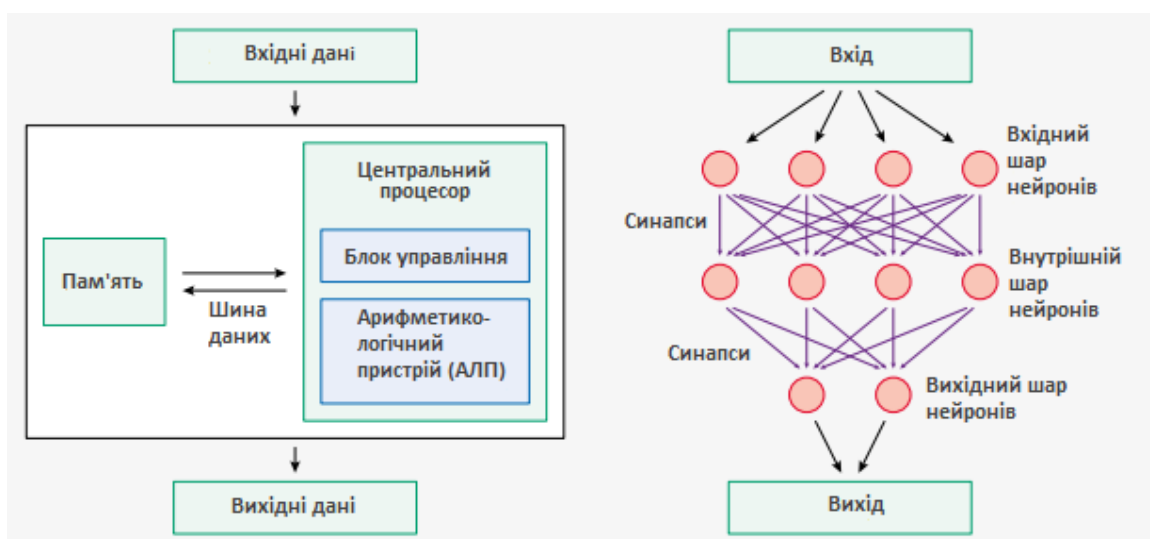


Рис. 1. Архітектура (фон Неймана – зліва; нейроморфна архітектура – справа)



інженерії активно розвивається, було показано вже багато робочих прототипів від: Intel, IBM, Toshiba, Qualcomm. Хоча комерційних зразків процесорної техніки з застосуванням мемристорів ще немає, але дана технологія активно розвивається [4–20].

**Метою роботи** є обґрунтування та доведення потенційної користі та перспектив розробки нейроморфних систем для подальшого розвитку в напрямку штучного інтелекту.

Об'єкт дослідження – методи впровадження мемристорів для створення нейроморфних систем.

Предмет дослідження – модельні нейроморфних систем.

Основне завдання - розглянути апаратні шляхи розвитку в системах штучного інтелекту, пояснити основні принципи роботи нейроморфних процесорів та показати сучасні проекти в області нейроморфних систем.

**Виклад основного матеріалу.** Ключовий інструмент реалізації нейроморфних обчислень – штучні нейронні мережі (ШНМ), які є математичними моделями, засновані на принципах побудови людського мозку. На сьогоднішній день можна виділити три покоління у розвитку ШНМ. Нейронні мережі першого покоління будували на основі порогового нейрона Макалока - Пітса або одношарового перцептронну, мали бінарні входи та виходи. Потім з'явилися нейронні мережі на основі багатшарового перцептронну, а також мережі Кохонена, мережі Хопфілда, радіальні базові мережі та ін [21, 22].

Мережі третього покоління – це мережі глибокого навчання та спайкові (імпульсні) нейронні мережі. Мережі глибокого навчання містять велику кількість шарів, кожен з яких відповідає за свою функцію обробки окремого елемента вхідних даних. Кожен окремий елемент мережі має множинні вхідні зв'язки від елементів попереднього шару. Мережі глибокого навчання дозволяють не тільки виділяти окремі складні об'єкти, а й приймати рішення з урахуванням ієрархічних взаємозв'язків з-поміж них.

Найреалістичнішою з точки зору фізіології роботи мозку моделлю ШНМ є спайкова нейронна мережа (СНМ), в якій нейрони обмінюються короткими імпульсами (спайками) однакової амплітуди. Ця модель ШНМ відома досить давно, але тільки зараз вона стала досить широко використовуватися для вирішення прикладних завдань. СНМ принципово відрізняється від нейронних мереж другого покоління, що використовуються аналітиками даних. Така мережа замість значень, що без-

перервно змінюються в часі, оперує дискретними подіями, що відбуваються у певні моменти часу. Мережа отримує на входи серію імпульсів та видає імпульси на виході. Перевага СНМ полягає в тому, що імпульсний підхід дозволяє оперувати даними, враховуючи відстані між нейронами та тривалість поширення сигналу, тобто в контексті простору та часу. Тому СНМ краще імітують роботу мозку, ніж перцептронні, і краще пристосовані для обробки даних від датчиків [23].

На рис. 2 показаний процес збудження та переходу в стан спокою біологічного нейрона. Як тільки потенціал на мембрані нейрона досягає певної величини, нейрон реагує на це, передаючи імпульс, а мембрана набуває вихідного потенціалу. Сформована послідовність спайків передається через синапси до інших нейронів. Для опису цього процесу використовуються різні моделі, у тому числі модель Ходжкіна – Хакслі, модель «інтегрувати-і-спрацювати» (integrate-and-fire) та її різновид – «інтегрувати-спрацювати з витокми», що моделює витік мембранного потенціалу (leaky integrate-and-fire, LIF), а також інші моделі.



Рис. 2. Процес активування спайків нейрона

Основна властивість синапсу, що з'єднує нейрони, - довготривала пластичність, тобто зміна провідності синапсу при впливі сигналу та зберігання цього стану. Як варіанти реалізації штучного синапсу в різний час розглядалися транзистори з плаваючим затвором, комірки статичної пам'яті (RAM), різні технології енергонезалежної пам'яті: флеш-пам'ять, пам'ять на основі фазового переходу, сегнетоелектрична пам'ять (FeRAM), магніторезистивна пам'ять (MRAM) та ін [24].

Найбільш перспективним підходом сьогодні вважається використання як синапс мемристора – енергонезалежного елемента, який відноситься до класу елементів резистивної пам'яті (ReRAM).

Мемристор представляє собою резистор з ефектом пам'яті, опір якого змінюється під дією електричного поля і пройденого заряду. Чим більше пройшов заряд, тим більше змінився опір. Причому в залежності від полярності струму, що протікає, він може змінюватися як у більшу, так і меншу сторону. За рахунок цього реалізується пластичність синапсу, яка виражається у зміні ефективності передачі сигналу під дією самого сигналу, що проходить через синапс.

На основі мемристорів може бути досягнуто більш висока щільність розміщення елементів на чіпі, ніж на транзисторних синапсах. Використовуючи нанотехнології можна зменшити цей елемент до одиниць нанометрів. Крім того, при використанні мемристивних пристроїв можна досягти істотного зниження енергоспоживання, оскільки для підтримки свого поточного стану мемристор не витрачає енергію [25].

Важливою перевагою мемристорів є сумісність із технологією, що дозволяє розміщувати осередки пам'яті на одному кристалі з іншими ланцюгами. Можлива також реалізація 3D-інтегрованих структур на основі мемристивної мережі.

Конструктивно мемристор є структурою «метал – діелектрик – метал». Можливе уніполярне, біполярне та компліментарне перемикавання такої структури. Розроблено різні типи мемристорів із поєднанням різних матеріалів, зміна опору у яких відбувається за рахунок різних фізичних ефектів. Наприклад, у мемристорі на основі оксиду титану перемикавання елемента з одного стану провідності до іншого реалізується за рахунок дрейфу вакансії кисню. У Національному дослідному центрі ведуться дослідження можливості використання мемристорів з органічних матеріалів, зокрема на основі поліаніліну (синтетичного полімеру), в якому перемикавання між станами провідності відбувається за електрохімічної реакції окислення – відновлення [26].

На сьогоднішній день залишається ще чимало невирішених технічних проблем, пов'язаних з мемристорами: необхідно оптимізувати (зменшити) керуючу напругу, покращити відтворюваність характеристик перемикавання, досконально вивчити механізм перемикавання. Перші спроби створення штучних нейронних систем робилися ще наприкінці минулого століття, але за останні 10–15 років дослідження у цій галузі вийшли на новий рівень та була створена інфраструктура для подальшого розвитку цього напрямку [27].

Типи нейроморфних систем, що розробляються, умовно можна розділити на три категорії:

- системи з попереднім навчанням без можливості змінювати свої параметри у процесі розв'язання задачі;

- система з попереднім навчанням з можливістю змінювати деякі свої параметри в процесі вирішення завдань, наприклад, змінювати ваги зв'язків, включати або вимикати зв'язки та ін;

- система із можливістю змінювати свої параметри у процесі вирішення завдання, у тому числі структуру зв'язків та кількість нейронів (що не виключає можливості попереднього навчання).

Один із найбільших проектів здійснюється компанією IBM і рядом провідних університетів США на замовлення Управління перспективних досліджень та розробок міністерства оборони США (DARPA). У рамках цього проекту, який називається SyNAPSE (Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics), у 2014 році був створений нейронний процесор TrueNorth, що реалізує спайкову нейронну мережу [28].

Для процесора TrueNorth було розроблено спеціальну подієво-залежну асинхронну архітектуру. Основою чіпа є нейросинаптичне ядро, що містить обчислювальні елементи та пам'ять в якості нейронів та синапсів (рис. 3).

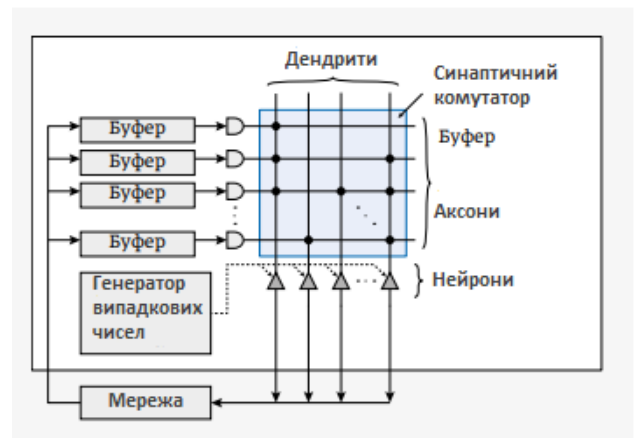


Рис. 3. Блок-схема нейросинаптичного ядра процесора TrueNorth

TrueNorth містить 5,4 млрд транзисторів, що дозволило реалізувати 1 млн нейронів та 256 млн синапсів. Архітектура чіпа є масивом з 4096 нейросинаптичних ядер, організованих за схемою 64×64. Чіп виготовлений за 28-нм технологічним процесом компанії Samsung і займає площу 430 мм<sup>2</sup>, споживаючи у стандартному режимі близько 100 мВт. Кожне ядро в архітектурі TrueNorth має локальну пам'ять, що зберігає параметри нейрона, синаптичні ваги та відомості про маршрутизацію імпульсів. Недолік, властивий фонейманівській архітектурі, усувається за рахунок розміщення пам'яті та обчислювальних

елементів у тісному сусідстві. Кожне ядро має 256 входів (аксонів) та 256 виходів (нейронів). Аксони поєднуються з будь-якою підмножиною нейронів за допомогою програмованого матричного комутатора  $256 \times 256$ , який забезпечує зв'язок між будь-яким об'єктом внутрішньої мережі ядра з будь-яким іншим. Кожний нейрон накопичує вхідні сигнали синапсів та їх ваги у змінній високій точності (мембранному потенціалі) та генерує імпульс, коли її значення перевищує певний поріг, що налаштовується окремо для кожного нейрона [29].

Для процесора TrueNorth була розроблена нова модель програмування. На відміну від фонейманівських архітектур, в яких основна пам'ять, що адресується, використовується як для даних, так і для інструкцій, в сильно розподіленій архітектурі TrueNorth немає центральної пам'яті, що адресується, з якої можна було б отримати та декодувати інструкції для виконання в нейронах. Немає у TrueNorth і звичайних керуючих операторів, що дозволяють організувати цикли та забезпечити розгалуження. У зв'язку з цим було створено спеціальне середовище Corelet Programming Environment – інструмент розробника, до якого входять домен-специфічна мова, що дозволяє задавати функціональні мережі нейросинаптичних ядер, бібліотека мереж для типових застосувань, а також інструменти розгортання, тестування та налагодження.

На основі процесора TrueNorth було створено системи різних конфігурацій. Остання розробка – NS16e-4, найбільший на сьогодні нейросинаптичний комп'ютер, що містить 64 млн нейронів та 16 млрд синапсів. Система виконує близько 1011 синаптичних операцій на секунду для одного ват. Її загальна споживана потужність становить 70 Вт, з яких 15 Вт витрачаються всіма 64 процесорами TrueNorth. Для систем на базі процесора TrueNorth співтовариством інженерів було створено безліч додатків для вирішення завдань, пов'язаних із класифікацією, реконструкцією стереозображень, обробкою аудіо, робототехнікою, розпізнаванням об'єктів та жестів у реальному часі, синтезом мови, навчанням нейронних мереж з підкріпленням та ін [30].

Ще один відомий проект у галузі нейроморфних обчислень – Neurogrid, який реалізується у лабораторії Brains in Silicon Стенфордського університету (США). У рамках проекту розроблено аналого-цифровий чіп, що містить 65536 нейронів. Плата, на якій встановлено 16 чіпів, моделює нейронну мережу, що містить 1 млн. нейронів.

У 2014 році компанія Qualcomm, що спеціалізується на розробці процесорів для мобільних систем, представила однокристальний нейронний процесор Zeroth, здатний до самонавчання, отримуючи зворотний зв'язок від довкілля та аналізуючи її. У рамках платформи Smart Protect, що впроваджується компанією Qualcomm, процесор Zeroth планується використовувати для аналізу поведінки шкідливих програм та захисту від них мобільних пристроїв.

У рамках програми Євросоюзу зі створення нейроморфних систем BrainScaleS розроблено аналогоцифровий чіп другого покоління BrainScaleS-2, спроектований за 65-нм нормами. Порівняно з першим поколінням, в новому чіпі додано спеціальну схему, що дозволяє гнучко програмувати алгоритми навчання нейронної мережі на основі пластичності, яка залежить від часу спайка (Spike-TimingDependent Plasticity, STDP), що виконуються на вбудованому мікропроцесорі. Чіп містить аналогову нейронну мережу, що складається з 512 нейронів (побудованих на основі LIF-моделі) та 130 тис. синапсів, для оцифрування даних із синапсів, блоки цифрового управління та комунікацій, а також один або декілька мікропроцесорів загального призначення, що використовуються як блоки обробки пластичності (Plasticity Processing Unit, PPU).

Ще одне рішення для реалізації нейронних мереж пропонує компанія Synopsys. У лінійці процесорів ARC EV (Embedded Vision) пропонується гнучке та енергоефективне рішення для систем комп'ютерного зору на базі згорткових нейронних мереж (convolutional neural network, CNN). CNN – це один із варіантів односпрямованої штучної нейронної мережі для глибинного навчання, яка набула великої популярності завдяки ефективності при вирішенні завдань у таких галузях, як розпізнавання образів, віртуальна або доповнена реальність і напрямок комп'ютерного зору, що стрімко набирає обертів.

Процесори ARC EV 6-ї серії поряд зі скалярним 32-бітним ядром ARC HS також оснащені 512-бітним SIMD/VLIW DSP-процесором та спеціалізованим CNN-модулем. DSP-процесор виконує функції обробки зображень, такі як фільтрація, геометричні перетворення, перетворення кольірних просторів та ін. CNN-модулі відповідають за згортку, сегментацію та класифікацію об'єктів. Кількість CNN-модулів та кількість MAC-пристроїв у кожному CNN-модулі вибираються виходячи зі складності нейронної мережі та вимог щодо продуктивності та споживаної потужності.

Процесори ARC EV6x здатні розвивати продуктивність до 4,5 ТМАС/с та забезпечувати обробку кількох відеопотоків із роздільною здатністю 4К. ARC EV підтримують будь-які типи згорткових мереж, включаючи такі поширені мережі, як AlexNet, VGG-16, GoogLeNet, YOLO, Faster R-CNN, SqueezeNet та ResNet. Особливості реалізації спеціалізованого CNN-модуля полягають у тому, що він здатний обробляти 32-бітні CNN-графи, використовуючи 12-бітові CNN-модулі при збереженні якості розпізнавання і при цьому суттєво знижуючи енерговитрати. ARC EV, реалізований на технології FinFET 16 нм, має енергоефективність 2000 ГМАС/Вт·с.

У 2017 році компанія Intel анонсувала розробку нейроморфного дослідного процесора Loihi, що володіє можливістю навчання в режимі реального часу з використанням різних типів зворотного зв'язку. Чіп, що виготовляється за 14-нм технологією, побудований на базі спайкової нейронної мережі, містить понад 2 млрд транзисторів і включає 130 тис. нейронів і 130 млн синапсів.

Чіп є багатоядерною зі 128 нейроморфними ядрами, оснащену спеціальною програмованою підсистемою навчання на кристалі. Нейроморфні ядра, що містять безліч нейронів, пов'язані між собою і одержують спайки (імпульси) з інших частин мережі. Після того як отримані спайки накопичиться протягом певного періоду часу до встановленого порога, ядро пересилає власні імпульси в підключені нейрони. Попередні спайки підкріплюють один одного і нейронні зв'язки, у той час як наступні спайки перешкоджають з'єднанню, знижуючи можливість з'єднання доти, доки всі дії не будуть зупинені. Крім 128 нейроморфних ядер, чіп містить три керуючих x86-сумісних процесорних ядра Lakemont та комунікаційний інтерфейс, який дозволяє масштабувати систему. Реалізований на кристалі протокол мережі підтримує до 4096 ядер на кристалі та до 16384 чіпів.

Усі нейрони мережі перебувають у локальному стані зі своїм власним набором правил, що впливають на їх еволюцію та час генерації спайків. Взаємодія нейронів повністю асинхронна, носить випадковий характер і залежить від інших нейронів у мережі. Зв'язок між ядрами здійснюється з використанням пакетованих, спайкових та бар'єрних повідомлень (для синхронізації).

Кожне із 128 нейроморфних ядер Loihi містить 1024 блоки примітивів спайкових нейронів, згрупованих у деревоподібні структури. Кожна з цих груп має одні і ті ж вхідні та вихідні з'єднання, конфігурацію та змінні стани, які зберігаються у десяти блоках пам'яті.

Кожне ядро містить підсистему навчання, яку можна програмним способом адаптувати до параметрів мережі в процесі роботи, наприклад налаштувати часові параметри спайків та їх вплив, підтримуючи контрольовані, неконтрольовані, підкріплювальні та інші парадигми, що навчають.

На базі Loihi компанія Intel розробила ряд нейроморфних систем, що містять різну кількість чіпів для масштабування обчислювальних можливостей (табл. 1).

Провідні виробники та наукові організації проводять дослідження нейроморфних систем на базі Loihi у різних додатках. Наприклад, компанія Airbus планує використовувати здатність Loihi до навчання та масштабування в режимі реального часу в області цифрової безпеки для виявлення шкідливих програм. Компанія GE шукає тиме в нейроморфних платформах Intel засіб для оптимізації виробничих процесів. Фахівці компанії Hitachi розраховують за допомогою процесорів Loihi оптимізувати обробку Big Data у таких додатках, як Інтернет речей, мережі датчиків, датчики, розумна міська інфраструктура та ін.

Intel та дослідники з Корнельського університету продемонстрували здатність чіпа Loihi розпізнавати запахи десяти небезпечних хімічних речовин, включаючи ацетон, аміак та метан.

Таблиця 1

Нейроморфні системи з урахуванням чіпа Loihi

Параметри	Нейроморфна система				
	Капоно Вау	Wolf Mountain	Nahuku	Pohoiki Beach	Pohoiki Springs
Виконання	USB-адаптер	Плата	Плата розширення під керуванням ПЛІС Arria 10	Система, що містить дві плати Nahuku	Стійкова система, що містить 24 плати Nahuku
Кількість чіпів	1–2	4	8–32	64	768
Кількість синапсів, млн.	130–260	520	1040–4160	8320	99840
Кількість нейронів, тис.	131-262	524	1048-4194	8388	100663

Потенційно технологію можна використовувати для створення роботів для пошуку зброї, вибухових речовин, наркотиків. Крім того, чіп може бути корисним у медицині при діагностуванні хвороб. Його також можна використовувати для моніторингу довкілля на виробництвах.

У 2018 році австралійська компанія BrainChip представила нейроморфну систему на кристалі Akida, що реалізує спайкову нейронну мережу з позитивним зворотним зв'язком. Чіп містить блок перетворення сигналів від датчиків та інтерфейсів (USB, PCIe, Ethernet та ін.) в масив спайків, які потім у вигляді патернів розміщуються в масиві нейронів на чіпі. Кристал містить 1,2 млн нейронів і 10 млрд синапсів. У рамках сімейства Akida компанія BrainChip пропонує як повністю інтегровані, так і IP-блоки для інтеграції у вбудовані рішення, такі як спеціалізовані ШС. Нейроморфна СНК Akida включає в себе нейронну матрицю та процесор Arm для управління та засобами підтримки системи. СНК Akida також може функціонувати в якості співпроцесора головного комп'ютера, використовуючи вбудований інтерфейс PCIe чи USB3.0. Інтерфейси I3S та I2C призначені для введення даних із датчиків. Вбудований процесор може бути використаний для попередньої обробки даних датчиків в автономному режимі або для створення додаткових методів навчання. Розробка BrainChip орієнтована на широкий спектр граничних додатків, включаючи рішення для інтелектуальних камер, пристроїв розумного будинку, перспективних систем допомоги водієві (ADAS) та автономних транспортних засобів, робототехніки, промислового моніторингу, Інтернету речей та ін.

**Висновки.** Перехід на нейроморфну архітектуру на основі нової парадигми обчислень без розподілу процесів обробки та зберігання інформації обіцяє дати якісний ефект у вирішенні обчислювальних завдань та наблизити створення систем з так званим «сильним» штучним інтелектом. Згідно з доповіддю дослідницької та консалтингової компанії IndustryARC (Neuromorphic

Sensing and Computing Market Forecast 2020–2025) ринок сенсорних систем та нейроморфних обчислень досягне до 2025 року обсягу 560,4 млн дол., тобто сукупні темпи річного зростання в період з 2020 по 2025 рік становитимуть 84,2%. Це пов'язано зі зменшенням попиту на чіпсети з традиційною архітектурою, а також зростаючим інтересом до додатків на основі штучного інтелекту. Ключові гравці на ринку рішень для штучного інтелекту вкладають значні кошти у розвиток нейроморфних систем, щоб підвищити обчислювальні можливості та знизити енергоспоживання.

Основну частку ринку нейроморфних систем займає Північна Америка через наявність у цьому регіоні великих виробників нейроморфних чіпів. Зростанню ринку значною мірою сприяє все ширше використання нейроморфних систем для опрацювання складних алгоритмів. Однією з основних перешкод для зростання світового ринку нейроморфних систем є недостатня кількість та брак інвестицій, що уповільнює розробку реальних додатків. Очікується, що в найближчі роки значне зростання, яке оцінюється приблизно на рівні 98,3%, продемонструє ринок розпізнавання сигналів через затребуваність систем машинного зору та обробки аудіо / відео. Крім того, значні зміни, пов'язані з впровадженням нейроморфних систем, торкнуться таких областей, як аерокосмічні та оборонні системи, автомобільні системи автономного водіння, смартфони, робототехніка, розумні будинки, медичні та телекомунікаційні системи. Крім згаданих у статті IBM, Qualcomm, Synopsys, Intel та BrainChip, розробкою нейроморфних систем сьогодні займаються такі компанії, як Applied Brain Research, Samsung, Hewlett Packard, HRL Laboratories, General Vision, Vicarious, Numenta, і низку стартапів – Aspinity, aiCTX AG та інших. Виходячи з поточної активності гравців ринку в галузі проектування нейроморфних систем можна припустити, що 2023 стане роком масової появи наступного покоління процесорів для штучного інтелекту, заснованих на принципах нейроморфних обчислень.

#### Список літератури:

1. Chang, Chih-Cheng, Pin-Chun Chen, Teyuh Chou, I-Ting Wang, Boris Hudec, Che-Chia Chang, Chia-Ming Tsai, Tian-Sheuan Chang and Tuo-Hung Hou. "Mitigating Asymmetric Nonlinear Weight Update Effects in Hardware Neural Network Based on Analog Resistive Synapse." IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems 8 (2017): p.116-124.
2. Zhou, Peng, Dong-Uk Choi, Jason Kamran Eshraghian and Sung-Mo Steve Kang. "A Fully Memristive Spiking Neural Network with Unsupervised Learning." 2022 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (2022): p.634-638.
3. Peng, Hsuan-Tung, Mitchell A. Nahmias, Thomas Ferreira de Lima, Alexander N. Tait and Bhavin J. Shastri. "Neuromorphic Photonic Integrated Circuits." IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics 24 (2018): p.1-15.

4. Indiveri, G. and Shih-Chii Liu. "Memory and Information Processing in Neuromorphic Systems." *Proceedings of the IEEE* 103 (2015): p.1379-1397.
5. Твердохліб А.О., Коротін Д.С. Ефективність функціонування комп'ютерних систем при використанні технології блокчейн і баз даних. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022, (6)
6. M. S. A. Shawkat, M. M. Adnan, R. D. Febbo, J. J. Murray and G. S. Rose, "A Single Chip SPAD Based Vision Sensing System With Integrated Memristive Spiking Neuromorphic Processing," in *IEEE Access*, vol. 11, p. 11-23.
7. Potok, Thomas E., Catherine D. Schuman, Robert M. Patton, Todd Hylton, Hai Li and Robinson E. Pino. "Neuromorphic Computing, Architectures, Models, and Applications. A Beyond-CMOS Approach to Future Computing, June 29-July 1, 2016, Oak Ridge, TN." (2016).
8. Schuller, Ivan K.. "Neuromorphic Computing : From Materials to Systems Architecture Report of a Roundtable Convened to Consider Neuromorphic Computing." (2016).
9. Цвик О.С. Аналіз і особливості програмного забезпечення для контролю трафіку. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*, 2023, (1)
10. Reiter, Philippe, G. R. Jose, Spyridon Bizmpikis and Ionela-Ancuta Cîrjila. "Neuromorphic Processing and Sensing: Evolutionary Progression of AI to Spiking." (2020), (2)
11. Serrano-Gotarredona, Teresa, Themistoklis Prodromakis and Bernabé Linares-Barranco. "A Proposal for Hybrid Memristor-CMOS Spiking Neuromorphic Learning Systems." *IEEE Circuits and Systems Magazine* 13 (2013), pp. 74-88.
12. Новіченко Є.О. Актуальні засади створення алгоритмів обробки інформації для логістичних центрів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2023 (1)
13. Hu, Miao, Yiran Chen, J. Joshua Yang, Yu Wang and Hai Helen Li. "A Compact Memristor-Based Dynamic Synapse for Spiking Neural Networks." *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems* 36 (2017): 1353-1366.
14. Wu, Xinyu, Vishal Saxena and Kehan Zhu. "A CMOS spiking neuron for dense memristor-synapse connectivity for brain-inspired computing." *2015 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* (2015), pp. 1-6.
15. Зайцев Є.О. Smart засоби визначення аварійних станів у розподільних електричних мережах міст. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 2022, (5).
16. Querlioz, Damien, Olivier Bichler and Christian Gamrat. "Simulation of a memristor-based spiking neural network immune to device variations." *The 2011 International Joint Conference on Neural Networks* (2011), pp. 1775-1781.
17. Sboev, Alexander, Danila Vlasov, Roman Rybka, Yury Davydov, Alexey Serenko, and Vyacheslav Demin. 2021. "Modeling the Dynamics of Spiking Networks with Memristor-Based STDP to Solve Classification Tasks" *Mathematics* 9, (24).
18. Zhou, Errui, Liang Fang and Binbin Yang. (2018) "Memristive Spiking Neural Networks Trained with Unsupervised STDP." *Electronics* (2).
19. Prezioso, Mirko, Yaojun Zhong, Dmitri Gavrilo, Farnood Merrikh-Bayat, Brian Hoskins, Gina C. Adam, Konstantin K. Likharev and Dmitri B. Strukov. "Spiking neuromorphic networks with metal-oxide memristors." *2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)* (2016), pp. 177-180.
20. Eryilmaz, Sukru Burc, Siddharth Joshi, Emre O. Neftci, Weier Wan, Gert Cauwenberghs and H.-S. Philip Wong. "Neuromorphic architectures with electronic synapses." *2016 17th International Symposium on Quality Electronic Design (ISQED)* (2016), pp. 118-123.
21. Tang, Zhiri, Yanhua Chen, Shizhuo Ye, Ruihan Hu, Qijun Huang and Sheng Chang. "Fully Memristive Spiking-Neuron Learning Framework and its Applications on Pattern Recognition and Edge Detection." *Neurocomputing* 403 (2019), pp. 80-87.
22. Kim, Yongtae, Yong Zhang and Peng Li. "A Reconfigurable Digital Neuromorphic Processor with Memristive Synaptic Crossbar for Cognitive Computing." *ACM Journal on Emerging Technologies in Computing Systems (JETC)* 11 (2015), pp. 1-25.
23. Huang, Jinqi, Spyros Stathopoulos, Alexander Serb and Themis Prodromakis. "NeuroPack: An Algorithm-Level Python-Based Simulator for Memristor-Empowered Neuro-Inspired Computing." *Frontiers in Nanotechnology* (2022).
24. Sengupta, Abhronil, Maryam Parsa, Bing Han and Kaushik Roy. "Probabilistic Deep Spiking Neural Systems Enabled by Magnetic Tunnel Junction." *IEEE Transactions on Electron Devices* 63 (2016), pp. 2963-2970.
25. Wijesinghe, Parami, Aayush Ankit, Abhronil Sengupta and Kaushik Roy. "An All-Memristor Deep Spiking Neural Computing System: A Step Toward Realizing the Low-Power Stochastic Brain." *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence* 2 (2017), pp. 345-358.

26. Ma, Songchen, Jing Pei, Weihao Zhang, Guanrui Wang, Dahu Feng, Fangwen Yu, Chenhang Song, Huanyu Qu, Cheng Ma, Mingsheng Lu, Faqiang Liu, Wenhao Zhou, Yujie Wu, Yihan Lin, Hongyi Li, Taoyi Wang, Jiuru Song, Xue Liu, Guoqi Li, Rong Zhao and Luping Shi. "Neuromorphic computing chip with spatiotemporal elasticity for multi-intelligent-tasking robots." *Science Robotics* 7 (2022).
27. Kim, Taeyoon, Suman Hu, Jaewook Kim, Joon Young Kwak, Jongkil Park, Suyoun Lee, Inho Kim, Jongkil Park and Yeonjoo Jeong. "Spiking Neural Network (SNN) With Memristor Synapses Having Non-linear Weight Update." *Frontiers in Computational Neuroscience* 15 (2021).
28. Kim, Seung Ju, Sang Bum Kim and Ho Won Jang. "Competing memristors for brain-inspired computing." *iScience* 24 (2020).
29. Camuñas-Mesa, Luis A., Bernabé Linares-Barranco and Teresa Serrano-Gotarredona. "Neuromorphic Spiking Neural Networks and Their Memristor-CMOS Hardware Implementations." *Materials* 12 (2019).
30. Xu, Wei, Jingjuan Wang and Xiaobing Yan. "Advances in Memristor-Based Neural Networks." *Frontiers in Nanotechnology* (2021).

### **Lemeshko A.V., Antonenko A.V., Petryk A.V., Myronov S.O. NEUROMORPHY SYSTEMS AS A TOOL FOR IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE**

*The article is devoted to an overview of the design of neuromorphic systems capable of imitating the work of biological neurons and synapses, simulating the cognitive processes of the human brain, and is considered one of the key directions in the field of artificial intelligence. The article discloses research aimed at the development of new computing paradigms and hardware implementation of neural network models, which are moving to a new stage - the technological level reached in the world allows creating systems on a crystal containing millions of artificial neurons and synapses. It turned out that today projects in the field of neuromorphic chips are conducted by many global players - from technological giants to startups. Neuromorphic systems are an important direction in the development of artificial intelligence, as they allow to imitate the work of biological neurons and synapses and model the cognitive processes of the human brain. Research aimed at the development of new computational paradigms and hardware implementation of neural network models allows creating systems on a crystal that contain millions of artificial neurons and synapses. This opens up new opportunities for creating intelligent systems capable of performing complex tasks in real time. It was found that the principle of building neuromorphic systems is that they should imitate the work of the biological brain, using the properties of neurons and synapses. For this, it is necessary to ensure the interaction between neurons and synapses, which is achieved with the help of a network of electronic components, which allows the transmission of signals between neurons and synapses. Neuromorphic systems can be built on the basis of various materials, for example, on silicon chips, which allows to obtain a large number of neurons and synapses on one chip. One of the most important challenges for developers of neuromorphic systems is the implementation of effective methods of learning neural networks. It has been found that traditional machine learning methods such as error backpropagation may not be effective for neuromorphic systems because they require a large amount of computation. The article discusses the general principles of building neuromorphic systems and methods of implementing neural networks, presents an overview of promising projects in the field of neuromorphic computing.*

**Key words:** memristor, neural network, neuromorphic systems, Artificial Intelligence, phoneyman processors, synapses.

**Мишура К.А.**

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

**Павловський О.М.**

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

## ВІРТУАЛЬНИЙ ПРИЛАД В СЕРЕДОВИЩІ NI LABVIEW ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СИГНАЛУ ТРАЄКТОРІЇ РУХУ БЕЗПЛОТНОГО ОБ'ЄКТА

У статті розглянуто проблеми виокремлення корисної складової в спотвореному сигналі траєкторії руху безпілотного рухомого об'єкту, що функціонує в умовах складних фізичних середовищ. В більшості випадків рух такого апарату визначається або сформованою заздалегідь траєкторією з необхідністю її коригування безпосередньо під час виконання місії, або автоматичною побудовою такої траєкторії спираючись на дані систем датчиків. Сильна зашумленість даних, що необхідні для побудови траєкторії руху і відповідно, функціонування системи керування безпілотного апарату несуть велику загрозу пошкодження апарату. Таким чином, обов'язковим етапом обробки інформації є її фільтрація, проте звичайні алгоритми фільтрації не завжди ефективні. В статті було проведено дослідження з використанням методу вейвлет-розкладання для очищення складного сигналу, що моделює траєкторію руху умовного безпілотного апарату, сигнал містить як гармонічні так і випадкові завади. Для розкладання сигналу використовувалися різні хвильові функції, такі як сімейства Добеші, Сімлетів, Койфлетів та Хаар.

У процесі дослідження було оцінено ефективність обробки сигналу за допомогою вейвлет-розкладання. Для цього, було створено програмне забезпечення в середовищі NI LabVIEW. Дослідження показало, що найбільш оптимальними є використання функцій сімейства Добеші 3-го порядку, Сімлетів 2-го порядку, Койфлетів 1-го порядку та Хаар з третім рівнем розкладання для всіх сімейств хвильових функцій. Найкращий результат, що визначався за значеннями СКВ та максимального значення похибки показали вейвлети сімейства Хаар.

Оскільки, середовище NI LabVIEW має декілька функціональних блоків, що дозволяє очищувати сигнал із використанням вейвлет-функцій, а математичний апарат, що закладений в кожному функціональному блоці достеменно не відомий, то було проведено порівняння отриманих результатів із використанням блоків «Denoise VI», «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI». Дослідження були проведені для вейвлета сімейства Хаар з 3ім рівнем розкладання. Крайній результат отримали із використанням блоку «Multiresolution Analysis Express VI».

**Ключові слова:** вейвлетна фільтрація, NI LabVIEW, апроксимація, деталі, безпілотні апарати, система підтримки руху, системи керування, рухомі об'єкти, хвильова функція.

**Постановка проблеми.** Використання безпілотних апаратів полегшує вирішення великої кількості завдань у різних сферах, включаючи промисловість, медицину, науку та військову сферу. Для ефективного управління такими об'єктами необхідна система інтелектуальної підтримки руху безпілотних об'єктів та їх систем керування. Це є важливою складовою розробки новітніх технологій для забезпечення ефективного та безпечного функціонування. В більшості випадків рух такого апарату визначається або сформованою заздалегідь траєкторією з необхідністю її коригування безпосередньо під час виконання місії, або

автоматичною побудовою такої траєкторії спираючись на данні систем датчиків. Тому створення якісної системи керування безпілотного апарату який може працювати в умовах неконтрольованих збурень та завад руху, можливої різкої зміни чи втрати заданої траєкторії та зміни завдання є досить актуальним на сьогоднішній день.

Сильна зашумленість даних, що необхідні для побудови траєкторії руху і відповідно, функціонування системи керування безпілотного апарату несуть велику загрозу пошкодження або навіть втрати апарату, що безумовно призводить до невдалого завершення виконуваної місії. Таким чином, обов'язковим



етапом обробки інформації є її фільтрація, проте звичайні алгоритми фільтрації не завжди ефективні в умовах обмеженої апріорної інформації про характер змін корисної складової сигналу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

З наведених вище міркувань, а також завдяки наявності швидких та ефективних алгоритмів реалізації, обрання алгоритмів Вейвлет-фільтрації є дуже зручним та перспективним механізмом очищення та попередньої обробки даних для систем керування безпілотними апаратами, що підтверджується аналізом сучасних наукових робіт.

Так, у роботі [1] розробляється структура системи підтримки та прийняття рішень для планування маршрутів руху та керування мобільними роботами в залежності від перешкод. В цьому контексті, використання вейвлет-аналізу для фільтрації отриманих сигналів відіграє важливу роль.

У статті [2] проведено дослідження з метою вивчення можливості використання вейвлет-перетворення для фільтрації вихідних сигналів мікромеханічних гіроскопів і акселерометрів ІВМ при автономному визначенні широти місцеположення. У цій роботі було використано вейвлет сімейства Добеші 10-го рівня для фільтрації шумових складових та підвищення точності визначення широти.

У роботі [3] розглядається використання нейронних мереж для розпізнавання оптичних образів у системах спеціального призначення. В даній роботі також використовується вейвлет-аналіз для попереднього опрацювання та фільтрації вхідних образів.

В контексті досліджень, згаданих у роботах [1–3], визначення, яке сімейство вейвлетів є ефективнішим для очищення сигналу, є важливим та актуальним. Вейвлет-аналіз дозволяє розкрити структуру сигналу на різних масштабах, виявити та видалити шумові складові, покращуючи точність вимірювань та розпізнавання. Проте, аналізуючи результати в наведених роботах, можна виділити використання різного математичного апарату для формування Вейвлет-фільтрів, що в свою чергу може призвести до утворення додаткових похибок.

Використання середовища графічного програмування NI LabVIEW [4] значно спрощує роботу з вейвлет-аналізом та фільтрацією сигналів. Середовище дозволяє створити зручний графічний інтерфейс, що дозволяє використовувати створене програмне забезпечення операторам без необхідності зміни коду додатку. Також середовище NI LabVIEW легко масштабується на використання із зовнішніми системами і комплексами чутливих елементів [5].

Таким чином, дослідження, які порівнюють ефективність різних сімейств вейвлетів для очищення сигналу, є значущими, а використання NI LabVIEW спрощує процес очищення сигналу, забезпечуючи практичну реалізацію отриманих результатів, що наведені в роботах [1–3].

Постановка задачі. Метою даного дослідження є очистка сигналу умовної траєкторії руху безпілотних апаратів від шумової складової та спотворень за допомогою хвильової функції Добеші, Сімлетів, Койфлетів та Хаар, визначення найбільш ефективного сімейства вейвлетів, а також порівняння функціоналу і ефективності блоків середовища NI LabVIEW, що використовують математичний алгоритм Вейвлет-перетворень.

Інструментарій LabView для обробки сигналів

Для підтвердження ефективності виокремлення корисної складової сигналу умовної траєкторії руху безпілотного апарату, був розроблений віртуальний прилад в середовищі NI LabVIEW, лицьова панель якого показана на рис. 1. Додаток розроблений за принципом мультивкладкової структури, що легко модифікується за необхідності.

Так, вкладка «Настройки та еталонний сигнал», призначена для формування моделей сигналів для подальшого аналізу. У вікні можна обрати декілька варіантів сигналів, стандартний – форма якого задається у вигляді математичної моделі або сигнал, що заздалегідь сформований в текстовому файлі. Обрання типу джерела сигналу реалізовано слайдерним перемикачем. Також, передбачена можливість додавання завад до еталонного сигналу. За замовчуванням, завада задана у вигляді білого шуму із певною амплітудою (максимальне значення, що буде сформовано генератором випадкових чисел при формуванні складової завади). У вікні «Вид шуму» можна обрати Гаусів білий шум, періодичний шум, шум Бернуллі та ін. За необхідності, коли складові завад мають специфічний або аперіодичний характер існує можливість підвантаження сигналу завади із текстового файлу. У такому випадку масиви сигналу та завади мають бути узгоджені. Так, на рис. 1 показаний еталонний сигнал, що містить практично всі види елементарних сигналів та відповідає умовній траєкторії руху безпілотного апарату, математична модель якого задана наступним чином:

$$x(t) = \begin{cases} 4 + t \text{ nput} \in [0; 100] \\ 6 - t \text{ nput} \in (100; 200] \\ 2 \text{ nput} \in (200; 300] \\ \sin 2t \text{ nput} \in (300; 400] \\ 0.4 \sin (2\pi \cdot 10t) \text{ nput} \in (400; 500] \end{cases} \quad (1)$$

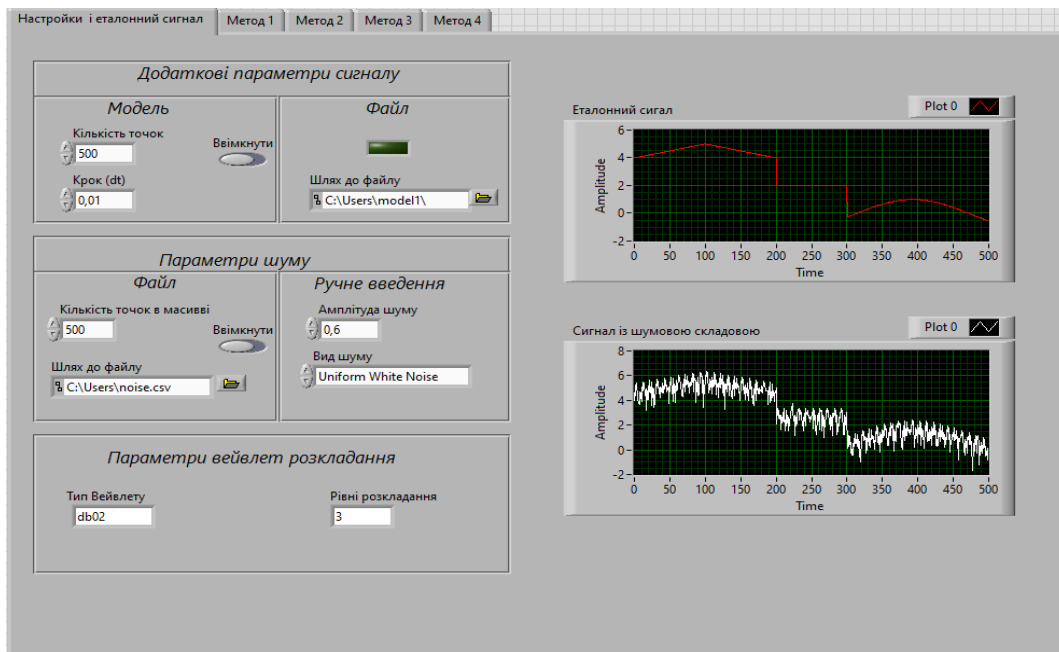


Рис. 1. Лицьова панель віртуального приладу з основними настройками моделювання

Інтервал часу 5 с, частота дискретизації 100 Гц, що відповідає кількості точок в корисному сигналі – 500. Максимальне значення сигналу 5 (в умовних одиницях), мінімальне – (-0,5).

На сигнал було накладено випадковий шум з СКВ 0,5, а також синусоїда з амплітудою 0,4 та частотою 10 Гц.

Також, на основній вкладці «Настройки та еталонний сигнал» можна задати сімейства Вейвлетів та рівень розкладання. Ці значення є початковими для розрахунків і можуть бути змінені в інших вкладках.

Вкладки, що позначені як «Метод...» використовують різні функціональні блоки вейвлет-перетворень. Основними функціональними блоками для очищення сигналу за допомогою вейвлет-перетворення є: «Denoise VI», «Multiresolution Analysis Express VI», «Detrend VI» та «Undecimated Wavelet Transform VI», які використовуються для виділення корисної складової (апроксимації), та для виведення деталей, що отримані після очищення. В якості інформативних статистичних параметрів обрані значення середньоквадратичного відхилення (СКВ) та максимального значення похибки, що реалізується за допомогою функціонального блоку «Statistics Express VI». Отже, загальний вигляд вкладки, що використовує функціональний блок «Multiresolution Analysis Express» показано на рис.2. Необхідно зазначити, що даний блок відноситься до блоків палітри «Express VI», недоліком якого є не можливість змінювати параметри

моделювання під час роботи із лицевою панеллю віртуального приладу. Тому блок був модифікований, що дозволило винести вікна типу вейвлета та рівня розкладання безпосередньо на вкладку.

Ліворуч на рис. 2 показані графіки апроксимації (знешумлений сигнал), праворуч проводиться порівняння вихідного графіку траєкторії із еталонною. При необхідності, можна вивести графік будь-якої деталі. За таким самим принципом реалізовані інші вкладки.

Порівняльний аналіз результатів моделювання Як було зазначено вище, модель еталонного сигналу задана математичною моделлю (1) та додатковим масивом завад сформованим із білого шуму та періодичної складової з амплітудою 0,4 та частотою 10 Гц. Для встановлення ефективності і працездатності запропонованого в [6] підходу у дослідженні було проведено вейвлет-розкладання сигналу, використовуючи основні сімейства вейвлетів: Добеші (db), Сімлетів (sym), Койфлетів та Хаар (Haar). Для оцінки ефективності розкладання, було застосовано блок «Statistics Express VI», що дозволив розрахувати (СКВ) та максимальне значення похибки. Для отримання вихідних даних був використаний модифікований блок «Multiresolution Analysis», результати моделювання показані на рис. 3 для вейвлетів сімейства Хаар 3 рівня розкладання, що показав найбільш ефективний результат для даного вхідного сигналу. Порівняння графіків еталонного та результуючого сигналів наведені на рис. 4 та рис. 5 відповідно.

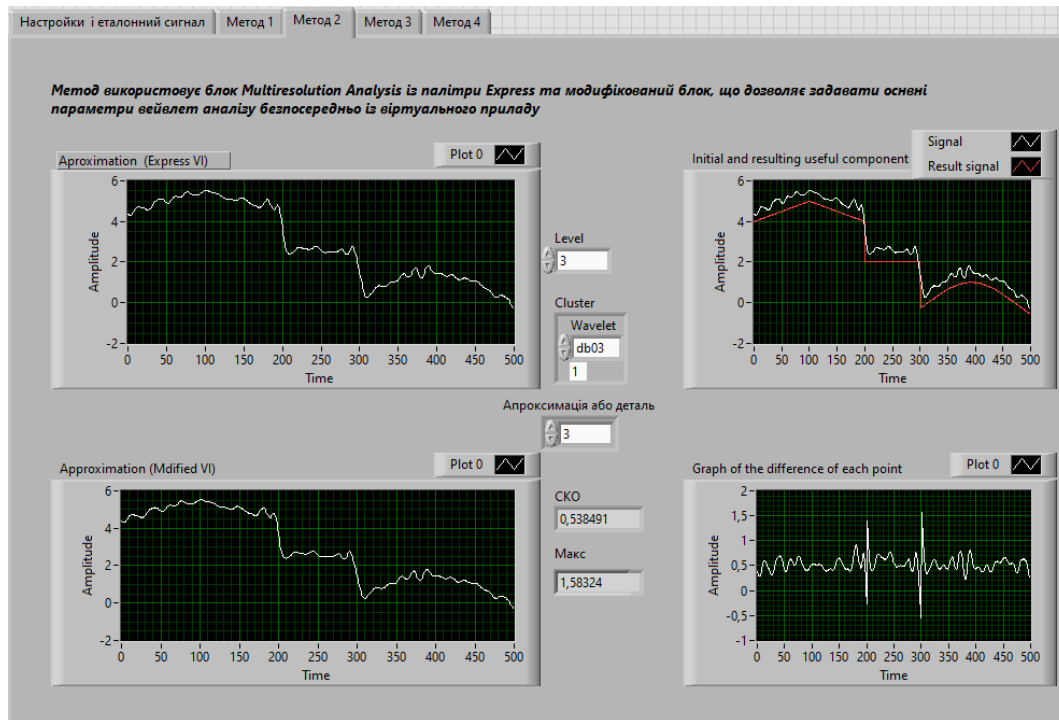


Рис. 2. Лицьова панель для виділення корисної складової

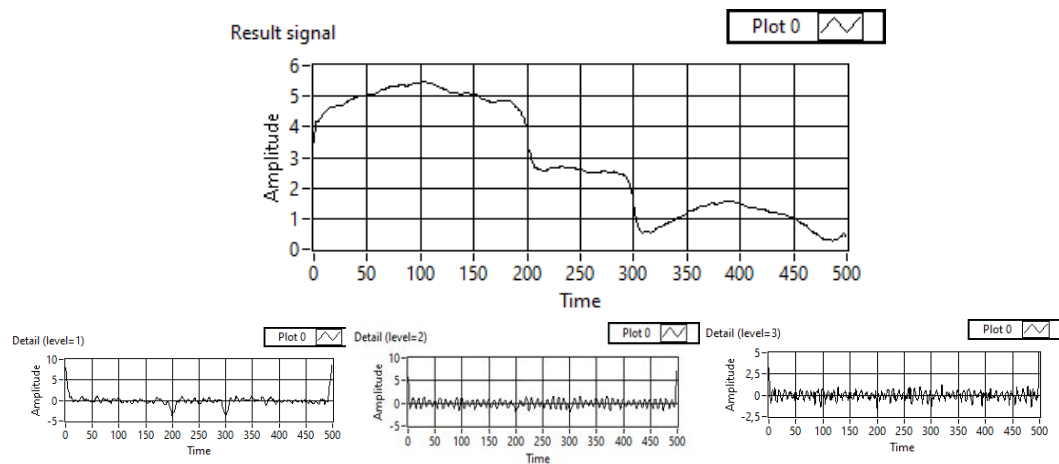


Рис. 3. Отриманий сигнал після вейвлет-розкладання з використанням хвильової функції сімейства Хаар

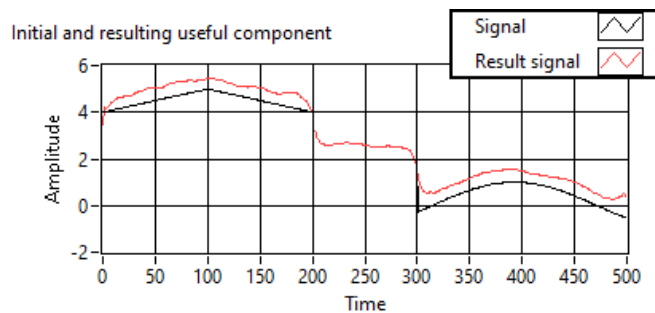


Рис. 4. Початковий та отриманий сигнал після вейвлет-розкладання з використанням хвильової функції сімейства Хаар

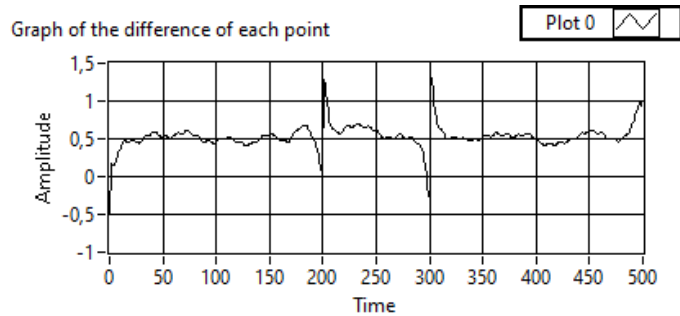


Рис. 5. Різниця кожної точки початкового сигналу та отриманого після вейвлет-розкладання

Результати дослідження представлені у таблиці 1, де було відображено отримані значення СКВ та максимальної похибки для кожного використаного сімейства вейвлетів.

Так, порівнюючи результати, що приведені в роботі [6] можна зробити висновок, що цілком вони співпадають, проте є певні незначні відмінності, так для сімейства Добеші різниця між вейвлетами третього, четвертого та п'ятого порядку лише у третьому розряді після коми, що не є суттєвим, а найменше значення СКВ показали вейвлети Хаар 3го порядку, а не 4го.

Порівняльний аналіз результатів вейвлет-розкладання з використанням різних блоків середовища NI LabVIEW

Тепер проведемо порівняння функціональних блоків, що використовують вейвлет-розкладання. Оскільки, математичний апарат, що закладений в кожному функціональному блоці достеменно не відомий, то проведемо порівняння отриманих

результатів із використанням наступних функціональних блоків «Denoise VI», «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI». Для всіх блоків використаємо сімейство Хаар із 3м рівнем розкладання, що попередньо показав кращий результат.

Якщо блоки «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI» мають стандартний набір вхідних параметрів для аналізу вхідного сигналу, таких як тип вейвлета та рівень розкладання, то блок «Detrend VI» використовує метод поліноміальної підгонки для оцінки та видалення тренду з вхідного сигналу. Даний блок дозволяє вибрати ступінь полінома, який використовується для відповідності тренду. Для обчислення кількості рівнів розкладання, даний блок використовує формулу:

$$j = \log_2\left(\frac{f_{дискр}}{2 \times f_n}\right) \quad (2),$$

де – рівень розкладання, – частота дискретизації, – порогова частота.

Отже, результати порівняння роботи функціональних блоків занесені в таблицю 2.

Проаналізувавши отримані дані маємо, що кращий результат отримали із використанням блоку «Multiresolution Analysis Express VI», блоки «Denoise VI» та «Undecimated Wavelet Transform» дали однакові результати, що явно вказує на використання одного і того ж математичного апарату. Блок «Detrend VI» показав найбільше значення СКВ похибки, проте має мінімальне значення максимуму.

**Висновки.** Розробка систем інтелектуальної підтримки руху багатоцільових рухомих об'єктів є важливою складовою в розвитку безпілотної робототехніки, такі системи дозволяють забезпечити точність та стійкість руху об'єктів, що працюють в умовах дії неконтрольованих збурень та завад руху.

Такі системи зазвичай включають в себе різні типи сенсорів, алгоритми навігації та керування, системи зв'язку та обробки даних, що дозволяє забезпечити максимальну точність та ефективність руху безпілотної об'єктів.

Таблиця 1

**Порівняльний аналіз вейвлет-розкладання з використанням різних сімейств вейвлетів**

Сімейство вейвлетів	Рівень розкладання	СКВ	Максимальне значення похибки
db 3	3	0,533082	1,5963
sym 2	3	0,562955	1,8173
coif 1	3	0,55974	1,5352
Haar	3	0,521389	1,4786

Таблиця 2

**Порівняльний аналіз роботи блоків для вейвлет-розкладання**

Назва блоку	СКВ	Максимальне значення похибки
«Denoise VI»	0,54012	1,47322
«Multiresolution Analysis Express VI»	0,521389	1,4786
«Detrend VI»	0,55571	1,36911
«Undecimated Wavelet Transform»	0,54012	1,47322

Сильна зашумленість даних, що необхідні для побудови траєкторії руху, і відповідно, функціонування системи керування безпілотного апарату несуть велику загрозу пошкодження або навіть втрати апарату, що безумовно призводить до невдалого завершення виконуваної місії. Таким чином, обов'язковим етапом обробки інформації є її фільтрація, проте звичайні алгоритми фільтрації не завжди ефективні. Тому, провівши огляд робіт за даною тематикою було вирішено використовувати апарат видалення шумових складових з використанням вейвлет-функцій. Для цього, було створено програмне забезпечення в середовищі NI LabVIEW. Дослідження показало, що найбільш оптимальними є використання функцій сімейства Добеші 3-го порядку, Сімлетів 2-го порядку, Койфлетів 1-го порядку та Хаар з рівнем розкладання 3 для всіх сімейств хвильових

функцій. Найкращий результат, що визначався за значеннями СКВ та максимального значення похибки показали вейвлети сімейства Хаар, що корелює із дослідженням приведеним у [6], але виконаним за допомогою математичного апарату середовища NI LabVIEW.

Оскільки, середовище NI LabVIEW має декілька функціональних блоків, що дозволяє очищувати сигнал із використанням вейвлет-функцій, а математичний апарат, що закладений в кожному функціональному блоці достеменно не відомий, то було проведено порівняння отриманих результатів із використанням блоків «Denoise VI», «Undecimated Wavelet Transform VI», «Multiresolution Analysis VI» та «Detrend VI». Дослідження були проведені для вейвлета сімейства Хаар з 3ім рівнем розкладання. Кращий результат отримали із використанням блоку «Multiresolution Analysis Express VI».

#### Список літератури:

1. Система підтримки прийняття рішень при плануванні та дистанційному керуванні рухом мобільних об'єктів / Ю. Гунченко та ін. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2017. Т. 7, № 1-2. С. 127–134.
2. Використання вейвлет перетворення при автономному визначенні широти місцеположення / В. Аврутов та ін. *Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*. 2022. № 63(1). С. 5–10.
3. Шворов С., Штепа В., Заєць Н. Нейромережеве розпізнавання оптичних образів у системах спеціального призначення. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2014. № 45. С. 102–108.
4. Середовище LabVIEW/ Офіційний сайт National Instruments URL: <https://www.ni.com/en-us/shop/software/products/labview.html>
5. Ahmad Zabidin, Y. A., Pairan, M. F., & Shamsudin, S. S. Dynamic Modelling and Control for Quadcopter UAV with LabVIEW and X-Plane Flight Simulator. *Journal of Complex Flow*, 2020. 2(2), 19-26
6. Бурау Н., Мішура К. Виокремлення складного тренду сигналів у системах інтелектуальної підтримки руху об'єктів. *Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування*. 2022. № 64(2). С. 5–11.

#### Mishura K.A., Pavlovskiy O.M. WAVELET TRANSFORMATION FOR SIGNAL DENOISING IN NI LabVIEW ENVIRONMENT

*The article discusses the problems of extracting the useful component from a distorted signal of the trajectory of an unmanned moving object operating in complex physical environments. In most cases, the movement of such a device is determined either by a pre-determined trajectory with the need for real-time adjustment during mission execution or by automatic construction of such a trajectory based on sensor system data. The strong noise in the data necessary for trajectory construction and, consequently, the functioning of the unmanned vehicle control system pose a significant risk of damaging the device. Therefore, information filtering is a mandatory step in data processing, although conventional filtering algorithms are not always effective. The article conducted research using the wavelet decomposition method for cleaning a complex signal that models the trajectory of a hypothetical unmanned vehicle, where the signal contains both harmonic and random interferences. Various wavelet functions such as the Daubechies, Symlets, Coiflets, and Haar families were used for signal decomposition.*

*During the research, the effectiveness of signal processing using wavelet decomposition was evaluated. For this purpose, software was developed in the NI LabVIEW environment. The research showed that the most optimal functions were those from the Daubechies family with a 3rd order, Symlets with a 2nd order, Coiflets with a 1st order, and Haar with a third-level decomposition for all families of wavelet functions. The best results, as determined by the values of the Signal-to-Noise Ratio (SNR) and the maximum error value, were achieved using Haar wavelets.*

*Since the NI LabVIEW environment has several functional blocks that allow signal denoising using wavelet functions, and the mathematical framework embedded in each functional block is not explicitly known, a comparison was made between the obtained results using the “Denoise VI”, “Undecimated Wavelet Transform VI”, “Multiresolution Analysis VI”, and “Detrend VI” blocks. The study was conducted for the Haar wavelet with a third-level decomposition. The best result was obtained using the “Multiresolution Analysis Express VI” block.*

**Key words:** wavelet filtering, NI LabVIEW, approximation, details, unmanned vehicles, motion support system, control systems, moving objects, wavelet function.

**Мойсеєнко О.В.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Гарасимів Т.Г.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ТЕСТ-ПЛАНІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

У роботі проаналізовано основні підходи, методи та алгоритми для автоматизованого створення тест-планів. Визначені основні переваги та недоліки. Сформовані основні вимоги до алгоритму автоматизованої генерації тестових випадків складних комп'ютерних систем на основі діаграм діяльності. Діаграма діяльності (AD) уніфікованої мови моделювання (UML) використовується для абстрактного представлення поведінки системи та використовується тестувальниками для створення тестових випадків і тестових даних. Під час проектування тестових випадків систем з одночасними (паралельними) діями діаграма активності може призвести до великої кількості шляхів, і не завжди можливо перевірити всі шляхи виконання. Зазвичай дослідження щодо отримання тестових випадків для систем із паралельними діями за допомогою AD зосереджено на звичайних методах пошуку, таких як пошук у ширину та пошук у глибину, виявляються неефективними. Щоб подолати цей недолік, в роботі пропонується метод із використанням парного тестування та генетичного алгоритму для отримання зменшеної кількості тестових випадків для комп'ютерних систем з одночасними діями. Запропоновано математичну модель, та отримано, як результат, алгоритм, за допомогою якого діаграма діяльності перетворюється у програму для автоматизованого генерування тестових випадків. Запропонований підхід та його реалізація може бути використаний для перевірки узгодженості між трасами виконання програми і поведінкою діаграм активності UML.

Ефективність модифікації алгоритму визначалась статистичними методами шляхом порівняння кількості тестів, досягнутих іншими методами, такими як пошук в ширину (BFS), пошук в глибину (DFS), повний, простий, випадковий шляхи. Модифікований підхід дає статистично обґрунтовані кращі результати з одночасним перехідним покриттям і попарним скороченням набору тестів. Експериментальні результати, отримані для  $n$ 'яти різних AD, показують, що завдяки запропонованому підходу досягається 100% покриття одночасних переходів і більше ніж на 50% скорочення попарного набору тестів.

**Ключові слова:** тестувальні випадки, діаграма діяльності, генетичний алгоритм, алгоритм попарного тестування.

**Постановка проблеми.** Підвищення надійності програмного продукту є надзвичайно важливою та актуальною науковою задачею. Основним засобом вирішення даної проблеми є тестування програмного забезпечення (ПЗ), що вимагає значних затрат ресурсів, адже у більшості випадків проводиться вручну та повинне охоплювати усі сценарії використання і потоки управління та даних програмного продукту. Однак, зазвичай, це ручне тестування, що є трудомістким процесом без ефективною автоматизації, потребує багато часу та фінансових ресурсів, і не здатне забезпечити виявлення усіх відмов ПЗ. Отже, важливим завданням у сфері комп'ютерної інженерії є автоматизація процесу тестування, а саме побудова ефективних сценаріїв тестування, що дозволить

скоротити часові та економічні затрати. Також важливо розробляти нові методи автоматизованої побудови сценаріїв тестування, що значно підвищить ефективність процесу тестування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Однією з найновіших технологій для автоматизованої побудови сценаріїв тестування програмного забезпечення є тестування на основі моделі програмного продукту [1–3] – тестування програмного забезпечення (ПЗ), в якому тестові сценарії частково або повністю будуються з моделі, яка описує деякі аспекти (частіше функціональні) тестованої системи. Моделі програмної системи можуть відображати її поведінку або використовуватися для створення тестових стратегій чи середовища тестування.

Існує ряд моделей програмного забезпечення, що використовуються засобами автоматизованої побудови тестових сценаріїв. У загальному вони поділяються на чотири великі групи, які у свою чергу під час моделювання відповідно використовують: скінченні автомати, граф станів, UML діаграми та Марковські ланцюги. Окрім того існують моделі на основі дерева прийняття рішень, таблиць рішень та граматик, але вони є новими і не достатньо дослідженими [4].

Граф станів, так званий «потік тестування» використовується для моделювання програмних систем, побудови тестових сценаріїв та відображає реальне використання таких систем і, таким чином, є більш точним, ніж використання скінченних автоматів [5, 6]. Перевагами моделей даного класу є можливість їхнього застосування для багатопотокових програм, але все-таки такі моделі важко спроектувати та реалізувати для складних програмних систем.

Широкого застосування набуло тестування програмної системи на основі UML діаграм [7–10].

Зазвичай автоматизоване генерування тестових сценаріїв відбувається на основі діаграми станів [8], прецедентів [9], послідовності [10]. Основними перевагами таких підходів є можливість їх використання для складних систем, а також можливість моделювання паралельного програмного забезпечення.

Моделі на основі скінченних автоматів є відомими динамічними моделями для автоматизованої побудови тестів [11, 12]. Основними недоліками використання даних моделей є те, що їх легко спроектувати й підтримувати лише для систем із малим рівнем складності, неможливість використання даного класу моделей для паралельних ПЗ та систем з нескінченною кількістю станів.

Ще однією великою групою моделей для автоматизованої побудови тестових сценаріїв є моделі на основі дискретного Марковського ланцюга [13, 14]. За структурою Марковські ланцюги подібні до скінченних автоматів, але очевидною перевагою використання такого підходу є не лише генерація тестів, але й аналіз відмов для оцінки та прогнозування надійності програмного продукту. Сценарії тестування отримуються через послідовні переходи між компонентами у відповідності до ймовірностей передачі контролю. Генерування тестових сценаріїв може бути автоматизоване за допомогою хорошого генератора випадкових чисел на будь-якій мові програмування високого рівня.

**Метою статті** є удосконалення алгоритму генерації тестових випадків для зменшення тест-

плану в процесі автоматизованого тестування складних комп'ютерних систем.

**Виклад основного матеріалу.** У випадку послідовного потоку керування тестові випадки генеруються шляхом трасування базових шляхів. Однак у випадку паралельних потоків відбувається розгалуження шляху через незалежний порядок виконання потоків. Існуючі методи в літературі [16, 20, 9] зменшують кількість одночасних тестів, використовуючи пошук спочатку в ширину (BFS), потім в глибину (DFS) і методи покриття шляху. Але ці методи не враховують випадкову взаємодію паралельних переходів.

Щоб досягти «перехідного» покриття за допомогою мінімального набору інтерактивних тестів, використаємо попарне тестування та генетичний алгоритм (GA). Попарне тестування [10–13] зменшує кількість тестів за допомогою статистичних методів. У запропонованому підході взаємодія одночасних дій розглядається для створення тестових випадків. На основі одночасних дій створюється набір парних тестів. GA використовується для подальшого зменшення кількості тестів у наборі парних тестів. GA є стохастичним пошуком і технікою оптимізації, яка використовується для проблем, пов'язаних із великим простором пошуку та складністю [19, 29].

В якості вхідних даних використаємо діаграму активності (AD), а вихідними даними буде згенеровано тестові випадки паралелізму. Одночасна система представлена такими компонентами AD, як вузли розгалуження, вузли приєднання та одночасні дії. Завдання полягає в тому, щоб створити тестові випадки, щоб перевірити природу паралелізму SUT. Метою запропонованого методу є знайти найкращий набір тестів із попарного набору тестів і досягти покриття всіх одночасних переходів. Тестові випадки будуть успішними, якщо набір тестів охоплює випадковість дій, які відбуваються, взаємодію одночасних переходів і всі одночасні дії та їхні переходи.

Пропонований підхід передбачає наступні кроки:

Генерація базового шляху: граф потоку керування (CFG) генерується з AD, а потім базові шляхи створюються за допомогою алгоритму DFS.

Попарна генерація тестів: переходи з різних гілок комбінуються для створення попарних тестів.

Оптимізація GA: попарний тестовий набір додатково скорочується за допомогою GA. Метою оптимізації є досягнення перехідного покриття.

Оптимізована генерація тестів: базові шляхи поєднуються зі скороченими тестами GA для створення оптимізованих наборів тестів.

AD аналізується за допомогою простого аналізатора API для XML (SAX), а потім ідентифікуються всі вузли та всі ребра. Відношення пріоритету між вузлами визначається шляхом сортування вузлів від початкового вузла до кінцевого вузла за допомогою алгоритму BFS.

Даний алгоритм додає суміжні вузли в чергу, а потім вилучає з черги кожен вузол, позначає як відвіданий і неодноразово перевіряє інші суміжні вузли. Черга очікування потрібна для збереження зв'язку пріоритету, коли різні шляхи зустрічаються в спільному вузлі, наприклад, вузол приєднання. Після сортування всіх вузлів, що стосуються зв'язку пріоритету, генерується CFG.

Базові шляхи отримують шляхом обходу CFG від початкового вузла до кінця за допомогою алгоритму DFS. Цей алгоритм є рекурсивним, він позначає всі пройдені вузли як відвідані. Коли зустрічається ребро з відвіданим вузлом, починається нова рекурсія, щоб отримати новий базовий шлях. Алгоритм завершується, коли пройдено всі ребра. Базові шляхи гарантують, що всі цикли проходять лише один раз, і всі вузли та переходи охоплені.

За допомогою генетичного алгоритму визначаються тестові випадки покриття переходів. Цей алгоритм зчитує «гени» з таблиці попарного введення. Він генерує випадкову популяцію, а потім обчислює придатність кожного, що допомагає визначити найкращих осіб. З найкращими особинами він виконує операції кросингверу та мутації, щоб покращити фізичну форму під час наступного покоління. Цей алгоритм припиняє роботу, коли досягнуто максимальної кількості поколінь або знайдено найкращу особину.

Початкова популяція складається з 30 випадково згенерованих особин. Для наступного покоління розглядається близько 15 репродукцій. Після кожного покоління особини сортуються на основі значення придатності, розрахованого для кожного. «0-й» індивід завжди має найвищу придатність, а «1-й» індивід має наступне найвище значення і так далі. Для отримання кращої особини проводимо кросингвер і мутацію.

Функція пристосованості (fitness function) обчислюється наступним чином.

$Fitness = fitness + 1$  (якщо кожна пара відрізняється від наступної наступної пари).

$Fitness = fitness + 1$  (якщо пара тестових випадків знайдено в таблиці всіх пар тестових прикладів).

$Fitness = fitness$ -кількість повторюваних пар (якщо та сама пара повторюється, накладаємо штраф).

$Fitness = fitness/2$  (якщо в ідентифікованих генах відсутній один перехід, накладається штраф).

Використовуємо кілька випадкових кросоверів (рекомбінацій). Точки перетину обчислюються на основі максимальної кількості переходів у будь-якій паралельній гілці.

Мутація. Якщо той самий ген повторюється в іншому тестовому прикладі, тоді тестовий випадок із дубльованим геном замінюється на тестовий випадок відсутнього гена, взятий із таблиці тестових випадків «Усі пари». Значення мутації вибрано нами як 0,01.

Для тестування алгоритму було використано готову розробку віртуальний інженер тестування (VTE) для аналізу AD і генерації тестів. Цей інструмент заснований на мові Java. Синтаксичний аналізатор SAX використовується для аналізу XML-представлення AD, а потім генерується CFG. Для відображення графіка використовується інструмент GraphViz [18]. Усі вузли впорядковуються на основі їхнього пріоритету за допомогою алгоритму сортування на основі BFS. Інструмент «Усі пари» [15] використовується для створення комбінацій тестових наборів з одночасних вузлів і гілок.

Інструмент P WiseGen [25] модифіковано та використовується для зменшення кількості комбінацій набору тестів за допомогою техніки GA.

Набір метрик, створених VTE, далі аналізується та використовується для емпіричного дослідження.

Запропонований підхід було емпірично оцінено для визначення ефективності тесту щодо розміру набору тестів, покриття та продуктивності. У літературі доступні різні методи покриття, такі як покриття BFS [5, 9], покриття DFS [19], повне покриття шляху [3, 20, 21], просте покриття шляху [8, 17], базове покриття шляху [6], випадкове покриття [22] та одночасний пошук у черзі [23], які порівнюються з результатами нашого алгоритму. Ефективність алгоритму визначалась відносно часу, необхідного для пошуку розв'язку в секундах.

У запропонованому підході набір тестів було згенеровано за допомогою методу базового шляху. Паралельні набори тестів генеруються за допомогою інструменту. Ці попарні набори тестів зменшуються за допомогою техніки GA з одночасним покриттям переходів. Щоб отримати



скорочені тестові набори встановлюємо конфігурацію в інструменті PWISEGen згідно таблиці 1.

Було досліджено методи на основі оцінки BFS для створення оптимізованого набору тестів із оцінкою вузлів. Однак ці методи не враховують одночасну оцінку переходів і випадкове впорядкування. Ці набори тестів не фіксують дефекти, пов'язані з помилкою інтерфейсу серед дій у паралельній гілці. Ця характеристика методу BFS на основі оцінок представлена в таблиці 2.

Таблиця 1

**Конфігурація GA**

Параметри GA	Налаштування
кількість поколінь	200
чисельність популяції	30
кількість репродукцій	15
значення мутації	0,1
кросоверний тип	множинний випадковий

Отже, методи на основі покриття DFS створюють оптимізований набір тестів із покриттям вузлів і переходів. Однак ці методи не враховують взаємодію одночасних дій і випадкове впорядкування. Ці набори тестів не фіксують дефекти, пов'язані з паралелізмами, такі як обробка ресурсів, обробка семафора та блокування/розблокування. Метод повного покриття шляху не генерує оптимізований набір тестів і не обробляє паралелізм. Прості методи на основі покриття шляхів генерують оптимізований набір тестів. Однак критерії тестового покриття, такі як охоплення активності та охоплення переходу, не гарантуються. Паралелізм також не обробляється. Метод на основі випадкового покриття є дорогим рішенням. Він базується на підході проб і помилок. Для досягнення більшого охоплення генерується більше випадкових сценаріїв. CQS корисний для оптимізації, обробка випадкового порядку та покриття вузлів. Покриття одночасного переходу не враховується.

Для проведення експериментів було обрано 14 рекламних оголошень, пов'язаних із транзакціями в банкоматах, онлайн-транзакціями, банківськими транзакціями тощо. Усі вони здійснювали одночасну діяльність. Для них побудовані відповідні діаграми, які й були використані в якості вхідних даних.

Для визначення ефективності модифікації алгоритму було обчислено всі можливі шляхи, позначені метрикою «Кількість можливих одночасних шляхів» для кожного AD. Інструмент VTE використовується для аналізу кожної реклами та створення тестових випадків базового шляху. З одночасних гілок і вузлів тестові набори «Усі пари» генеруються за допомогою інструмента «Усі пари». Зменшені тестові набори генеруються з попарних тестових наборів за допомогою нашого інструменту PWISEGen. Нарешті, тестові випадки базового шляху та скорочені тестові набори об'єднуються, щоб сформувані оптимізовані тестові набори. Базовий шлях, попарні, скорочені та оптимізовані тестові випадки позначаються параметрами, відомими як кількість тестових випадків базового шляху, кількість парних шляхів, кількість скорочених шляхів за GA та оптимізовані тестові випадки.

Можна побачити, що якщо кількість одночасних гілок і одночасних вузлів для кожної гілки зростає, то відповідні можливі одночасні шляхи також збільшуються. Якщо кількість одночасних вузлів у гілці становить 1 або 2, тоді можливих одночасних шляхів дуже мало. Якщо кількість одночасних вузлів у гілці більше 2, а кількість гілок більше 2, тоді можливих одночасних шляхів дуже багато. Зауважимо, що більшість AD, взятих з літератури, мають 1 або 2 одночасних вузла в гілці.

Значення вибуху траєкторії та оптимізовані тестові випадки та їхні відповідні середні значення наведені в табл. 3. Значення тестів на вибух нестабільні, тоді як значення оптимізованих тестів майже стабільні. Середні значення показують, що кількість тестів суттєво зменшилася.

Таблиця 2

**Порівняння різних методів**

Методи	Одночасна (випадкова) обробка	Попарні набори тестів	Одночасне покриття переходів	Одночасне покриття вузлів	Оптимізовані набори тестів
покриття BFS	X	X	X	√	√
покриття DFS	X	X	√	√	√
повне покриття шляху	X	X	√	√	X
просте покриття шляху	X	X	√	X	√
випадкове покриття	X	X	X	X	X
одночасний пошук у черзі	√	X	X	√	√
запропонований підхід	√	√	√	√	√

Таблиця 3

## Порівняння кількості тестових випадків для різних алгоритмів

Приклад	Тестові випадки базових шляхів	Кількість тестових випадків оптимізованим алгоритмом
Мотиваційний приклад 1	34650	5
AD реєстрація пацієнта	6435	8
AD онлайн замовлення	2002	10
Мотиваційний приклад 2	15	11
AD банківська транзакція	20	2
Мотиваційний приклад 3	10	2
AD онлайн замовлення	4	3
AD покупки онлайн	3	3
AD ATM	10	3
AD ATM2	3	3
AD Facebook login	8	4
AD Online stock Exchange system	108	22
Середнє значення	3605,67	6,33

Кількість тестових випадків, обчислених для всіх пар і кількість оптимізованих тестів ми проаналізували за допомогою R Studio. У підсумку, можна зробити статистично обґрунтований висновок, що кількість тестових випадків згенерованих різними алгоритмами (один з яких нами модифікований алгоритм) мають різні середні значення, наприклад 3606 і 6 відповідно. З ймовірністю >95% можна стверджувати, що середнє зменшення кількості тестових випадків є більше, ніж 600 разів.

Різні предметні програми можуть призвести до різних експериментальних результатів. Очікується, що запропонований підхід працюватиме з усіма видами одночасних структур. Експерименти проводились максимум із чотирма одночасними блоками. Час, потрібний GA для знаходження рішення, лінійно змінюється залежно від кількості блоків. Для вищого порядку кількості блоків поведінку GA потрібно вивчити. GA може зайняти більше часу, якщо кількість одночасних блоків перевищує десять. Можна зробити припущення, що розумна мутація, яка періодично змінює гени, вирішить цю проблему. Розумна мутація уникає локальних оптимумів і спрямовує GA до пошуку глобальних оптимумів. Тестові випадки потребують випадкового запуску одночасних дій. Механізм спрацьовування для реалізації цього тестового випадку може відрізнятися залежно від програми, що тестується. Ця проблема є з низьким ризиком, оскільки механізм запуску залежить від тригера введення, необхідного для запуску одночасної дії. Отже, визначення правильного тригера введення вирішить цю проблему.

**Висновки.** Розроблено математичну модель, та отримано як результат алгоритм, за допомогою якої діаграма діяльності перетворюється у програму для автоматизованого генерування тестових випадків. Запропонований підхід та його реалізація може бути використана для перевірки узгодженості між трасами виконання програми і поведінкою діаграм активності UML.

Удосконалено алгоритм генерації тестових випадків, шляхом використання попарного тестування та генетичного алгоритму, що дало можливість зменшити кількість тестових випадків, тоді як одночасні дії в складній системі призводять до вибуху шляху при використанні інших алгоритмів автоматизованого тестування. Запропонований підхід аналізує AD і генерує тестові випадки базового шляху. Попарні тестові набори генеруються з одночасних переходів різних паралельних гілок. Ці попарні набори тестів ще більше скорочуються з перехідним покриттям GA. Ці скорочені набори тестів поєднуються з тестовими випадками базового шляху з метою отримання оптимізованих тестових випадків. Ефективність модифікації алгоритму визначалась статистичними методами шляхом порівняння кількості тестів, досягнутих іншими методами, такими як BFS, DFS, повний шлях, простий шлях, випадковий і CQS. Модифікований підхід дає статистично обґрунтовані кращі результати з одночасним перехідним покриттям і попарним скороченням набору тестів. Експериментальні результати, отримані для п'яти різних AD, показують, що завдяки запропонованому підходу досягається 100% покриття одночасних переходів і більше ніж на 50% скорочення попарного набору тестів.

Результати експериментів показують, що час, необхідний для отримання розв'язку, прямо пропорційний кількості одночасних блоків в AD. Він включає час, витрачений на GA, і час попарного обчислення. Даний підхід займає 3–4 с у випадку одного одночасного блоку на AD. Він збільшується до 14 с, коли в AD присутні чотири одночасних блоки.

Досліджено п'ять AD з високим значенням паралельних шляхів і отримано попарне скорочення тестових випадків до 86%. Що стосується всіх можливих паралельних шляхів, спостерігалось скорочення оптимізованих тестових наборів на 99,99%.

Запропонований алгоритм досліджено в якості методу створення виконуваних тестових випадків з AD для функціональної перевірки системи. Даний метод дозволяє генерувати тестові сценарії з AD, які можуть безпосередньо виконуватися на цільовому пристрої.

Список літератури:

1. Broy M. Model Based Testing of Reactive Systems. / M. Broy, B. Jonsson, J.-P. Katoen, M. Leucker, A. Pretschner. LNCS 3472, Springer. 2005. 659 p.
2. Blackburn M. Why Model-Based Test Automation is Different and What You Should Know to Get Started./ M. Blackburn, R. Busser, A. Nauman. *In International Conference on Practical Software Quality*. 2004. P. 87-90.
3. Legeard B. Controlling Test Case Explosion in Test Generation from B Formal Models. / B. Legeard, F. Peureux, M. Utting. *The Journal of Software Testing, Verification and Reliability*. 2004. no. 14(2). Pp. 81–103.
4. Ebrahim Shamsoddin-Motlagh. A Review of Automatic Test Cases Generation. *International Journal of Computer Applications*. 2012. no. 57(13). Pp. 25-29.
5. Belli F. A Holistic Approach to Testing of Interactive Systems using Statecharts. / F. Belli, C.J. Budnik, A. Hollman. *Proceedings of 2nd South-East European Workshop on Formal Methods (SEEFM 05)*, South-Eastern European Research Center SEERC. 2005. Pp. 1–15.
6. Hyoung Seok Hong. Automatic Test Generation from Statecharts Using Model Checking / Insup Lee, Oleg Sokolsky, Sung Deok Cha. *In Proceedings of FATES'01, Workshop on Formal Approaches to Testing of Software*. – 2001.
7. Hu Y.T. Automatic Black-Box Method-Level Test Case Generation Based on Constraint Logic Programming. / Y.T. Hu, N.W. Lin // *Computer Symposium (ICS)*. 2010. Pp. 977-982.
8. Samuel P. (2008). Automatic test case generation using unified modeling language (UML) state diagrams. / P. Samuel, R. Mall, A. Bothra. *The Institution of Engineering and Technology, IET Softw*. 2008. no. 2. Pp. 79–93.
9. Sarma M. Automatic Test Case Generation from UML Models. / M. Sarma, R. Mall. *10th International Conference on Information Technology*. 2007. Pp. 196-201.
10. Sarma M. Automatic Test Case Generation from UML Sequence Diagrams. / M. Sarma, D. Kundu, R. Mall. *15th International Conference on Advanced Computing and Communications*. 2007. Pp.60-65.
11. Santiago V. An Environment for Automated Test Case Generation from Statechart-based and Finite State Machine-based Behavioral Models. / V. Santiago, N. Vijaykumar, D. Guimaraes. *IEEE International Conference on Software Testing Verification and Validation Workshop (ICSTW'08)*. 2008. Pp.63-72.
12. Susumu Fujiwara. Test Selection Based on Finite State Models. / Susumu Fujiwara, Gregor Bochmann, Ferhat Khendek, Mokhtar Amalou, Abderrazak Ghedamsi. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1991. no. 6(17). Pp. 591–603.
13. Whittaker J. A Markov Chain Model for Statistical Software Testing. / J. A. Whittaker, M. G. Thomason. *Software Engineering, IEEE Transactions*. 1994. Pp. 812-824.
14. Winfried Dulz. Matelo - Statistical Usage Testing by Annotated Sequence Diagrams, Markov Chains and TTCN-3 / Winfried Dulz, Fenhua Zhen. *Third International Conference On Quality Software*. – 2003.
15. Felderer M. 'Manual test case derivation from UML activity diagrams and state machines: a controlled experiment'/ Felderer, M., Herrmann, A., *Inf. Softw. Technol.*, 2015, 61, pp. 1–15.
16. Anbunathan R. Automatic test generation from UML sequence diagrams for android mobiles/ Anbunathan R., Basu A, *Int. J. Appl. Eng. Res.*, 2016, 11, (7), pp. 4961–4979.
17. Shirole, M. Generation of improved test cases from UML state diagram using genetic algorithm/ Shirole, M., Suthar, A., Kumar, R. *Proc. Fourth India Software Engineering Conf., Thiruvananthapuram, India, 2011*, pp. 125–134
18. Kundu, D. A novel approach to generate test cases from UML activity diagrams/ Kundu, D., Samanta, D. J. *Object Technol.*, 2009, 8, (3), pp. 65–83
19. Linzhang, W. Generating test cases from UML activity diagram based on gray-box method/ Linzhang, W., Jiesong, Y., Xiaofeng, Y. *IEEE Proc. 11th Asia-Pacific Software Engineering Conf. (APSEC)*, Busan, Korea, 2004, pp. 1–8
20. Mingsong, C. Automatic test case generation for UML activity diagrams/ Mingsong, C., Xiaokang, Q., Xuandong, L. 2006 *Int. Workshop on Automation of Software Test*, Shanghai, China, 2006, pp. 2–8
21. Shirole, M., Kommuri, M., Kumar, R.: 'Transition sequence exploration of UML activity diagram using evolutionary algorithm'. *Proc. ISEC '12, Kanpur, India, 2012*, pp. 22–25
22. Flores, P., Cheon, Y.: 'P WiseGen: generating test cases for pairwise testing using genetic algorithms', *Departmental Technical Reports (CS) Paper 595*, 2011
23. Nguyen, C.D., Marchetto, A., Tonella, P.: 'Combining model-based and combinatorial testing for effective test case generation'. *Proc. 2012 Int. Symp. Software Testing and Analysis (ISSTA)*, Minneapolis, MN, USA, 2012.

**Moyseenko O.V., Harasymiv T.G. USE OF GENETIC ALGORITHMS IN OPTIMIZING THE PROCESS OF FORMING COMPUTER SYSTEM SOFTWARE TEST PLANS**

*The article analyzes the main approaches, methods and algorithms for the automated creation of test plans. The main advantages and disadvantages are defined. The main requirements for the algorithm of automated generation of test cases of complex computer systems based on activity diagrams have been formulated. A Unified Modeling Language (UML) activity diagram (AD) is used to abstractly represent the behavior of a system and is used by testers to generate test cases and test data. When designing test cases for systems with simultaneous (parallel) actions, an activity diagram can lead to a large number of paths, and it is not always possible to test all execution paths. Usually, research on obtaining test cases for parallel systems using AD focuses on conventional search methods such as breadth-first search and depth-first search, which are found to be inefficient. To overcome this shortcoming, the paper proposes a method using paired testing and a genetic algorithm to obtain a reduced number of test cases for computer systems with simultaneous actions. The authors proposed a mathematical model, and as a result, an algorithm was obtained, with the help of which the activity diagram is transformed into a program for the automated generation of test cases. The proposed approach and its implementation can be used to check the consistency between program execution paths and the behavior of UML activity diagrams.*

*The effectiveness of the algorithm modification was determined by statistical methods by comparing the number of tests achieved by other methods such as BFS, DFS, full path, simple path, random and CQS. The modified approach gives statistically justified better results with simultaneous transient coverage and pairwise reduction of the test set. Experimental results obtained for five different ADs show that the proposed approach achieves 100% coverage of simultaneous transitions and more than 50% reduction in the pairwise test set.*

**Key words:** test cases, activity diagram, genetic algorithm, pairwise testing algorithm.

UDC 004

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/31>**Nikitenko Ye. V.**

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

**Guida O. G.**

V.I. Vernadsky Taurida National University

## ARCHITECTURAL FRAMEWORK FOR THE FUNCTIONALIZATION OF MOBILE APPLICATION FOR IOS BASED ON REACTIVE EXTENSIONS

*As the demand for services via mobile applications grows, users' expectations of the quality and speed of the application are increasing significantly. Another serious problem is the pressure from competitors. As a result, the complexity of the programs being developed, the size of the code base, and the number of different specialties and teams for one project are increasing. It also makes it harder to manage, report, and hire new staff.*

*The main goal of this work is to develop a framework for the iOS operating system that will provide a convenient API for developing application functions, limiting the developer in setting up communications between architectural components, focusing him on the details of implementing the functions of the business domain.*

*The software product under development is an architectural framework for templating the functionality of an iOS mobile application based on Reactive Extensions.*

*The result of the work is the ability of the framework to provide the following capabilities:*

- create multi-module applications;
- business logic of applications should be reusable;
- applications should be easy to test;
- application code should be easily modifiable;
- an application using the framework should be easy to maintain;
- an application using the framework should be easily extensible.

*In the future, this framework can be used in software for designers and managers, which will allow creating scenarios at the software design stage and code generators that reduce human impact on the quality of the resulting work and the speed of its execution. Such software tools have a large economic impact on the mobile development and software development industry as a whole.*

**Key words:** software architecture, iOS operating system, application, framework.

**Problem statement.** One of the oldest ways to organize software code is to create a software architecture. A software architecture is a set of the most important decisions about the organization of software systems. It facilitates communication between several developers, allows testing individual parts of the code, reusing them, easily modifying them without undesirable impact on other systems, and adding new system modules to increase the program's functionality [1].

The problem with implementing such a solution is the possible inaccuracy of team members' understanding of the correct approach to complying with certain architectural rules. For example, one and the same architectural rule can be understood in several ways, which leads to a conflict in understanding, the choice of wrong solutions, and system disruption.

**Formulation of the article's objectives. The aim of the work** is to develop a framework that should include a set of tools that:

- allow you to describe scenarios for using the application functionality in a declarative way;
- automatically manage the data flow of a scenario based on its description;
- allow you to interact with the iOS Cocoa Touch Framework, considering the life cycle of its components.

Also, the framework should provide a simple, clear, and unambiguous interface for work, and facilitate the writing of understandable, testable code that complies with the SOLID principles.

**Outline of the main material.** Reactive Extensions or ReactiveX is a combination of the Observer, Iterator, and functional programming design pattern created by Netflix for the JavaScript programming language [2]. The implementation for the Swift programming language, which is the official programming language for the iOS platform, inherits all the original characteristics, adapting the API to a familiar form for its developers.

This programming methodology promotes application development in a declarative manner. It consists of three main ideas:

- datasource in the form of Observable<Element>;
- subscriber in the form of Observer<Element>;
- functional operators that create new Observable<Element> based on others.

RX has many advantages over the classical imperative approach to programming. Because it is one of the implementations of the Observer pattern, the application always operates on up-to-date data. A close observation shows that this approach meets the other two great hallmarks of good design, namely unidirectionality and a single source of truth. Information is always moving away from the Observable and traveling toward the Observer. Taking into account that unidirectionality is always realized through pure functions and immutable state, we can notice these two important features inherent in this implementation. Each Observable has operators that allow you to modify the data it operates on. However, after each operator is used, it creates a new object with the modified data, which guarantees the immutability of the state. This is one of the possible implementations of the Builder design pattern. Operators usually act as pure functions, but there are some exceptions that exist to combine imperative code into reactive code.

**Scenario description**

Each scenario changes the system state during and after its execution, which may affect the execution of other scenarios. This is a very important note, since the system functionality does not exist completely separately from it, which, in the case of free and uncontrolled modifications of data in the storage, creates a possible violation of the DRY principle.

When executing consecutive requests in a scenario, it is possible that the data from the result of the previous request is needed for the next request, or the data that was delivered by the actor at the beginning is needed to form a non-first request, which means that within one scenario, all the necessary data must be stored in a special storage that does not change the general state of the system, but exists locally for the proper functioning of the scenario. Such a storage will be called ActionState, and the class responsible for processing the state of this storage and creating new requests will be called ActionProcessor. In Figure 1, you can see an extended data flow diagram that describes all the processes involved in managing a scenario.

Since each scenario changes the state of the system, the framework must implement an interface that explicitly declares possible changes. This is necessary to ensure that the execution of the scenario does not

cause undesirable effects that are very difficult to track. Another important necessity is a special class whose responsibility is to receive the ActionState at the end of the script execution for further updating the repository. The name of this class is Repository.

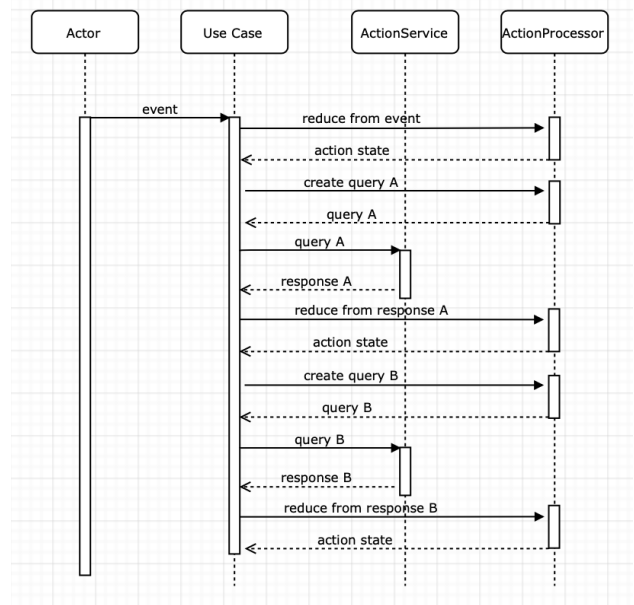


Fig. 1. Data flow diagram using the ActionProcessor

In Figure 2, you can see an example of a data flow diagram of a successful scenario that updates the state of the overall system. The state of the repository directly affects the ability to execute a particular use case. This means that every time the state changes after all requests are completed or an erroneous response is received, all scenarios that are not configured to work properly in the new state will stop receiving messages from actors. A data flow diagram that shows the checking of the current state before responding to an actor event and subsequent script execution and stopping is shown in Figures 3 and 4, respectively.

The number of use cases that can operate in parallel can be more than one, which means a common system state for each of them. Because they exist at the same moment in time and have access to the same data, the result of executing one script can change the data for the other, namely the ActionState. Changes in the scenario state should be predictable, should not lead to conflicts in the execution of any of the requests of any of the scenarios at any time. Therefore, considering all the conditions, each scenario start should begin with the formation of an initial ActionState, which is created based on the general state, which acts as the default state of the scenario and is used in the first reducer. Figure 5 shows a diagram of the data flows of a scenario with several queries.

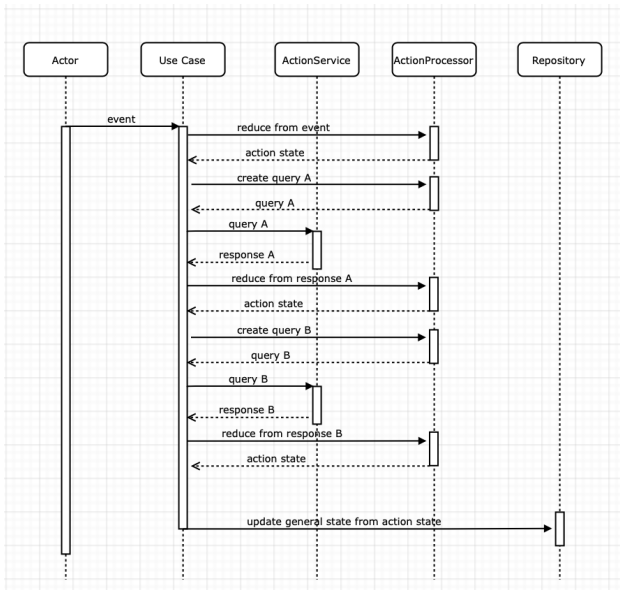


Fig. 2. Data flow diagram with status updates using Repository

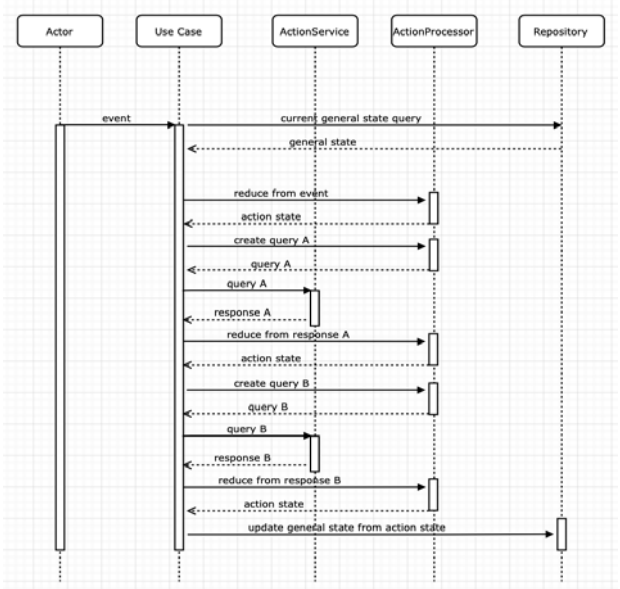


Fig. 3. Data flow diagram with checking the general state of the system and scenario execution

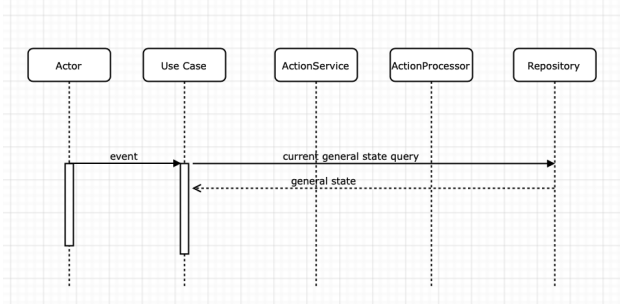


Fig. 4. Data flow diagram with checking the general state of the system and stopping the scenario

This way, each scenario can receive updated data from a common repository and use it in a timely manner.

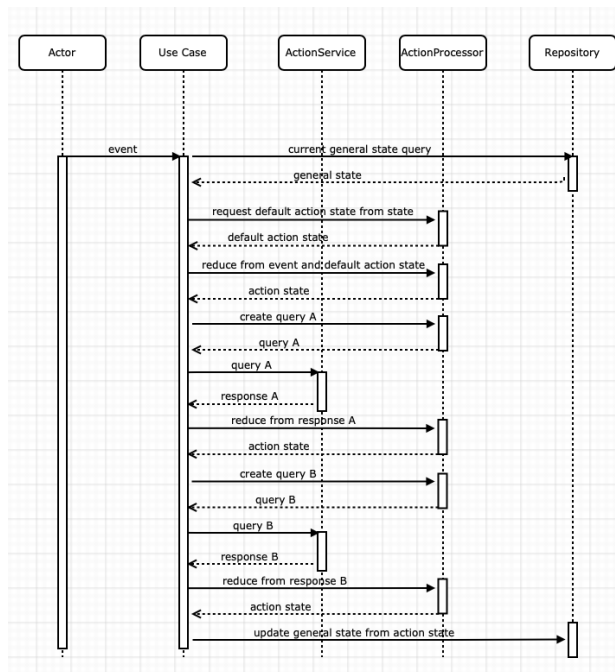


Fig. 5. Data flow diagram with the implementation of the initial ActionState based on the general state

### Designing the user interface

Because components such as ActionProcessor, Repository, EffectMapper, ActionService, and Actor can be represented as protocols, it would be appropriate to describe the requirements for them in the basic implementation of the Core constructor, but such protocols will probably use generalizations that do not allow them to be used as parameters in functions due to the peculiarities of the Swift programming language. Therefore, it is necessary to create basic implementations of these protocols. Class names will have the form of the prefix “Base”, which are combined with the name of the corresponding protocol.

The Actor protocol will consist of a property that provides the ability to subscribe to a reactive message stream, and its BaseActor implementation will encapsulate the implementation of combining different streams from the external environment into a single common stream to which Core will subscribe. In order to conveniently and easily configure different threads into one, it is necessary to create a special API that will meet all the requirements, namely, have a clear and simple interface.

To do this, we will create a special method in the base class, the purpose of which is to be overridden in the inheritors and act as a provider of a special facade for configuring threads. This solution is necessary because when using methods

to configure threads, you can do it in the wrong place, which will lead to uncertainty and possible unexpected bugs when the program runs. To prevent heirs from interfering with the merge process, you need to prohibit them from overriding the events property. In the Swift programming language, this is realized by using the final keyword before the field name, and in our case, **events** [3]. The Facade class will implement a special provide(events:) method that will take a message source as input and combine it with other sources in its implementation. In Figure 6, you can see a diagram of the Actor and BaseActor protocol classes.

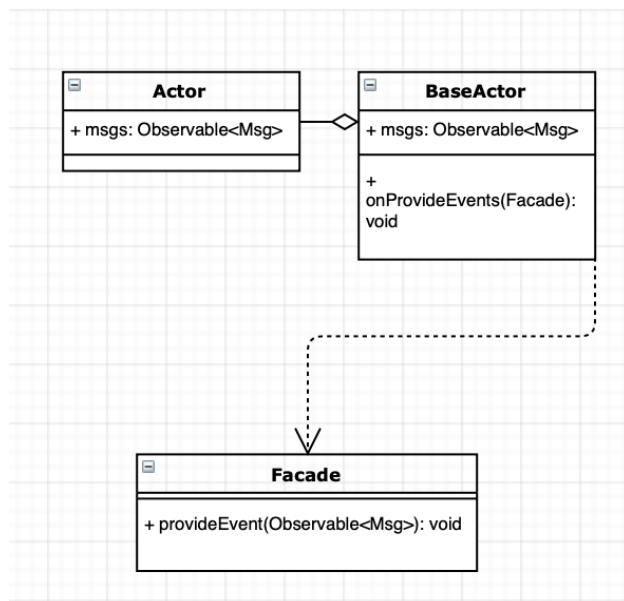


Fig. 6. Diagram of Actor and BaseActor protocol classes

This way, we designed a simple and clear interface for connecting notification sources from the external environment and encapsulated its implementation from the framework users, reducing the risk of unexpected bugs by focusing developers' attention on data sources rather than on their management.

The Repository class is responsible for updating the state from the ActionState. Since the states of the scenarios are separate for each of them, and their data can be managed with reference to the ActionState type, it is necessary to develop a convenient API for updating the general state of the repository. The user will provide the type of ActionState and the closure to store this state in a declarative manner, which allows us to shift the focus to what type of scenario state we are managing and how we update the overall state [4]. Figure 7 shows the class diagram for the Repository protocol and its basic implementation.

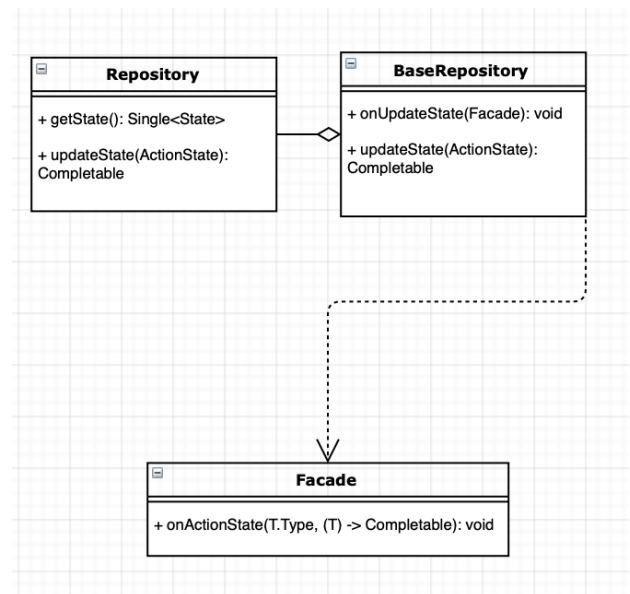


Fig. 7. Diagram of the Repository and BaseRepository protocol classes

It is worth noting that in this API we use a special reactive type – Completable. This is a special case in the implementation of the previously discussed Observable, but Completable returns either a flag indicating the state of successful completion of the thread execution or its error, compared to Observable, which can also provide a sequence of elements.

The next protocol and its corresponding class is ActionService and BaseActionService. It has only one method – execute(query:), the main purpose of which is to convert the request object into a specific call to external methods and convert their responses into a special Msg object that is configured to work in Core. However, this is not enough, since the main purpose of designing a framework is to separate the implementation from the abstract description of the behavior of program functions. It is necessary to consider the cases that are used in every application but are usually ignored: the request timeout and the number of retries in case of an error. Each request should be terminated if the result of its execution does not return long enough to be considered a failure. For this reason, the basic implementation should explicitly require the developer to specify the time to timeout. Repeated requests are not a common phenomenon in mobile software development, but in some cases it is a very important nuance that is usually not mentioned. Because of this, BaseActionService should provide the ability to specify the number of repeated requests, which will attract the attention of developers and encourage them to design functions in more detail. Another important thing is the fact that the result of the request execution can return some data or a simple flag that signals that the request was completed successfully. In RxSwift, this is implemented



through the already discussed Completable type and Single, a special Observable type that either returns an element from the stream and terminates it or terminates the stream with an error. The BaseActionService API should provide the ability to comfortably use both types without additional settings or conversions. Therefore, a method will be created that will receive the type of request, a special loop to call the proper function to the external environment, a loop to convert the successful and failed response to an Msg object, and variables for the timeout and the number of possible retries.

It is important to note that escapes for requests and response transformations must be of a special type. In Swift, escapes that can be stored in fields or called later than the function in which they are passed as a parameter completes must have the @escaping keyword. This way, the Swift compiler checks all types in advance and performs additional necessary optimizations. A diagram of the ActionService and BaseActionService classes can be seen in Figure 8.

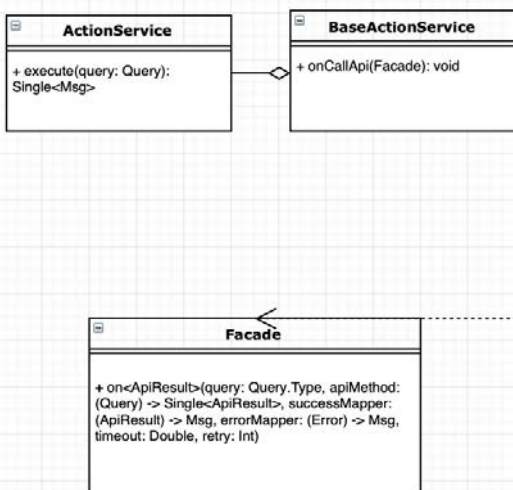


Fig. 8. Diagram of the ActionService and BaseActionService classes

The most difficult protocol and its base class to design is the ActionProcessor and its BaseActionProcessor. This protocol has three independent functions that are united by a common responsibility – working with ActionState. Because of this, the API for each method will be designed separately.

The first task of the processor is to generate the initial state of the script at the start of its execution. This method will receive the general state that will be passed to it from the Repository and the type of ActionState to be created. In its basic implementation, two levels of facades will be used. The first-level facade is a class that provides a method for specifying the type of the general state and creates the

second-level facade. The second-level facade has a method that receives the type of ActionState to be created and a closure of type @escaping, which creates a scenario state object based on the previously specified general state.

The next task of the ActionProcessor is to reduce the existing scenario state after receiving a message from the actor or responding to a request. To do this, the protocol will create the reduce(currentActionState:newMsg:) method, which receives the current state of the execution scenario and the received message from the external environment. It is important to note that a message is considered to be both a classic message from an actor and the result of a scripted request. To implement this method, special facades of several levels will be created in the base class. The first-level facade provides a method that receives an ActionState type and returns an object of the second-level facade. The second-level facade has a method that receives a message type and a reduction function that generates a new state of the execution scenario. Thus, you can list all possible changes for one scenario state in a declarative style.

The last responsibility of the ActionProcessor is to create request objects, which are then passed to the ActionService. Let's describe the create(queryType:actionState) method that will receive the type of the query to be created and the corresponding ActionState. For the basic implementation, we will use the already familiar structure of a two-tiered facade. The method of the first level will receive the type of the scenario state, and the second level will receive the type of the query and the closure for its creation.

So, we designed the ActionProcessor protocol and its basic implementation in the BaseActionProcessor class. The diagram of the ActionProcessor and BaseActionProcessor classes can be seen in Figure 9.

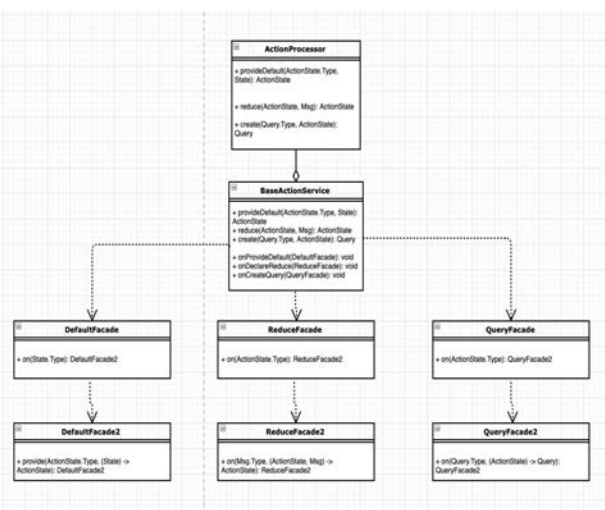


Fig. 9. Diagram of classes with ActionProcessor and BaseActionProcessor

The next entity to be designed is the EffectMapper. The main task of the EffectMapper and its BaseEffectMapper is to receive State, Msg, or Query objects and convert them to an Effect that is described by the framework user. Let's design the corresponding methods map(state:), map(msg:), and map(query:), each of which returns an Effect object. The basic implementation of the EffectMapper protocol will provide a convenient interface for declarative description of transformations. It will have an onDeclareMap method that receives a special facade where the user can configure the appropriate transformations. The facade will offer a special method for such a conversion. This method will receive the type of object to be converted as the first parameter, and the second parameter will be the closure that will be called for the conversion. Figure 10 shows a diagram with the EffectMapper and BaseEffectMapper.

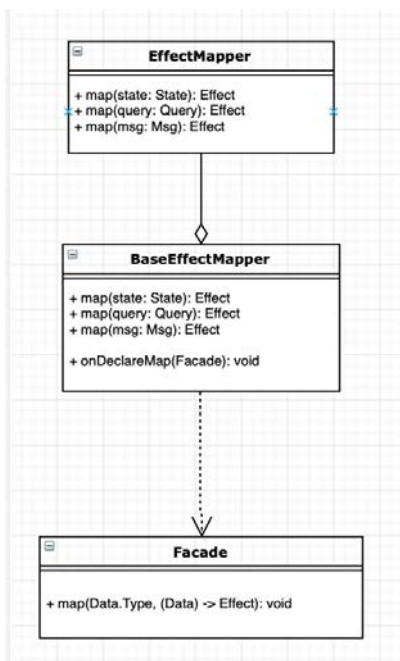


Fig. 10. Diagram of the EffectMapper and BaseEffectMapper classes

The last entity in the main module of the framework that needs to be designed is the Core. This is the most complex class compared to the others, but its API is the easiest to use due to the lack of any implementation in the inherited classes. Following the general design style of the framework, a special method was created that will receive a facade for configuring scenarios as a parameter. The beginning of the description of any list of scenarios for one general state will be the start(from:) method, which takes as input the type of the general state and returns the Starter class to describe the scenarios.

Starter provides the react(to:) method, which begins the description of a specific use case. The

argument to this method is the type of message that will start the execution of the scenario, and this method returns a special Reactor class that describes possible requests and their responses.

Reactor has two methods:

- skip();
- with(call:expecting:).

The first method is called when the user explicitly ignores the possibility of executing any requests for the received message and returns an object of type SkipProcessor with a single process() method. The second method has the opposite responsibility and takes as input the type of request that will be created after receiving the message and the type of expected response. This is very important, since all other types of responses that will come from the ActionService to this request will be considered erroneous and will stop the script from executing. This method returns a special object of type QueryProcessor. It provides the ability to repeatedly call the with(call:waiting) method to list multiple requests and the process() method.

A common characteristic for both SkipProcessor and QueryProcessor is the presence of the process() method. This method completes the description of the use case and accepts the ActionState type to which it corresponds. This method returns a Starter object to allow you to declaratively describe other scenarios that belong to the same general state [5].

It is important to note that one Core can have a list of scenarios for several general states, if necessary. Sometimes one scenario can change a general state, which will make it impossible to use other scenarios for this state, but will disable the ability to run those scenarios that belong to other states and are specified in this Core. The diagram of Core classes is shown in Figure 11.

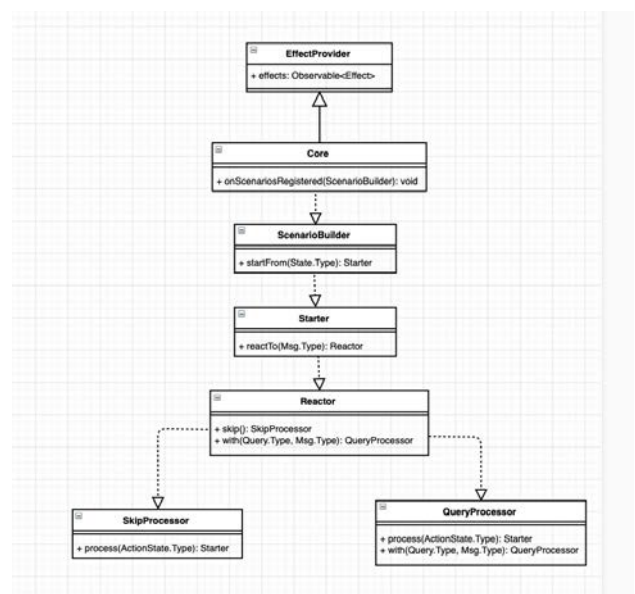


Fig. 11. Diagram of Core classes

**Conclusions.** We designed and implemented an architectural framework for templating the functionality of an iOS application that provides all the necessary tools for software development with a minimum number of errors in setting up data flows, requires attention to important details when developing functionality, and prevents unexpected and improper use.

We also developed an ideology of proper architecture that combines all the advantages of different patterns and focuses on designing and developing business functionality, analyzed how important the right approach to designing mobile application architecture is and the role of architectural frameworks in this.

The framework was divided into protocols and their basic implementations, each of which was displayed using UML tools. The framework was

implemented using the Swift programming language in the Xcode development environment based on the RxSwift reactive framework with the Reactive Extensions methodology.

The developed framework meets the goal, templates the functionality of the iOS application with the ability to reuse it in different projects, provides a convenient API that allows you to fully describe scenarios at a high level.

In the future, this framework can be used in software for designers and managers, which will allow creating scenarios at the software design stage and code generators, which reduces the human impact on the quality of the resulting work and the speed of its execution. Such software tools have a great economic impact on the mobile development industry and software development in general.

#### Bibliography:

1. Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software - Addison-Wesley, 1994. – 395 с.
2. ReactiveX: An API for asynchronous programming with observable streams. URL: <http://reactivex.io> – Title from the screen.
3. 5 Best Swift IDE. URL: <https://www.dunebook.com/5-best-ide-swift-programming/> – Title from the screen.
4. Jacobson, Ivar; Spence, Ian; Bittner, Kurt (December 2011). "Use Case 2.0: The Guide to Succeeding with Use Cases". Ivar Jacobson International. Retrieved 5 May 2014.
5. Architectural Styles and Architectural Patterns. *Medium*. URL: <https://medium.com/@mlbors/architectural-styles-and-architectural-patterns-c240f7df88a0> – Title from the screen.

#### Нікітенко Є.В., Гуйда О.Г. АРХІТЕКТУРНИЙ ФРЕЙМВОРК ДЛЯ ШАБЛОНІЗАЦІЇ ФУНКЦІОНАЛУ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКА ДЛЯ iOS НА БАЗІ REACTIVE EXTENSIONS

*З ростом попиту на послуги через мобільні додатки помітно зростає очікування користувачів щодо якості та швидкості роботи програми. Також іншою серйозною проблемою є тиск з боку конкурентів. В наслідок цього збільшується складність розроблюваних програм, розмір кодової бази, кількість різних спеціальностей та команд для одного проекту. Крім того, ускладнюється керування, звітування та введення нових кадрів.*

*Головна мета даної роботи - розробити фреймворк для операційної системи iOS, який буде надавати зручний API для розробки функцій додатку, обмежуючи розробника у налаштуванні комунікацій між архітектурними компонентами, фокусуючи його на деталях реалізації функцій предметної області бізнесу.*

*Розроблюваний програмний продукт – це архітектурний фреймворк для шаблонізації функціоналу мобільного додатку для iOS на базі Reactive Extensions.*

*Результатом роботи є можливість фреймворку надавати наступні можливості:*

- створювати додатки багатомодульними;
- бізнес-логіка додатків повинна мати змогу бути використаною повторно;
- додатки повинні легко піддаватися тестуванню;
- код додатків повинен мати можливість легко модифікуватися;
- додаток, що використовує фреймворк, повинен бути легко підтримуваним;
- додаток, що використовує фреймворк, повинен мати можливість легко розширюватися.

*У перспективі даний фреймворк можна використовувати у програмних забезпеченнях для дизайнерів та менеджерів, який дозволить створювати сценарії на етапі проектування програмного забезпечення та генераторах коду, який знижує людський вплив на якість результуючої роботи та швидкість її виконання. Такі програмні засоби мають великий економічний вплив на індустрію мобільної розробки та розробки програмного забезпечення в цілому.*

**Ключові слова:** архітектура програмного забезпечення, операційна система iOS, додаток, фреймворк.

**Оніщенко Т.В.**

Національний університет «Одеська політехніка»

**Фоміна А.М.**

Національний університет «Одеська політехніка»

## АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ КАРТ В СУЧАСНИХ ОНЛАЙН-СЕРВІСАХ ОЦІНКИ ЮЗАБІЛІТІ ІНТЕРФЕЙСІВ ВЕБ-САЙТІВ

*Показник юзабіліті на сьогодні є одним із ключових аспектів успішності будь-якого сучасного програмного продукту. Це стосується і веб-сегмента, де веб-сайти орієнтовані не тільки щоб задовольнити основний запит користувача, але і зробити це максимально зручно та комфортно для нього. Саме тому аналіз та оптимізація цього показника дійсно важливі.*

*Сьогодні існує низка спеціалізованих методів та засобів для аналізу юзабіліті, багато з них автоматизовано. Одним із таких методів є аналіз теплових карт. Він пропонує графічне представлення поведінки та уваги користувачів до різних частин веб-сторінки, представлених різними кольорами. Саме теплові карти допомагають розробникам та дизайнерам визначити активність та дії користувачів на різних областях інтерфейсу, які надалі можуть бути оптимізовані.*

*Аналіз теплових карт зазвичай виконується за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке може збирати дані та візуалізувати їх. На сьогодні існує багато сервісів такого напрямку, які мають різний функціонал для аналізу теплових карт. Однак, на сьогоднішній день не існує єдиної методики, яка може однозначно визначити, як, коли і для якого сайту краще застосовувати той чи інший сервіс. Тому багато SEO-фахівців можуть вибрати не оптимальне рішення.*

*В рамках даної роботи було проведено дослідження сучасних онлайн-платформ, які спеціалізуються на аналізі теплових карт. Роботу проведено із застосуванням практичного дослідження та методу стандартних відхилень. Дослідження проведено на основі даних, які збирають теплові карти при взаємодії користувачів з веб-сайтом.*

**Ключові слова:** інтерфейс, юзабіліті, теплові карти, аналіз, веб-сайт, коефіцієнт конверсії.

**Постановка проблеми.** Інтерфейс сучасних програмних продуктів відіграє ключову роль поряд із функціональністю. Висока конкуренція на ринку змушує розробників програмного забезпечення приділяти підвищену увагу саме до інтерфейсу свого продукту та зручності роботи користувача з ним. Веб-сайти та мобільні додатки, які сьогодні активно витісняють десктопні програми, у своїй роботі максимально залежать від візуальної складової та інтерфейсу.

За стандартом ISO/IEC 29138-2022 інтерфейс користувача – інтерфейс, який забезпечує передачу інформації між користувачем-людиною та програмно-апаратними компонентами комп'ютерної системи. Надалі у статті буде використовуватися термін інтерфейс, замість інтерфейсу користувача. Якісний інтерфейс повинен надавати можливість користувачеві з найменшими зусиллями виконувати потрібні дії в рамках роботи з програмним продуктом. Саме тому так важливо приділяти увагу цьому аспекту не лише на етапі проектування, а й надалі. Якщо сайт вже

існує, то аналіз юзабіліті також дуже важливий. Він покаже наскільки користувачам зручно та цікаво працювати з таким інтерфейсом, а виявлені проблеми можна виправити.

Стандарт ISO/IEC 9241-2018 визначає термін юзабіліті як здатність програмного продукту бути зрозумілим, досліджуваним, використовуваним та привабливим для користувача у певних умовах.

Аналіз юзабіліті допомагає визначити будь-які проблеми, які можуть виникнути у користувачів під час взаємодії з інтерфейсом. Існують різноманітні методи аналізу юзабіліті інтерфейсів, серед яких є із залученням експертів, команд тестувальників, фокус груп та повністю автоматизовані.

Один із сучасних методів аналізу юзабіліті – теплові карти. Ця технологія надає можливість повністю проаналізувати активність користувача на веб-сторінці сайту, зрозуміти де користувачі виявляють максимальну активність, які елементи були залучені менш або зовсім проігноровані, а також інші важливі показники.

Головною метою аналізу теплових карт є збільшення конверсії сайту. Збільшення цього показника кардинально вплине на сайт будь-якої спрямованості: збільшить продаж, приплив клієнтів, відвідувачів сайту тощо. Саме тому сьогодні аналіз юзабіліті за допомогою теплових карт такий актуальний. Компанії розробники та окремі фахівці проводять його у різний спосіб, але найбільш зручним сьогодні є використання спеціальних онлайн сервісів, які надають таку можливість. Саме такі програмні продукти та їх можливості стануть предметом цього дослідження.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналізом і систематизуванням існуючих знань про сучасні методи оцінки юзабіліті інтерфейсів займалися такі іспанські вчені як Адріан Фернандес, Еміліо Інсфран, Сільвія Абрахао [5]. Австрійський дослідник Клеменс Хольцманн разом із Флоріан Леттнер описав використання теплових карт та їх важливість для аналізу юзабіліті мобільних додатків. Ернесто Арройо, Тед Селкер та Віллі Вей досліджували роботу запису слідів миші під час перебування на сторінці веб-сайту інших користувачів. Однак великої кількості наукових праць та досліджень даної предметної галузі не проводилося і тому зайняття цією проблематикою є актуальним завданням.

**Метою роботи** є розробка рекомендацій для SEO-фахівців, які використовують спеціалізовані онлайн-платформи для аналізу теплових карт веб-сайтів. Дані рекомендації сформовані виходячи з аналізу 3-х найпопулярніших сервісів.

**Виклад основного матеріалу.** На ринку існує досить багато пропозицій, але я орієнтувалася на найавторитетніші продукти [1, 2], які добре себе зарекомендували. Крім цього, такий сервіс повинен мати певні можливості для аналізу отриманих результатів.

В результаті проведеного дослідження обрано 3 сервіси: Hotjar, Mouseflow та Crazyegg. Кожен із них відповідає моїм вимогам: це онлайн платформа, працює з тепловими картами, має інструменти аналізу результатів та згадується у рейтингах та дослідженнях такого класу продуктів.

Дослідження проведено за наступними критеріями відбору:

1. Час аналізу. Одним з основних критеріїв є витрачений час на аналіз кліків, або скроллінга. Грає важливу роль для того, щоб зрозуміти наскільки довго затягується процес обробки даних і зміни UI макету.

2. Візуалізація параметрів. Це процес використання візуальних елементів, таких як діа-

грами, графіки чи карти для подання даних. Він переводить складні, масштабні чи числові дані у візуальне уявлення, яке легше сприймати та обробляти.

3. Точність даних. Коректність даних у теплових картах полягає в тому, як точно відображаються дії користувача і чи відображаються вони взагалі на діаграмах.

4. Доступність. З розвитком Інтернету доступність таких сервісів збільшується, але більшість з них монетизовані та потребують певних грошових витрат від користувача.

5. Якість даних взаємодії користувача із динамічними елементами. Це контент, який може змінюватись на сторінці. Наприклад, веб сайт з рецептами де до кожного рецепту прив'язаний свій контент, і в залежності від обраного елемента цей контент змінюється. Також, до динамічних елементів можна віднести різноманітні відеозаписи, візуально графічні елементи, які змінюються через деякий час або при примусовому скролінгу користувача.

6. Відображення демографічних даних. Важливо відображення демографічних даних, бо саме вони дають точну інформацію де і в якому регіоні більш розповсюджений той або інший сайт.

Для проведення аналізу сервісів використовувався односторінковий сайт (лендінг). Сайт відвідали 10 користувачів. На цьому етапі дослідження (початковому) цього буде достатньо. Підключення відбулося завдяки додаванню скрипту до хедера сайту. На рис. 1 зображений скрипт підключення Hotjar.

```
<!-- Hotjar Tracking Code for my site -->
<script>
(function(h,o,t,j,a,r){
  h.hj=h.hj||function(){(h.hj.q=h.hj.q||[]).push(arguments)};
  h._hjSettings={hjid:3359026,hjsv:6};
  a=o.getElementsByTagName('head')[0];
  r=o.createElement('script');r.async=1;
  r.src=t+h._hjSettings.hjid+j+h._hjSettings.hjsv;
  a.appendChild(r);
})(window,document,'https://static.hotjar.com/c/hotjar-','.js?sv=');
```

Рис. 1. Скрипт підключення Hotjar

Першим був проаналізований продукт Hotjar. Інструмент веб-аналітики та зворотного зв'язку з користувачем, який допомагає зрозуміти як користувач взаємодіє зі сторінками. Hotjar містить набір різноманітних функцій: теплові карти, записи сеансів, опитування та залишення відгуків. Підключення до сервісу відбувається одразу після перевірки наявності скрипту на сторінці. Після цього починають записуватися дані нових користувачів, які відображаються одразу після завершення

взаємодії зі сторінкою. Усі зібрані дані після аналізу містяться у діаграмах та гістограмах. Наприклад, відображення відсотка людей який зайшли на сторінку з комп'ютера, планшету або телефону. Також, можна одразу подивитися увесь запис дій певного користувача із відображенням того як він «подорожував» по сторінці (рис. 2).

На рис. 3, рис. 4 та рис. 5 показано виведені дані після аналізу нашого лендінгу в даному веб-сервісі.

Hotjar доступний як платний веб-сервіс, а також пропонує безплатну версію з обмеженими функціями. У безплатній версії є можливість перегляду теплових карт, створення звітів, записи екранів та опитування користувачів. Важливо зазначити, що безплатна версія обмежена в кількості сторінок для аналізу та кількості питань до користувачів. Надається можливість отримати пробний період на 15 днів для всіх тарифних планів.

Платна версія залежить від кількості переглядів на сторінці та починається з 29\$ за 2000 переглядів.

Переваги Hotjar полягають у простоті використання теплових карт, після підключення яких одразу зберігаються записи кожного сеансу користувачів. Він має інтуїтивно зрозумілий та зручний інтерфейс, містить можливість інтеграції з іншими програмними засобами, такими як Google Analytics. Окрім цього, Hotjar має гарну службу підтримки, онлайн-документацію, різноманітні навчальні відеозаписи та живий чат для швидкого розв'язання проблем.

До недоліків можна віднести обмеження в інтеграції та налаштуванні, що можуть не дати можливості проводити аналітику для задоволення конкретних потреб.

Mouseflow – інструмент веб-аналітики та зворотного зв'язку з користувачем, який містить у собі такі функції як теплові карти, записи сеансів, воронки та аналіз форм. Він спеціалізується лише на картах кліків. Підключення відбувається за допомогою скрипту, який зображений на рис. 6. Аналогічно із Hotjar, цей веб-сервіс достатньо

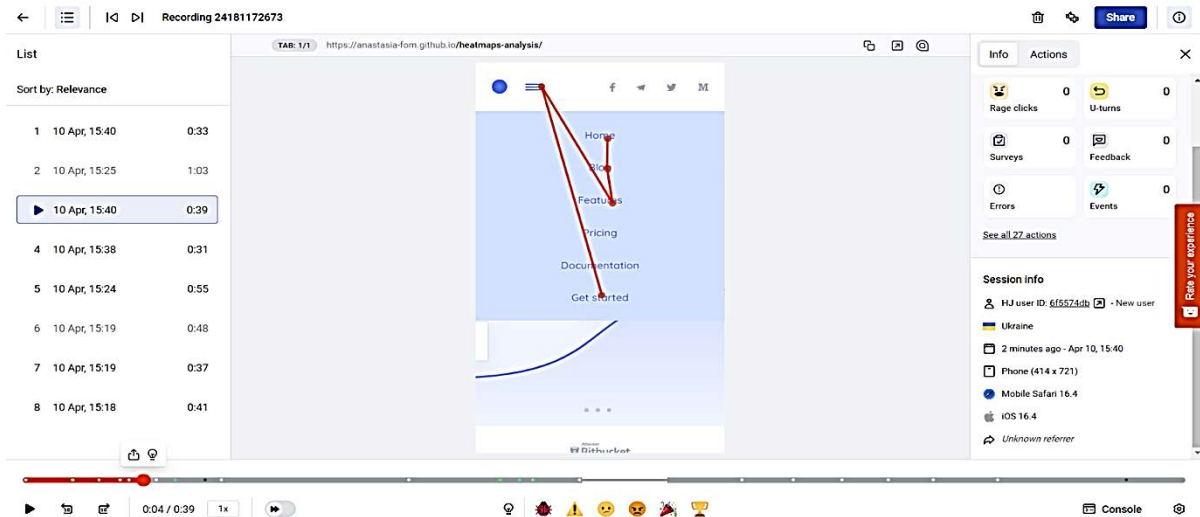


Рис. 2. Запис дій користувача на сторінці в онлайн-сервісі Hotjar

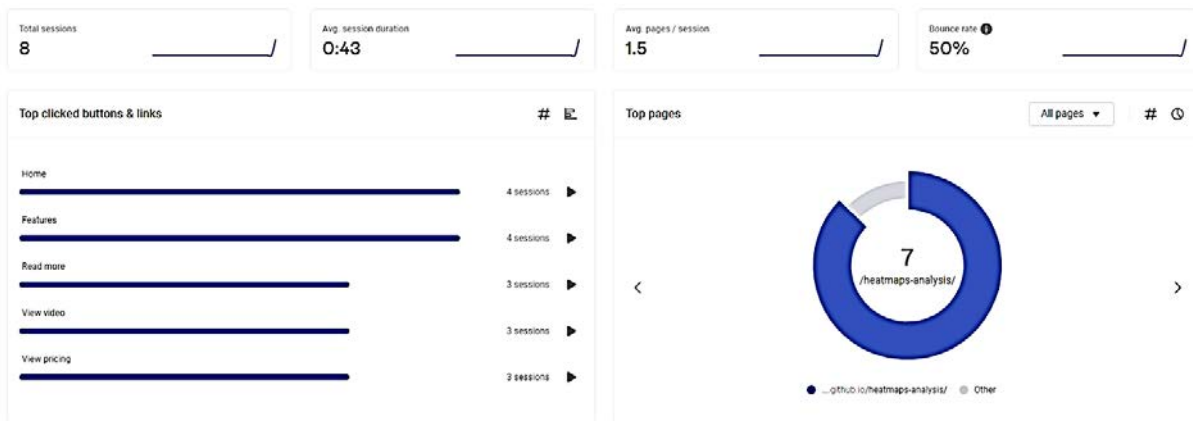


Рис. 3. Результати аналізу лендінгу в онлайн-сервісі Hotjar

<input type="checkbox"/>	Highlights	Relevance	Date	User	Country	Action #	Pages #	Duration			
<input type="checkbox"/>		Low	10 Apr, 15:40	4aa29266 (new)	Ukraine	32	1	0:33			
<input type="checkbox"/>		Low	10 Apr, 15:25	f5808d9c (new)	Spain	50	1	1:03			
<input type="checkbox"/>		Low	10 Apr, 15:40	6f5574db (new)	Ukraine	27	1	0:39			
<input type="checkbox"/>		Low	10 Apr, 15:38	32433001 (new)	Ukraine	18	2	0:31			
<input type="checkbox"/>		Low	10 Apr, 15:24	727e1226 (new)	Ukraine	18	1	0:55			
<input type="checkbox"/>		Very low	10 Apr, 15:19	a5ec71c1 (new)	United States	2	2	0:48			
<input type="checkbox"/>		Very low	10 Apr, 15:19	60ca9421 (new)	United States	2	2	0:37			
<input type="checkbox"/>		Very low	10 Apr, 15:18	8f41e449 (new)	United States	2	2	0:41			

Рис. 4. Результати аналізу лендінгу у табличному вигляді в онлайн-сервісі Hotjar



Рис. 5. Демографічні дані після аналізу в Hotjar

```
<script type="text/javascript">
  window._mfq = window._mfq || [];
  (function() {
    var mf = document.createElement("script");
    mf.type = "text/javascript"; mf.defer = true;
    mf.src = "///cdn.mouseflow.com/projects/54886c2d-ca76-4c9e-9419-f1e406049870.js";
    document.getElementsByTagName("head")[0].appendChild(mf);
  })();
</script>
```

Рис. 6. Скрипт підключення Mouseflow

швидко та відразу відобразив проаналізовані дані. Усі результати відображаються у табличному вигляді, із гістограмою і діаграмою. Таблиця містить усі записи демографічних даних, затраченого часу та запису взаємодії. На відміну від попереднього сервісу, Mouseflow один візит ділить на

декілька малих по секундах. Наприклад, Hotjar зафіксував 9 користувачів з візитом 1–2 хвилини, Mouseflow – 251 візит із тривалістю від 2 до 30 секунд. Крім цього, зафіксовані візити користувачів можливо переглянути у відеозаписі, створеному самим онлайн-сервісом Mouseflow (рис. 7).

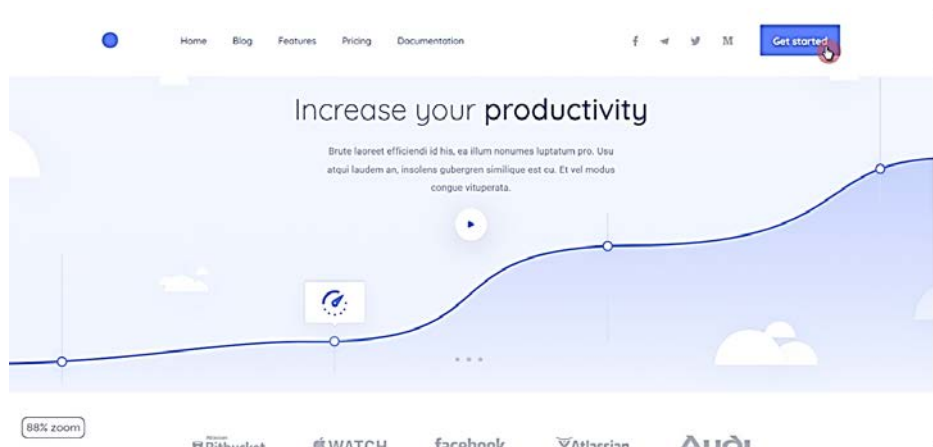


Рис. 7. Запис візиту користувача у Mouseflow

```
<script type="text/javascript"
  src="//script.crazyegg.com/pages/scripts/0116/8222.js"
  async="async">
</script>
```

Рис. 8. Скрипт підключення Crazyegg



Рис. 9. Карта кліків у Crazyegg

Аналогічно Hotjar, Mouseflow має безплатну версію яка надає можливість переглядати теплові карти, записувати екран, проводити аналітику форм та звіти, але є обмеження в кількості сторінок і записів екранів. Окрім цього, не має можливості зберігати записи. Важливо зазначити, що безплатна версія надається лише на 14 днів.

Платна версія дає набагато ширший спектр функцій, таких як більш точні теплові карти зі звітами, можливість використовувати на декількох сайтах. Ціна за сервіс залежить від кількості сто-

рінок та переглядів на веб-сайті та починається від 24\$ за 1000 переглядів.

Переваги Mouseflow полягають в можливості відстежувати поведінку користувачів за допомогою окремого процесу конверсії. Наприклад, оформлення замовлення в інтернет-магазині. Теж саме можна сказати про аналіз форм, де можна побачити прогалини при заповненні їх користувачем. Mouseflow робить запис сеансів користувача за допомогою відео, аудіо та дій курсору миші для більш точного аналізу поведінки користувачів.



З недоліків можна виділити обмеження інтеграції, що ускладнює взаємодію для великих компаній для аналізу багатосторінкових веб-сайтів з великим обсягом даних.

Crazyegg – ще один онлайн-аналітик, який дає можливість формувати теплові карти та визначати як користувач взаємодіє із сайтом. Також як і попередні веб-сервіси, підключення відбувається за допомогою скрипту (рис. 8).

Він не робить запис усього сеансу відвідувача, а показує лише карту кліків (рис. 9). Карта кліків дає можливість переглянути на які зображення, кнопки або посилання користувач натискає, що із цього зацікавило його, що не працює, або на що не звернули уваги. Crazyegg запам'ятовує кожен візит окремо в залежності від пристрою на якому відкривався сайт, а не всі відвідування разом. Він не показує демографічні дані, та не відображає взаємодію із динамічними елементами. Усі зібрані дані відображає у табличному вигляді.

Crazyegg не має безплатної версії, але пропонує пробний 30-денний період для всіх нових користувачів.

Ціна за послуги залежить від обраного функціонала та кількості відвідувачів і починається з 24\$ в місяць, але при збільшенні функцій, наприклад інтеграція з другими аналітичними програмними продуктами, ціна починається з 49\$ в місяць.

Переваги Crazyegg полягають у додатковій функції – створення А/В тестування, що дає можливість порівнювати дві різні версії сайту. Також, робить аналіз та відображення статистики щодо поведінки та конверсії для кожної сторінки сайту та автоматичну оптимізацію сторінок сайту на основі даних аналізу.

Недоліки збіжні із попередніми – обмеження в налаштуванні.

Для більш детального порівняння сервісів усі дані відображені у таблиці 1.

Шкала оцінювання:

0 – погано, або повністю не відповідає обраному критерію;

1 – добре, функціональна придатність є, але з погрішностями;

2 – відмінно, сервіс повністю відповідає обраному параметру.

Після порівняння сервісів можна порахувати характеристики за формулою 1 та визначити кращий онлайн-сервіс для роботи з тепловими картами.

$$Я = Ч + В + Т + Д + ДЕ + ДД, \text{ де} \quad (1)$$

Я – якість програмного продукту,

Ч – час аналізу,

В – візуалізація даних,

Т – точність даних,

Д – доступність

ДЕ – показ динамічних елементів,

ДД – демографічні дані.

На рис. 10 зображені результати аналізу в кількісних характеристиках.

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика онлайн-сервісів**

Характеристики	Hotjar	Mouseflow	Crazyegg
Час	2	2	2
Візуалізація	2	2	1
Точність даних	2	0	1
Доступність	2	1	1
Показ динамічних елементів	2	2	0
Демографічні дані	1	2	0

Кожен з онлайн-сервісів має свої особливості та унікальні можливості, такі як опитування та налаштування звітів в Hotjar, запис сеансів користувачів та фільтрація результатів в Mouseflow та

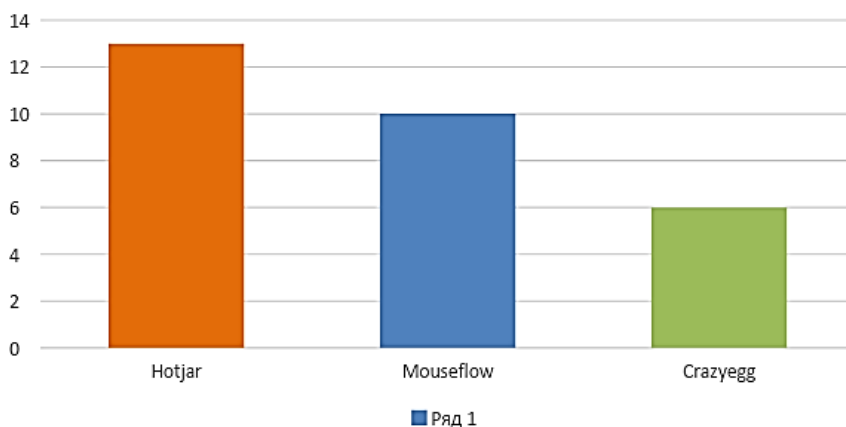


Рис. 10. Результати аналізу онлайн-сервісів

можливість проведення A/B тестів в Crazyegg та інтеграція з іншими сервісами аналітики.

Для отримання більш точної оцінки, в аналізі онлайн-сервісів буде використано метод стандартного відхилення, що дозволить оцінити наскільки дані та показники теплових карт коректні та стабільні.

Стандартне відхилення – це інструмент для аналізу, як медіана або інші статистичні показники, який говорить про мінливість набору даних [3].

Стандартне відхилення, або середнє квадратичне відхилення, може допомогти визначити, наскільки сильно відхиляються дані теплових карт від їхнього середнього значення, що може свідчити про наявність проблем у юзабіліті інтерфейсу, допомагає виявити потенційні проблеми у роботі веб-сервісів, оцінити їх стабільність та точність.

Стандартне відхилення – це математичний показник розсіювання значень у наборі даних щодо їх середнього значення. Стандартне відхилення рахується за формулою 2:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{N}}, \text{ де} \quad (2)$$

S – стандартне відхилення,

N – розмір вибірки,

$x_i$  – величина окремого значення вибірки,

$\mu$  – середнє арифметичне вибірки.

Для підрахунку стандартного відхилення часу сеансів користувачів на сторінці використовуються дані, які відображають активність користувача на сторінці. Ці дані мають інформацію про час, який провели користувачі на сторінці та які елементи були натиснуті.

Онлайн-сервіс Hotjar визначив такий час кожного сеансу у секундах: 0.33, 1.03, 0.39, 0.31, 0.55, 0.48, 0.37, 0.41. За формулою 2 цей показник буде дорівнювати 0.23.

Mouseflow зробив наступну вибірку 1.5, 4.1, 2.8, 2.4, 4.3, 1.7, 1.5, 1.4, де стандартне відхилення за формулою 2 буде дорівнювати 1.18.

Crazyegg має наступний час у секундах за 8 сеансів: 0.45, 0.26, 0.38, 0.13, 0.20, 0.50, 1.35, 1.02, та показник стандартного відхилення буде дорівнювати 0.43.

За проведеним аналізом найбільше значення показника у веб-сервісу Mouseflow, що може

вказувати на те, що розподіл даних щодо поведінки користувачів на сайті неоднорідний і має великий розкид.

Якщо брати вибірку за кількістю натисків, можна отримати інші дані, де вибірка Hotjar буде дорівнювати: 32, 50, 27, 18, 18, 2, 2, 2 та середнє квадратичне значення дорівнює 17.17.

У Mouseflow – 1, 1, 1, 3, 1, 7, 3, 2 та параметр дорівнює 2,07.

У Crazyegg – 20, 8, 14, 6, 3, 5, 7, 2 та середнє квадратичне дорівнює 6,03.

Важливо зазначити, що велике значення стандартного відхилення може свідчити про наявність проблем у юзабіліті інтерфейсів, незручність при використанні веб-сервісів або наявність технічних проблем.

**Висновки.** На підставі проведеного аналізу можна зробити наступні висновки:

1. Усі зібрані дані відображаються одразу, після візиту користувача на сайті, у всіх сервісах.

2. Hotjar та Mouseflow показують дані у вигляді різноманітних діаграм, тобто візуалізують проаналізовану інформацію, на відміну від Crazyegg.

3. З усіх продуктів найбільш точні дані показує Hotjar, водночас Crazyegg виводить результати з багатьма неточностями.

4. Фіксуються дії з динамічними елементами такими сервісами – Hotjar та Mouseflow. Crazyegg показує лише карту кліків, через яку неможливо коректно проаналізувати взаємодію із динамічними даними на сайті.

5. Зведення про демографічні дані збирають лише Hotjar і Mouseflow, де в першому показують лише країну користувача, а в другому – ще й місто, населений пункт.

6. З невеликими обмеженнями більш доступним для більшості користувачів є Hotjar, який у безплатному плані дає можливість по мінімуму використовувати свої можливості.

За всіма наведеними вище ознаками, більш функціональний та доступний сервіс для аналізу теплових карт є Hotjar. Він показав хороші результати за часом аналізу, надає отриману інформацію у візуально зручному вигляді та володіє широким набором інструментів для більш детального аналізу. Тому цей інструмент можна рекомендувати як для власників власних сайтів, так і для більш просунутих SEO фахівців.

#### Список літератури:

1. 13 Best Website Usability Testing Services Companies In 2023. 2023. – Available form: <https://www.softwarereestinghelp.com/usability-testing-services-companies>.

2. Top 10 Free Usability Testing Tools. 2020. – Available form: <https://www.userbrain.com/blog/free-usability-testing-tools>.

3. Jonathon Madore. Where is Standart Devision Used? (8 Real Life Examples). 2022. – Available from: <https://jdmeducational.com/where-is-standard-deviation-used-8-real-life-examples>.
4. Tyshchenko A. I., Onishchenko T. V. & Pysarenko K. A. The web-interface availability model for people with disabilities. *Herald of Advanced Information Technology*. 2019. Pp. 206-214. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait>
5. Fernandez A., Insfan E., Abrahao S. Usability evaluation methods for the web: A systematic mapping study. Valencia, Spain. 2011. *Information and Software Technology*. Pp. 789-817. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2011.02.007>

**Onishchenko T.V., Fomina A. M. ANALYSIS OF HEAT MAPS IN MODERN ONLINE SERVICES  
USABILITY ASSESSMENT OF INTERFACES OF MOBILE APPLICATIONS AND WEBSITES**

*Today, usability is one of the key aspects of the success of any modern software product. This also applies to the web segment, where websites focus on satisfying the user's basic request and making it as convenient and comfortable as possible for them. That is why analysing and optimizing this indicator is important. Today, there are some specialized methods and tools for analysing usability, many of which are automated. One of these methods is heatmap analysis. It is an important tool for analysing and improving user interfaces. They offer a graphical representation of user behaviour and attention to different website sections, represented by different colours. Heatmaps help developers and designers identify user activity and actions in different interface areas that can be further optimized.*

*Heat map analysis is usually performed using special software that can collect data and visualize it in the form of heat maps.*

*Today, quite a few platforms of this class have different functionality for heat map analysis. However, ordinary users and even SEO specialists do not always have an understanding of what task a particular one is suitable for. And they may not use such services and their capabilities optimally.*

*As part of this work, an analysis of modern online platforms specializing in this research was conducted. The work aims to develop recommendations for the most optimal use of such platforms for specific "cases";. The analysis was carried out based on data collected by heat maps during user interaction with a website or application.*

**Key words:** *interface, usability, heat maps, analysis, website, conversion rate.*

**Паиковський Б.В.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Слабінога М.О.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## РОЗРОБКА МІКРО СЕРВІСНОЇ АРХІТЕКТУРИ ІНТЕГРАТОРА ОПТИМІЗАЦІЙНОЇ ЗАДАЧІ ПРОЦЕСУ КОМПРИМУВАННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

*У статті розглянуто процес розробки програмного забезпечення інтегратора оптимізаційної задачі процесу компримування природного газу в умовах невизначеності.*

*Основа програмного забезпечення інтегратора оптимізаційної задачі комп'ютерної системи процесу компримування природного газу в умовах невизначеності складає Restful сервіс виконаний за допомогою ASP.NET Web API 2 і об'єктно-орієнтованої мови С#.*

*Сервіс інтегратора, разом із клієнтським веб-додатком забезпечують реалізацію таких функцій: збір та обробку даних від давачів технологічних параметрів та від вирободавачів, імпорт даних за минулі періоди, для більш точної побудови моделі оптимальної складності, відображення значень контрольованих параметрів, візуалізація в реальному часі інформації про стан газоперекачувальних агрегатів та їхніх компонентів, відображення рекомендованих частот обертання відцентрових нагнітачів кожного з ГПА.*

*Доцільним є розділення монолітного застосунку на мікро сервіси, кожен з яких виконував би ізольовану задачу.*

*Запропонована мікро сервісна архітектура програмного забезпечення інтегратора оптимізаційної задачі комп'ютерної системи процесу компримування природного газу в умовах невизначеності, що дозволить отримати наступні переваги:*

– *гнучкість та масштабованість: мікросервіси дозволяють гнучко масштабувати окремі компоненти системи незалежно один від одного. Це означає, що ми можемо збільшувати ресурси тільки для тих мікросервісів, які потребують додаткового обсягу роботи, замість масштабування всієї програми.*

– *легка розгортка та незалежність: кожен мікросервіс може бути розгорнутий, масштабований та оновлюваний незалежно. Це полегшує розробку, тестування та впровадження нових функцій, оскільки ми можемо працювати з кожним мікросервісом окремо без впливу на решту системи.*

– *технологічна різноманітність: мікросервісна архітектура дає змогу використовувати різні технології та мови програмування для різних мікросервісів. Це дає можливість використовувати найкращі інструменти для кожної конкретної задачі, замість обмеження однією технологією для всього проекту.*

**Ключові слова:** *компримування природного газу, газоперекачувальний агрегат, оптимальне керування, мікросервіси, інфраструктура.*

**Постановка проблеми.** В умовах повномасштабного вторгнення Російської Федерації на територію України та зміни структури ринку енергоносіїв в Європі та Україні зокрема, актуальною науково-технічною задачею є оптимізація витрат паливного газу в умовах невизначеності і з врахуванням технічного стану газоперекачувальних агрегатів (ГПА).

У роботі [1] запропонована система оптимізації процесу компримування природного газу та здійснено її технічну реалізацію за допомогою системи приладів, інтерфейсу введення-виведення та персональної ЕОМ, яка дає можливість знаходити оптимальні значення навантаження нагнітачів на основі їхнього реального технічного стану.

Синтезована структура комп'ютерної системи, що забезпечує поетапний розв'язок задачі оптимізації процесу компримування, та інтегрована в існуючу систему керування процесом.

Розроблений прикладний програмний продукт підтримки задачі оптимізації процесу, що забезпечує розв'язання задач оптимального керування за єдиним сценарієм з можливістю інтегрування його в існуюче програмне середовище.

Проте існуюча монолітна реалізація продукту має ряд недоліків:

– *складність масштабування: в монолітній архітектурі всі компоненти програмної системи зв'язані між собою прямими залежностями.*

Це робить процес масштабування важким, оскільки потрібно масштабувати всю програму, навіть якщо це необхідно лише для окремої частини.

- обмежена технологічна різноманітність: у монолітній архітектурі зазвичай використовується одна мова програмування та одна технологія. Це може бути обмеженням, оскільки ми не можемо використовувати найкращі інструменти для кожної конкретної задачі.

- висока залежність та ризик впливу помилок: У монолітній архітектурі відмова або помилка в одному компоненті може мати вплив на всю систему. Це може бути проблематичним, оскільки важко локалізувати та ізолювати проблему, і це може спричинити збої в роботі всього додатку.

- складність розробки та підтримки: Великий монолітний додаток може бути складним у розробці та підтримці. Збільшення розміру та складності кодової бази може зробити його важким для розуміння та модифікації. Крім того, великі команди розробників можуть зіткнутися з проблемою конфліктів під час одночасної роботи над одним кодом.

Таким чином актуальною є задача розділення монолітної програмної архітектури на мікросервіси.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

У роботі [2] проведено емпіричне дослідження, що дало систематичне розуміння промислових практик щодо мікросервісів.

Досліджено відмінності між ідеальним баченням і реальними промисловими практиками щодо мікросервісів і того, які переваги можна отримати від промислового досвіду. Проведено серію промислових інтерв'ю з тринадцятьма різними типами компаній. Зібрані дані було кодифіковані відповідно до визначених якісних методів. В результаті охарактеризовано розбіжності між типовими характеристиками, прийнятими в індустрії, та промисловою практикою мікросервісів.

Автори роботи [3] аналізували збір даних із розумних пристроїв інтернету речей (IoT). Важливість цього збору даних залежить від того факту, що він може виявити цінну інформацію та сприяти розумнішому та швидшому прийняттю рішень. Це дозволяє організаціям швидко адаптуватися до змін у робочих процесах, скоротити час простою, розширити виробничі потужності та підвищити загальну ефективність роботи. Однак проблема полягає в тому, що на багато з цих додатків промислового інтернету речей (IoT) може значно впливати склад API RESTful та архітектура мікросервісів, яку вони інтегрують. Крім того, додатки IoT не враховують динамізм сервісних середовищ і вимог.

У роботі [4] проведено огляд міграції програм на архітектуру Microservices багатьма компаніями, для того щоб залишатися конкурентоспроможними в середовищі, що швидко змінюється. Такі масштабні міграційні процеси вимагають ретельного планування та розгляду як наслідків, так і викликів. У цьому відношенні практичний досвід із промислової практики все ще рідкість. Щоб заповнити цю прогалину в науковій літературі, авторами було проведено якісне дослідження намірів, стратегій і викликів у контексті переходу на мікросервіси. Досліджено процес міграції 14 систем у різні домени та розміри, проведено 16 детальних інтерв'ю з фахівцями з програмного забезпечення з 10 компаній.

**Метою роботи** є розроблення мікросервісної архітектури програмного забезпечення інтегратора оптимізаційної задачі комп'ютерної системи процесу компримування природного газу в умовах невизначеності.

Поставлена мета досягнута внаслідок розв'язання таких задач:

- здійснено аналіз літературних джерел і виявлено, що мікросервісна архітектура має ряд переваг;
- здійснено розбиття предметної області на мікросервіси;
- оцінені переваги нової мікросервісної архітектури над існуючою монолітною.

Інтегратор оптимізаційної задачі.

Інформація, яка отримана від давачів технологічних параметрів та від вібродавачів, відображається засобами візуалізації на автоматизованому робочому місці оператора за допомогою базового програмного забезпечення RealFlex та обмінюється з прикладними програмами, що розроблені для компресорної станції та окремих агрегатів.

На рівні диспетчера ЛВУ, крім штатного, розроблене додаткове програмне забезпечення задачі оптимізації процесу компримування природного газу.

Інтегратор оптимізаційної задачі написаний у вигляді Restful сервісу за допомогою ASP.NET Web API 2 і об'єктно орієнтованої мови C#.

Перевагою такої реалізації є те, що сервіс є незалежним і може використовуватися будь-яким клієнтом за допомогою протоколу HTTP.

Клієнтом може виступати і програма на Windows і Веб-додаток, і будь-який мобільний додаток на мобільних операційних системах IOS і Android.

Сервіс інтегратора, разом із клієнтським веб-додатком забезпечують реалізацію таких функцій:

- збір та обробку даних від давачів технологічних параметрів та від вібродавачів;

- імпорт даних за минулі періоди, для більш точної побудови моделі оптимальної складності;
- відображення значень контрольованих параметрів;
- візуалізація в реальному часі інформації про стан газоперекачувальних агрегатів та їх компонентів;
- відображення рекомендованих частот обертання відцентрових нагнітачів кожного з ГПА.

Інтегратор дозволяє імпортувати дані з файлів типу \*.xls, \*.xlsx, \*.csv. Залежно від типу файлу за допомогою шаблону програмування «Фабрика» визначається конкретний клас, який оброблятиме цей файл.

Дані отримані з давачів, та попередньо імпортовані зберігаються у базі даних (БД) типу Microsoft SQL. Доступ до бази даних реалізовано за допомогою ORM від компанії Microsoft – EntityFramework 6.0.

Оскільки кількість імпортованих даних може бути доволі велике, задля зменшення часу виконання програми і економії процесорного часу, проведена оптимізація програми і використано методи пакетної роботи з базою даних “Bulk insert” і “Bulk Update”

На першому кроці оператор має можливість імпортувати дані у систему, для більш точної побудови моделі (рис. 1).

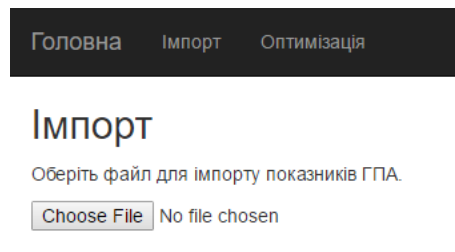


Рис. 1. Імпорт даних у систему

Далі оператор вводить кількість наявних нагнітачів, їхню продуктивність, затрати на привід та бажаний обсяг перекачки газу (рисунок 2) і система розраховує кількість працюючих нагнітачів у кожній групі, яких достатньо для підтримання заданого обсягу перекачування газу (рисунок 3).

Розділення монолітної архітектури на мікросервіси може бути виконано кількома способами (рисунок 4).

Функціональне розбиття: аналізується функціональність програмної системи та здійснюється ідентифікація незалежних компонентів або областей відповідальності. Кожен з цих компонентів може стати окремим мікросервісом. Наприклад, у електронному магазині окремими мікросервісами можуть бути обробка замовлень, управління користувачами, оплата тощо.

Рис. 2. Дані для розрахунку кількості нагнітачів

Доменно-орієнтоване розбиття: Засновуючись на принципах доменно-орієнтованого проектування (Domain-Driven Design), виділяються мікросервіси на основі окремих доменів або областей бізнесу. Кожен мікросервіс відповідає за певну сферу бізнес-логіки. Це дозволяє зосередитися на контексті домену та підтримувати межі між мікросервісами.

Розбиття на основі даних: Іноді розбиття моноліту може відбуватися на основі виділення окремих сутностей або компонентів бази даних в окремі мікросервіси. Кожен мікросервіс може мати власну базу даних або набір послуг для керування цими даними.

Декомпозиція за допомогою API: моноліт розглядається, як набір функцій або модулів, які можуть бути доступні через API. Поступово ці функції можна виділити в окремі мікросервіси, використовуючи API як інтерфейс взаємодії між ними.

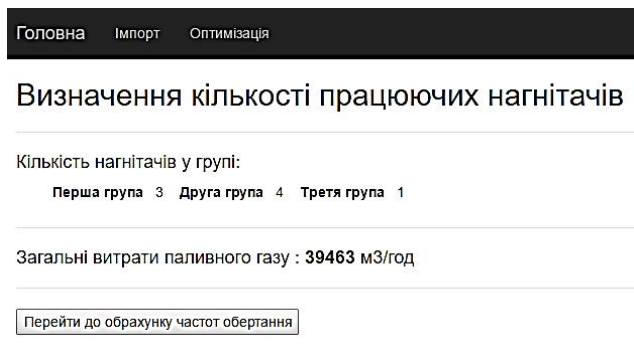


Рис. 3. Результат розрахунку кількості нагнітачів

В даному випадку використаємо функціональне розбиття.

Таким чином отримаємо перелік наступних мікросервісів.

- мікросервіс збір та обробку даних від давачів технологічних параметрів та від вібродавачів;



Рис. 4. Мікросервісна архітектура

– мікросервіс імпорту даних за минулі періоди, для більш точної побудови моделі оптимальної складності;

- мікросервіс користувацького інтерфейсу;
- мікросервіс візуалізації даних в реальному часі.

Для кожного мікросервісу було налаштовано окреме розгортання у хмарному сервісі Microsoft Azure, з використання технології CI/CD та продукту Azure Devops. Переваги CI/CD включають:

– швидше внесення змін: Автоматизований процес CI/CD дозволяє розробникам швидко вносити та тестувати зміни в коді, що сприяє швидкому розгортанню нових функцій та виправленню помилок.

– зменшення ризику: Частіша інтеграція та розгортання дозволяють виявляти та виправляти проблеми швидше, що зменшує ризик накопичення помилок у коді та сприяє стабільній роботі програмного забезпечення.

– автоматизоване тестування: CI/CD сприяє автоматизації процесу тестування.

**Висновки.** Проаналізовано існуючі способи розділення монолітної архітектури на мікросервісу. Проведено розділення архітектури інтегратора оптимізаційної задачі шляхом функціонального розбиття. Реалізоване незалежне розгортання мікросервісів у хмарному сервісі Microsoft Azure за допомогою підходів CI/CD та показано переваги такого підходу.

### Список літератури:

1. Пашковський Б. В. Оптимальне керування процесом компримування природного газу в умовах невизначеності: дис. канд. техн. наук: 05.13.07. Івано-Франківськ, 2018
2. H. Zhang, S. Li, Z. Jia, C. Zhong and C. Zhang, “Microservice Architecture in Reality: An Industrial Inquiry”, 2019 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), Hamburg, Germany, 2019, pp. 51-60, doi: 10.1109/ICSA.2019.00014.
3. E. Al-Masri, “Enhancing the Microservices Architecture for the Internet of Things”, 2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Seattle, WA, USA, 2018, pp. 5119-5125, doi: 10.1109/BigData.2018.8622557.
4. J. Fritsch, J. Bogner, S. Wagner and A. Zimmermann, “Microservices Migration in Industry: Intentions, Strategies, and Challenges”, 2019 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), Cleveland, OH, USA, 2019, pp. 481-490, doi: 10.1109/ICSME.2019.00081.

### **Pashkovskiy B.V., Slabinoha M.O. MICRO SERVICE ARCHITECTURE IMPLEMENTATION OF THE INTEGRATOR OF THE OPTIMIZATION OF THE NATURAL GAS COMPRESSION PROCESS UNDER FUZZY CONDITIONS**

*The core of the integrator software for the optimization task of the computer system of the process of natural gas compression under fuzzy conditions is the Restful service, implemented using ASP .NET Web API 2 and the object-oriented language C#.*

*The integrator service, together with the client web application, provides the implementation of the following functions: collection and processing of data from sensors of technological parameters and from vibration sensors, import of data for past periods, for more accurate construction of a model of optimal complexity, display of values of controlled parameters, visualization of information in real time about the condition of gas pumping units and their components, displaying the recommended rotation frequencies of the centrifugal superchargers of each of the gas pumps.*

*It is recommended to divide a monolithic application into micro services, each of which would perform an isolated task.*

*The proposed micro service architecture of the software integrator of the optimization problem of the computer system of the natural gas compression process under fuzzy conditions, which will allow obtaining the following advantages:*

– *flexibility and scalability: microservices allow flexible scaling of individual system components independently of each other. This means that we can increase resources only for those microservices that need additional work, instead of scaling the entire application.*

– *easy deployment and independence: each microservice can be deployed, scaled and updated independently. This makes it easier to develop, test, and implement new features because we can work with each microservice separately without affecting the rest of the system.*

– *technological diversity: the microservice architecture enables the use of different technologies and programming languages for different microservices. This makes it possible to use the best tools for each specific task, instead of limiting yourself to one technology for the entire project.*

**Key words:** *natural gas compression, gas pumping unit, optimal control, microservices, infrastructure.*



**Савенко Б.О.**

Хмельницький національний університет

## МЕТОД СИНТЕЗУ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РІВНІВ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ЧАСТКОВО ЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ЗЛОВМИСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Зловмисники продовжують активно розробляти, використовувати і поширювати зловмисне програмне забезпечення. Особливо актуальним питанням щодо протидії зловмисному програмному забезпеченню є розробка методів засобів виявлення та протидії йому для використання в корпоративних мережах. Такі засоби повинні будуватись на нових методах та враховувати особливості таких архітектур в процесах протидії та виявлення зловмисного програмного забезпечення. Метою роботи є розробка методу синтезу математичних моделей рівнів безпеки для нових типів засобів виявлення зловмисного програмного забезпечення в корпоративних мережах. Розроблені засоби є самоорганізованими розподіленими системами з частковою централізацією. Часткова централізація як властивість системи означена так, що для прийняття рішення щодо подальших кроків системи, сукупність компонент, в яких міститься центр прийняття рішень системи, будуть розглядатись як децентралізована підсистема. Керування системою буде здійснювати центр прийняття рішень, який розподілений спочатку у визначених компонентах і може в процесі її функціонування змінювати місце знаходження в решті компонент. Для визначення станів компонент системи запропоновано характеристичні показники та розроблено узагальнені аналітичні вирази для їх обчислення. Ці характеристичні показники задають стани компонент розподіленої системи. В роботі узагальнено формування таких характеристичних показників компонент системи. Характеристичні показники можуть бути неперервними і дискретними величинами, тому для кожного випадку розроблено різні варіанти їх подання та обробки значень. Для здійснення узагальнення характеристичних показників розроблено метод синтезу математичних моделей рівнів безпеки. Такі обчислення дають змогу оцінити стан компонент в системі з метою самостійного визначення нею її подальших кроків. В результаті сформована система стає основою для наповнення її методами виявлення зловмисного програмного забезпечення в поєднанні з компонентами системи як цілісного сенсору. Для тестування системи було здійснено імплементацію в неї методу виявлення worm-вірусів та проведено експерименти. Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність запропонованого рішення.*

*Подальші дослідження будуть проведені для включення додаткових характеристичних показників ознак та реалізації в системі методів виявлення зловмисного програмного забезпечення.*

**Ключові слова:** часткова централізація, самоорганізація, зловмисне програмне забезпечення, worm-вірус, розподілена система.

**Постановка проблеми.** Подальше активне використання і поширення зловмисного програмного забезпечення (ЗПЗ) [1, с. 1] продовжує створювати проблеми користувачам щодо вирішення задач в комп'ютерних системах та мережах (КСМ). Також, блокує доступ до КСМ та інформаційних ресурсів та для усунення наслідків вимагає витрат часу кваліфікованого персоналу. Використання антивірусних засобів (АВЗ) та систем виявлення вторгнень (СВВ) є досить ефективним. Але використовувані при створенні ЗПЗ нові методи дають змогу зловмисникам частково обходити такі засоби і це залишає їм простір для подальшої зловмисної діяльності. Крім того, робота АВЗ та СВВ потребує залучення користувача до процесу адміністрування подій, про які інформуватимуть

ці засоби і системи у випадку виявлення ЗПЗ чи підозри на наявність ЗПЗ. А це призводитиме до витрат часу, особливо коли користувач не має відповідної кваліфікації. Практики із забезпечення безпеки та захисту КСМ відповідними АВЗ та СВВ підтверджують необхідність застосування комплексних систем, які б включали багаторівність, багатоетапність та різноманітність. Різноманітність [2, с. 251] АВЗ та СВВ, якщо відомості про імplementовані в них методи виявлення невідомі зловмиснику, суттєво покращують безпеку та захист КСМ та їх ресурсів. Тому, потрібно використовувати нові типи засобів додатково до широко використовуваних.

Актуальними такі завдання забезпечення безпеки є для корпоративних мереж. В них викорис-

товуються різноманітні мережні системи виявлення ЗПЗ. Для виявлення ЗПЗ при проектуванні таких систем виявлення потрібні показники з різних вузлів мережі та комп'ютерних станцій. Значення цих показників можуть бути використані при розробці методів виявлення ЗПЗ, а також першочергово для врахування їх при функціонуванні таких систем. Але опис таких характеристичних показників повинен базуватись аналітичних виразах для подальшого обчислення їх значень. Ці характеристичні показники можуть бути різними, їх кількість теж може бути різною для розв'язання різних задач, також, вони можуть бути визначені дискретними або неперервними функціями. Враховуючи таку різноманітність характеристичних показників потрібно їх узагальнити в контексті формування таких характеристичних показників компонент системи. Те, що вони можуть бути неперервними і дискретними величинами, то для кожного випадку потрібно розробити різні варіанти їх подання та обробки значень. Таким чином, актуальним для здійснення узагальнення характеристичних показників буде розробка методу синтезу математичних моделей рівнів безпеки. Такі обчислення дадуть змогу оцінити стан компонент в системі з метою самостійного визначення нею її подальших кроків. В результаті сформована система [2, с. 251; 3, с. 21] стане основою для наповнення її методами виявлення ЗПЗ в поєднанні з компонентами системи як цілісного сенсору. Ці показники будуть використані системою для перебудови її архітектури самостійно в залежності від стану безпеки в комп'ютерних станціях та в мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зловмисники продовжують створювати ефективне ЗПЗ і такі дії мають стійку тенденцію до зростання, як кількісно, так і за охопленням різних типів [4, 5]. Для корпоративних мереж використовуються відомі засоби, наприклад пропоновані в [6, 7], які є ефективними, але вони не забезпечують повного виявлення та надійної протидії ЗПЗ. Це підтверджується відповідними результатами незалежних антивірусних лабораторій та самими розробниками. Тому, є потреба в подальшій розробці нових систем та методів для виявлення ЗПЗ в корпоративних мережах, які повинні бути розподіленими. Проект, який подано в [8], є найбільш найближчим подібним рішенням, яке буде розглядатись в цій роботі і набуватиме подальшого розвитку.

Розглянемо розподілені системи та принципи їх створення [9, с. 1; 10, с. 1; 11, с. 49] для ефективного використання в комп'ютерних мережах,

зокрема і ті, які спеціалізовані для виявлення ЗПЗ. У роботах [12, с. 57; 13, с. 743] пропонуються методи вирішення проблеми побудови орієнтованого мінімального остовного дерева для застосування при створенні розподілених систем. У роботі [14, с. 1] показано, як побудувати накладену мережу постійного ступеня та заданого діаметру за допустимий час, починаючи з довільного слабозв'язного графа. В роботі [15, с. 107] проаналізовано синхронну динаміку  $k$ -більшості, де в кожному круглому вузлі з дискретним часом рівномірно випадковим чином відібрано  $k$  сусідів із заміною. В роботі [16, с. 1] проаналізовано паралельні обчислення як особливу тісно пов'язану форму розподілених обчислень, і розподілені обчислення розглядаються як слабо пов'язану форму паралельних обчислень. Розширення цього поняття на інтернет речей подано в роботі [17, с. 684]. В роботах [18, с. 318, 19, с. 17] представлено теорію, що використовується для моделювання конкретного класу розподілених великомасштабних систем. Використання наукових результатів дослідників, які подані в роботах [9, с. 1; 10, с. 1; 11, с. 49; 12, с. 57; 13, с. 743; 14, с. 1; 15, с. 107; 16, с. 1; 17, с. 684; 18, с. 318; 19, с. 17], потрібно при створенні розподілених систем в корпоративних мережах. Всі проаналізовані рішення можуть бути використані в проектованій системі з характеристиками, які подані в роботах [2, с. 251; 3, с. 21].

Враховуючи, що пошук та виявлення ЗПЗ потрібно здійснювати в корпоративній мережі, то актуальними для розгляду будуть такі: мережні IPS (Network – based Intrusion Prevention, NIPS) [20]; IPS для бездротових мереж (Wireless Intrusion Prevention Systems, WIPS) [21]; системи для здійснення поведінкового аналізу мережі (Network Behavior Analysis, NBA) [22]. Наукові праці, які містять методи побудови розподілених систем та методи виявлення ЗПЗ подано в [23, с. 127; 24, с. 166].

Розглянемо об'єктами ЗПЗ таку його підмножину, як worm-віруси. В роботах [25, с. 405; 26, с. 1319] представлено декомпозицію вірусів і worm-програм на основі їх основних функціональних компонентів. В роботі [27, с. 1] здійснено аналіз троянського коня, який під час виконання може змінювати інші комп'ютерні програми, наприклад, копіюючи себе (або його частину) у них. В роботі [28, с. 78] зловмисні програми аналізуються на наявність ознак вірусів, worm-вірусів, троянських програм і руткітів

та конкретні контрзаходи, для їх розпізнавання. У роботі [29, с. 247] побудовано модель SIQR для розповсюдження worm-вірусу залежно від двофакторної моделі. У роботі [30, с. 1] зроблено припущення про існування так званих багатовекторних worm-вірусів. В ній подано пару з них за слідами нападу, які зібрані в приманці. У роботі [31, с. 213] проаналізовано приклади ЗПЗ: віруси, worm-віруси, троянські програми, шпигунське програмне забезпечення, клавіатурні шпигуни, ботнети, руткіти, програмне забезпечення для вимагання та випадкові завантаження. Різноманітність ЗПЗ проявляється згідно проведеного аналізу наукових результатів [25, с. 405; 26, с. 1319; 27, с. 1; 28, с. 78; 29, с. 247; 30, с. 1; 31, с. 213] не тільки за різнотиповістю основних підмножин, але і в межах певних класів та підмножин, зокрема, наприклад, багатовекторність worm-вірусів.

Тому, розробка методів і засобів виявлення ЗПЗ та протидії йому залишається актуальною проблемою сьогодення. Для створення нових типів систем виявлення ЗПЗ в корпоративних мережах за архітектурою та наповненням актуальним завданням є формування множини показників з вузлів мережі та їх ефективне визначення. Такі характеристичні показники будуть основою при прийнятті рішень системою.

В зв'язку з цим, **мета роботи полягає у розробці методу синтезу математичних моделей рівнів безпеки для частково розподілених систем** [2, с. 251; 3, с. 21] виявлення ЗПЗ, що дасть можливість узагальнити характеристичні показники та їх отримання, які необхідні для прийняття рішення системою виявлення.

**Виклад основного матеріалу.** Засоби систем виявлення ЗПЗ в комп'ютерних мережах, а також в їх хостах, повинні базуватись не тільки на сучасних актуальних методах виявлення, але і бути імplementованими в такі архітектури засобів, які б залучали свої елементи до покращення виявлення сумісно із методами виявлення. Реагування систем виявлення ЗПЗ в комп'ютерних мережах завдяки динамічній перебудові своїх архітектур в умовах зловмисних впливів та аномальних проявів створює додаткові перешкоди для зловмисників та ЗПЗ. Така динамічна перебудова архітектури повинна координуватись та узгоджуватись із застосуванням методів виявлення. Створення для зловмисників та ЗПЗ перешкод в розумінні функціонування та поведінки засобів виявлення на архітектурному рівні надає перевагу користувачам КСМ. Досягнення пере-

ваги потребує крім методів, які орієнтовані безпосередньо на виявлення ЗПЗ, забезпечити в складі засобів виявлення компоненти або елементу, які змінюватимуть архітектуру системи виявлення сумісно з методами виявлення, але при цьому вони не орієнтовані саме на виявлення конкретних типів ЗПЗ чи конкретного ЗПЗ. Такі компоненти чи елементи повинні забезпечувати функціонування системи виявлення ЗПЗ без втручання адміністратора системи чи користувача при прийнятті рішень щодо подальшого функціонування в умовах впливів ЗПЗ і не бути прогнозованими в своїх подальших діях для зловмисників та користувачів.

Розглянемо такий тип систем виявлення ЗПЗ в комп'ютерних мережах, як частково централізовані системи [2, с. 251; 3, с. 21]. До таких систем віднесемо ті, в яких всі компоненти поділені на дві підмножини: підмножину компонент, в яких може бути центр системи; підмножину компонент, в яких відсутні функції для забезпечення функціонування центру прийняття рішень системи. Керування всією системою  $S$  відбувається з компонент, в яких знаходиться центр прийняття рішень системи. Тому, вона централізована. Часткова централізація забезпечується тим, що компоненти системи  $S$ , в яких знаходиться центр прийняття рішень системи для прийняття рішень формують пропозиції окремо в кожній з цих компонент, тобто децентралізовано, і погоджують його сумісно усі. Таким чином, система не повністю централізована.

Модель архітектури  $M_S$  частково централізованої системи  $S$  задамо згідно її компонентів та зв'язків між ними так:

$$M_S = \langle S, G_S \rangle, \quad (1)$$

де  $G_S$  – граф (рис. 1), що відображає зв'язки між компонентами частково централізованої системи  $S$ .

Враховуючи поділ компонент системи на дві підмножини за критерієм наявності центру в них і без нього, отримуємо уточнену модель архітектури  $M_{S,k}$  частково централізованої системи  $S$  згідно формули:

$$M_{S,k} = \langle \langle S_1, S_2, \dots, S_k, S_{k+1}, S_{k+2}, \dots, S_N, G_S \rangle \rangle, \quad (2)$$

де  $G_S$  – граф (рис. 1), що відображає зв'язки між компонентами частково централізованої системи  $S$ ;  $k$  – кількість компонент системи, в яких може бути центр прийняття рішень системи;  $S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_k \cup \dots \cup S_N$ ;  $N$  – кількість компонент в системі, які встановлені в комп'ютерні станції в мережі.

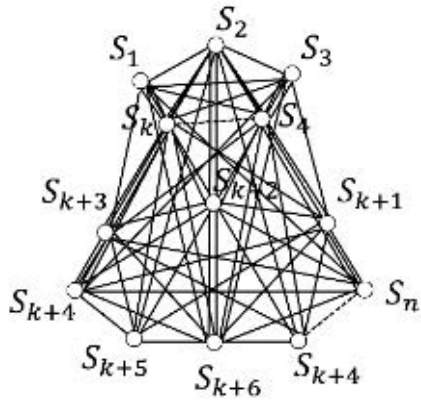


Рис. 1. Частково централізована архітектура системи

В запропонованій, таким чином, моделі архітектури  $M_{S,k}$  частково централізованої системи, крім розподілу компонент системи, які задано підмножинами і відповідно вершинами, в залежності від можливостей містити центр, виділено також три типи зв'язків між компонентами, які поєднують компоненти з центром системи, компоненти без центру прийняття рішень системи та компоненти з центром і без центру між собою. Граф  $G_S$  при такому заданні є повним, тобто з'єднання між компонентами системи наявні між ними усіма. Але для ефективнішої роботи та приховування можливостей системи з'єднання між компонентами системи можуть бути задані різними деревами графа  $G_S$  і, таким чином, їх кількість зменшиться, а також, приховуватимуться від злоумисника або ЗПЗ очікувані повідомлення. Визначення варіантів дерев графа  $G_S$  встановлюватиметься центром прийняття рішень системи. Розроблена архітектура частково централізованих систем, архітектура її компонент та математичні моделі характеристичних показників рівнів безпеки компонентів є основою створення нових засобів виявлення ЗПЗ в корпоративних мережах, які та функціонування яких будуть невідомі або важко зрозумілі для злоумисників.

Для підтримки функціонування системи, враховуючи її специфіку застосування та потребу імплементації в неї принципів самоорганізації та адаптивності, потрібно в кожній компоненті визначати довіру до результатів обчислень та стан безпеки в ній. Тоді, задамо характеристичні показники значень рівнів безпеки компонентів множиною  $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_B}\}$ , де  $\beta_i$  - значення рівнів безпеки компонентів системи,  $N_B$  - кількість характеристичних показників,  $i = 1, 2, \dots, N_B$ . Для кожного компонента системи  $S$  введемо множини  $B_j = \{\beta_{1,j}, \beta_{2,j}, \dots, \beta_{N_B,j}\}$  згідно заданої множини  $B$ ,

елементи якої будуть використані для обчислення значення рівня безпеки всієї системи. Значення  $\beta_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ) визначатимуть рівень довіри до результатів розподілених обчислень, які здійснені в різних компонентах системи та характеризують різні показники рівнів безпеки. Введемо для значень  $\beta_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  - кількість компонент в системі, які встановлені в комп'ютерні станції в мережі) проміжок, в якому буде регулюватись нижня межа в залежності від параметру рівня значущості  $\alpha_z^{r,i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $z = 1, 2, \dots, N_z$ ;  $N_z$  - кількість варіантів взаємодії функцій-підмножин) так:  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ . За рівень значущості прийемо частку від одиниці, яка відображатиме відхилення від рівня довіри до результатів розподілених обчислень внаслідок певних подій, архітектурної особливості компоненти тощо. Для двох значень з проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  прийемо за значення з більшим рівнем довіри до результатів обчислень те, яке є більшим. Кожна компонента системи сформована з певної кількості функцій-підмножин в залежності від визначеного призначення компоненти. Для визначення значень  $\beta_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  - кількість компонент в системі, які встановлені в комп'ютерні станції в мережі) враховувати наявність центру прийняття рішень системи та типи обчислень, які можуть відноситись до різних груп функцій-підмножин та їх комбінацій. Характеристичні показники значень рівнів безпеки компонентів можуть бути різними і не завжди типовими. Тому, для їх формалізації з метою оцінювання потрібно застосовувати різні варіанти.

Якщо характеристичний показник за певним критерієм чи декількома критеріями може формуватись мінімум з двох однотипних елементів, тоді формуємо множини з цих елементів. Далі елементи впорядковуємо за їх впливом на безпеку компоненти і з них формуємо вектор, координати якого впорядковані. Потім конструюємо функцію, в якості аргументів якої будуть координати вектору, для відображення аргументів у значення з проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ . В результаті отримані значення будуть значеннями характеристичних показників рівнів безпеки компонент. Ці значення можуть бути уточнені за певними показниками, які впливатимуть на безпеку. Такими показниками можуть бути функції-підмножини (кількість, призначення, активність, використання при виконанні завдань тощо), кількість компонент системи (активних, належних до центру прийняття рішень системи тощо). Коригування значення характеристичних показників здійснюємо введенням

коефіцієнта коригування, який враховує додаткові показники, що отримуються кількісними числовими значеннями. Цей коефіцієнт коригує рівень значущості  $\alpha_z^{r,i}$  таким чином, щоб отримане значення характеристичного показника належало проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ .

Якщо характеристичний показник за певним критерієм чи декількома критеріями може бути заданий кількісними значеннями, тоді його значення потрібно задати залежним від цих кількісних значень з подальшим відображенням його в проміжок  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ . Коефіцієнт коригування цього значення не задаємо, бо він буде збіжним з коефіцієнтом при рівні значущості  $\alpha_z^{r,i}$ .

Якщо характеристичний показник за певним критерієм чи декількома критеріями повинен формуватись з декількох різних та різнотипних показників, тоді вважатимемо їх локальними складовими частинами та здійснюватимемо визначення значення характеристичного показника рівня безпеки компонент як середньоарифметичне або середньозважене значення серед всіх значень локальних показників так, щоб це значення належало проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ . При цьому для всіх значень локальних показників визначаємо локальні рівні значущості, які визначатимуть як середньоарифметичні або середньозважені значення рівні значущості  $\alpha_z^{r,i}$ . Локальні значення характеристичних показників належатимуть проміжкам  $[1 - \alpha_z^{r,i,l}; 1]$ , де  $\alpha_z^{r,i,l}$  – локальні рівні значущості.

З метою уникнення випадків, коли для декількох різних показників в одній чи різних компонентах системи  $S$  або щодо певної конкретної функції-підмножини можуть бути однаковими середньоарифметичні значення, потрібно при визначеннях таких значень враховувати початкове формування динамічних компонентів системи з різних функцій-підмножин, які можуть бути в різних компонентах. Особливо такі випадки в частині визначення середньоарифметичного значення коефіцієнта для рівня значущості, який дорівнюватиме 0,5 і, відповідно, значення характеристичних показників розподілятимуться на проміжках  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  згідно рівномірного розподілу, можуть стосуватись дискретних величин, які потрібно задати числовими значеннями. Якщо формується вектор з характеристичних показників, які задано якісними показниками елементів однієї множини, тоді сформовані числові значення таких показників на проміжку будемо розміщувати не рівномірно через однакові інтервали, а з врахуванням певної ваги, яку визначатимемо коригуючим коефіцієнтом  $\gamma_{F,1}$ , що враховува-

тиме кількість та особливість функцій-підмножин в усіх компонентах системи. Визначимо коефіцієнт впливу кількості підмножин-функцій в усіх компонентах в залежності від того, як вони формують динамічні компоненти, так:

$$\delta_{1,F} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^{n_{F,S_i}} n_{F,S_i,j,0}}{\sum_{j=1}^{n_{F,S_i}} n_{F,S_i,j}}, \quad (3)$$

де  $n_{F,S_i}$  – кількість функцій-підмножин в  $S_i$  компоненті;  $n_{F,S_i,j}$  – показчик наявності функції-підмножини в динамічній компоненті, причому як наявної безпосередньо в компоненті так і з решти компонент;  $n_{F,S_i,j,0}$  – показчик наявності функції-підмножини в динамічній компоненті не наявної безпосередньо в компоненті, а саме з решти компонент.

Визначимо, також, коефіцієнт впливу кількості підмножин-функцій в певних конкретних  $S_i$  компонентах в залежності від того, як вони формують динамічні компоненти, так:

$$\delta_{2,F,S_i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{F,S_i}} n_{F,S_i,j,0}}{\sum_{j=1}^{n_{F,S_i}} n_{F,S_i,j}}, \quad (4)$$

де  $n_{F,S_i}$  – кількість функцій-підмножин в  $S_i$  компоненті;  $n_{F,S_i,j}$  – показчик наявності функції-підмножини в динамічній компоненті, причому як наявної безпосередньо в компоненті так і з решти компонент;  $n_{F,S_i,j,0}$  – показчик наявності функції-підмножини в динамічній компоненті не наявної безпосередньо в компоненті, а саме з решти компонент.

Визначатимемо коригуючим коефіцієнтом  $\gamma_{F,1}$ , що враховуватиме кількість та особливість функцій-підмножин в усіх компонентах системи так:

$$\gamma_{F,1} = (1 - \delta_{1,F})^d, \quad (5)$$

де  $d$  – кількість характеристичних показників у векторі.

Значення коригуючого коефіцієнту  $\gamma_{F,1}$  використовуватимемо для формування розподілу на характеристичних показників на відрізку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ .

Аналогічно, визначатимемо коригуючий коефіцієнт  $\gamma_{F,2}$ , що враховуватиме кількість та особливість функцій-підмножин в усіх компонентах системи так:

$$\gamma_{F,2} = (1 - \delta_{2,F})^d, \quad (6)$$

де  $d$  – кількість характеристичних показників у векторі.

Значення коригуючого коефіцієнту  $\gamma_{F,2}$  використовуватимемо для формування розподілу на характеристичних показників на відрізку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ .

Якщо  $\delta_{1,F}$  чи  $\delta_{2,F}$  дорівнюють нулеві, тобто всі функції-підмножини знаходяться в компонентах, то отримуємо значення коригуючих коефіцієнтів такими, що дорівнюють одиниці і, відповідно, рівномірний розподіл.

Якщо наявна кореляція певних характеристичних показників між собою, тоді потрібно встановити ступінь кореляції та виразити цю взаємну залежність аналітичним виразом. В зв'язку з таким випадком певні значення характеристичних показників можуть визначатись через аналітичні вирази певних корельованих з ним характеристичних показників.

Отримані значення характеристичних показників рівнів безпеки компонентів будуть задані аналітичними виразами.

Якщо характеристичні показники рівнів безпеки компоненти заданою множиною елементів і ці елементи впорядковані в координатах вектору та введена функція ранжування, тоді потрібно визначити найбільше і найменше значення з координат вектору, встановити крок для унормовуваних значень з проміжку найбільшого і найменшого значення з координат вектору, задати функцію відповідності унормованих значень з врахуванням одного з коригуючих коефіцієнтів  $\gamma_{F,1}$  чи  $\gamma_{F,2}$  в залежності від відношення до компонент чи компоненти в проміжок  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  та задати аналітичний вираз обчислення значень характеристичних показників рівнів безпеки компонентів в різних компонентах системи  $S$  так:

$$\beta'_{i,j} = 1 - \mu \cdot \alpha_z^{r,i}, \quad (7)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт коригування, при якому більше з двох значень вказує на менший рівень безпеки компонент;  $\mu \in [0,1]$ ;  $\alpha_z^{r,i}$  –  $i$ -тий рівень значущості;  $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $z = 1, 2, \dots, N_z$ ;  $N_z$  – кількість варіантів взаємодії функцій-підмножин;  $N_B$  – кількість характеристичних показників.

Якщо характеристичні показники за певним критерієм чи декількома критеріями задано кількісними значеннями, тоді їх значення потрібно задати аналітичним виразом залежним від цих кількісних значень з відображенням його в проміжок  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  за формулою (6). Якщо характеристичні показники за певним критерієм чи декількома критеріями спочатку можна задати з декількох різних та різнотипних локальних показників, тоді визначити значення характеристичних показників рівня безпеки компонент як середньоарифметичні або середньозважені значення серед всіх значень відповідних локальних показників так, щоб ці значення належали проміжкам  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  і локальні рівні значущості визначити, також, як середньо-

арифметичні або середньозважені значення рівні значущості  $\alpha_z^{r,i}$ , так:

$$\beta'_{i,j} = \frac{1}{N_{B,i}} \cdot \sum_{w=1}^{N_{B,i}} \rho_w \cdot \beta'_{i,j,w}. \quad (8)$$

де значення характеристичних показників рівні безпеки компонент  $\beta'_{i,j}$  належить проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $N_B$  – кількість характеристичних показників;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  – кількість компонент в системі, які встановлені в комп'ютерні станції в мережі;  $\rho_w$  – ваговий коефіцієнт для локальних значень  $\beta'_{i,j,w}$ ;  $w = 1, 2, \dots, N_{B,i}$ ;  $N_{B,i}$  – кількість локальних показників для  $i$  – того характеристичного показника;  $\sum_{w=1}^{N_{B,i}} \rho_w = N_{B,i}$ ; для всіх  $\rho_w = 1$  значення  $\beta'_{i,j}$  буде обчислене як середньоарифметичне; для всіх різних  $\rho_w$  значення  $\beta'_{i,j}$  буде обчислене як середньозважене; рівень значущості  $\alpha_z^{r,i}$  для задання проміжку визначається з врахування локальних рівнів значущості  $\alpha_z^{r,i,l,w}$ :  $\alpha_z^{r,i} = \frac{1}{N_{B,i}} \cdot \sum_{w=1}^{N_{B,i}} \rho_w \cdot \alpha_z^{r,i,l,w}$ .

Якщо наявна кореляція певних характеристичних показників між собою, тоді потрібно встановити ступінь кореляції та виразити цю взаємну залежність аналітичним виразом так:

$$\beta'_{i,j} = \sum_{u=1}^{i-1} \sigma_u \cdot \beta'_{u,j} + \sum_{u=i+1}^{N_B} \sigma_u \cdot \beta'_{u,j}, \quad (9)$$

де  $\sigma_u$  – частка від одиниці, яка виражає вагу кореляції значень  $\beta'_{u,j}$  та  $\beta'_{i,j}$ ;  $u = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $u \neq i$ .

Аналіз математичних моделей, які задано аналітичними виразами в формулах (3)-(8) за результатами проведеного експерименту з частково централізованою системою, підтверджує їх адекватність при застосуванні та коректність в граничних межах. Наприклад, в формулі (7) при відсутності чинників, які впливатимуть на безпеку процесів, що відбуваються в комп'ютерній станції в мережі, значення характеристичного показника  $\beta'_{i,j} = 1$ , тобто коефіцієнт коригування  $\mu = 0$ . А при  $\mu = 0$  значення характеристичного показника  $\beta'_{i,j} = 1 - \alpha_z^{r,i}$ , що відповідає нижній межі проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ . Аналогічно, можна показати відповідність межах проміжку  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  для решти результатів.

Отримані значення  $\beta'_{i,j}$  характеристичних показників рівнів безпеки в компонентах системи будуть використані для оцінювання результатів розподілених обчислень, отриманих з різних компонентів системи, з метою визначення ступеня довіри до них та подальшого використання центром прийняття рішень системи щодо наступних її кроків.

Функціонування частково розподілених систем згідно принципів самоорганізації та адаптивності забезпечується не тільки організацією комунікації між їх компонентами чи виконанням певних

спеціально орієнтованих завдань для виконання яких вони створені, але першочергово внутрішніми механізмами, методами та алгоритмами, які дають таким системам можливість вирішувати поставлені завдання без втручання користувача, самостійно приймати рішення щодо подальших кроків системи та адаптуватись в залежності від зміни зовнішнього середовища та внутрішніх подій.

Отримані значення характеристичних показників будуть використані центром прийняття рішень системи [2, с. 251] при визначенні її подальших кроків, але при цьому будуть поєднані разом із методом виявлення ЗПЗ в цій системі. В дану систему було імплементовано методи виявлення файлового ЗПЗ, який базовано згідно класифікації функцій прикладного програмного інтерфейсу. При виявленні ЗПЗ в одній з компонент системи і підтвердженні центром прийняття рішень, данні про нього розсилаються решті компонент.

#### Результати експериментальних досліджень.

Розглянемо визначення ступеня стійкості системи  $S$  в процесі її функціонування з врахуванням специфіки виконуваних нею завдань. Стійкість системи  $S$  будемо досліджувати в контексті її можливості продовжувати своє функціонування і виконання поставлених завдань в умовах змін в середовищі функціонування, які зумовлені внутрішніми процесами самої системи та зовнішніми процесами, що можуть бути викликані різними причинами, зокрема зловмисним програмним забезпеченням, з мінімальною зміною чи втратою її функційності. Стани системи  $S$ , в яких вона буде функціонувати за відсутності впливів на неї ззовні і впливів, які будуть пов'язані з надійністю функціонування комп'ютерних станцій в корпоративній мережі, в які встановлені компоненти системи і які впливатимуть на внутрішні процеси в ній, включаючи і встановлення надійного зв'язку між ним, віднесемо до стану рівноваги всієї системи. Решту станів системи  $S$  віднесемо до нестійкого. Серед станів рівноваги виділимо стани часткової рівноваги, до яких віднесемо ті, в яких система  $S$  активуватиме методи виявлення ЗПЗ в комп'ютерній мережі. Тоді, фактично система може бути в трьох станах, переходи між якими і стани можна задати повним графом. Стан рівноваги системи зумовлений відсутністю впливів на неї збурюючих чинників. Стан часткової рівноваги зумовлений відсутністю впливів на неї збурюючих чинників і, при цьому, активізацією підсистеми для виявлення ЗПЗ. Стійкість системи  $S$  будемо характеризувати її здатністю повертатись до стану рівноваги після завершення перебу-

вання в стані часткової рівноваги або в нестійкому стані. Систему, в якій внаслідок впливу чинників відбувається віддалення від стану рівноваги або стану часткової рівноваги і, при цьому, вона тривалий час перебуває в нестійкому стані та не може перейти до інших станів, вважатимемо нестійкою.

Розглянемо умови стійкості системи  $S$ . Для кожного початкового значення, яке буде оброблятися, система повинна формувати результат, що не буде залишати її або в стані рівноваги або в стані часткової рівноваги. Якщо є протягом певного часу система  $S$  не отримує вхідних значень, тоді вона не формує жодних рішень. Так задані умови стійкості системи збіжні із заданими умовами її функціонування в комп'ютерних мережах згідно методу організації функціонування частково розподілених систем. Тоді, такі умови будемо вважати такими, що відповідають внутрішнім принципам функціонування системи і їх дотримання та аналіз можуть бути основою для дослідження стійкості системи в частині її стабільного функціонування. Показник стабільності буде встановлено для конкретної характеристики впливу. Для системи  $S$  характерною буде динамічна стійкість, яка відображає здатність до відновлення початкового стану після впливу чинників. Система  $S$  через наявність різних станів компонентів буде мати велику кількість варіантів в компонентів, тому розглядатимемо її як нелінійну динамічну систему.

Систему  $S$  будемо розглядати як самоорганізовану дискретну систему, оскільки вона перебуватиме в станах в залежності від станів її компонент. Використаємо для дослідження стабільності системи  $S$  узагальнені характеристичні показники значень рівнів безпеки компонентів, які задано множиною  $B = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{N_B}\}$ , де  $\beta_i$  – значення рівнів безпеки компонентів системи,  $N_B$  – кількість характеристичних показників,  $i = 1, 2, \dots, N_B$ . Для кожного компонента системи  $S$  введемо підмножини  $B_j = \{\beta_{1,j}, \beta_{2,j}, \dots, \beta_{N_B,j}\}$  згідно заданої множини  $B$ , елементи якої будуть використані для обчислення значення рівня безпеки всієї системи. Значення  $\beta_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ) визначатимуть рівень довіри до результатів розподілених обчислень, які здійснені в різних компонентах системи та характеризують різні показники рівнів безпеки. Введемо для значень  $\beta_{i,j}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  – кількість компонент в системі, які встановлені в комп'ютерні станції в мережі) проміжок, в якому буде регулюватись нижня межа в залежності від параметру рівня значущості  $\alpha_z^{r,i}$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $z = 1, 2, \dots, N_z$ ;  $N_z$  – кількість варіантів взаємодії функцій-підмножин) так:  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ .

За рівень значущості приймемо частку від одиниці, яка відобразить відхилення від рівня довіри до результату розподілених обчислень внаслідок певних подій, архітектурної особливості компоненти тощо. Тоді, якщо розглянути два характеристичних показники однієї компоненти, наприклад  $\beta_{1,j}^i, \beta_{2,j}^i$  для  $j$  – ої компоненти, то результати обчислень можна відобразити на координатній площині двома точками. Якщо компонента системи функціонує стабільно, то значення точок міститимуться в прямокутнику, що задаватиметься по осі абсцис відрізком  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$  і по осі ординат відрізком  $[1 - \alpha_z^{r,2}; 1]$ .

Задамо елементи множини  $B$  координатами вектору. В результаті отримаємо простір стану з різними векторами і їх значеннями. Відобразимо отримання цих значень в структурній схемі системи  $S$  на рис. 2.

Задамо функцію  $W_{S,c}^1$  для опису блоку центру прийняття рішень системи так:

$$W_{S,c}^1 = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_B} \sum_{j=1}^N \beta_{i,j}^2}, \quad (10)$$

де  $N_B$  – кількість характеристичних показників,  $i = 1, 2, \dots, N_B$ ;  $\beta_{i,j}^i$  ( $i = 1, 2, \dots, N_B$ ) значення, які визначатимуть рівень довіри до результатів розподілених обчислень, що здійснені в різних компонентах системи та характеризують різні показники рівнів безпеки;  $j = 1, 2, \dots, N$ ;  $N$  – кількість компонент в системі, які встановлені в комп'ютерні станції в мережі.

Значення функції  $W_{S,c}^1$  буде відрізком, довжина якого не перевищуватиме значення  $\sqrt{N_B \cdot N}$ , і характеризуватиме стан системи коли увімкнені всі комп'ютерні станції та активні в них всі компоненти системи  $S$ . Нижньою межею значення функції  $W_{S,c}^1$  буде  $\sqrt{N \cdot \sum_{i=1}^{N_B} (1 - \alpha_z^{r,i})^2}$ . Геометричною інтерпретацією функції  $W_{S,c}^1$  буде точка в  $N_B \cdot N$  – просторі з кількістю координат  $N_B \cdot N$ . Тому, стабільність системи  $S$  буде залежати від значення функції  $W_{S,c}^1$ . Якщо значення буде пере-

вищуватиме значення  $\sqrt{N_B \cdot N}$ , то система перейде до стану нерівноваги і буде вилучати компоненти з своєї архітектури, в яких найбільший вплив на значення функції  $W_{S,c}^1$ . Після таких вилучень компонент, система  $S$  повернеться до стану рівноваги і пробуватиме знову поетапно додавати компоненти. Якщо значення частини компонент дорівнюватимуть нулеві через їх відсутність в системі (вимкнені комп'ютерні станції), то значення функції  $W_{S,c}^1$  обчислюється для наявних компонент  $i$ , тоді, точка задається в просторі меншого розміру, ніж  $N_B \cdot N$ . При цьому обчислене значення функції  $W_{S,c}^1$  буде знаходитись так само в тому ж проміжку. Якщо значення функції  $W_{S,c}^1$  буде менше за число  $\sqrt{N \cdot \sum_{i=1}^{N_B} (1 - \alpha_z^{r,i})^2}$ , тоді система теж перейде до стану нерівноваги, але цей стан буде викликано значеннями характеристичних показників станів безпеки компонент, при обчисленні яких було отримано значення, які не належать хоча б одному з проміжків  $[1 - \alpha_z^{r,i}; 1]$ , але яке настільки менше  $1 - \alpha_z^{r,i}$ , що вплинуло на загальний результуючий показник, тому ця або ці компоненти система вилучає зі своєї архітектури. Але може бути так, що це значення не вплине на загальний показник, хоча воно буде менше заданого значення, тоді система буде залишатись в стані рівноваги і вирішуватиме питання щодо аналізу значення з компоненти та за потреби її вилучення з архітектури системи.

Ступінь стійкості системи  $S$  в процесі її функціонування, враховуючи специфіку виконуваних завдань будемо визначати коефіцієнтом  $k_{W_{S,c}^1}$  згідно значення функції  $W_{S,c}^1$ , обчисленого за формулою (10), так:

$$k_{W_{S,c}^1} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_B} \sum_{j=1}^N \beta_{i,j}^2}}{\sqrt{N_B \cdot N}}. \quad (11)$$

Тоді, система  $S$  при значенні  $\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_B} (1 - \alpha_z^{r,i})^2}}{\sqrt{N_B}} \leq k_{W_{S,c}^1} \leq 1$ , коли значення всіх  $\alpha_z^{r,i}$  є найбільш допустимими,

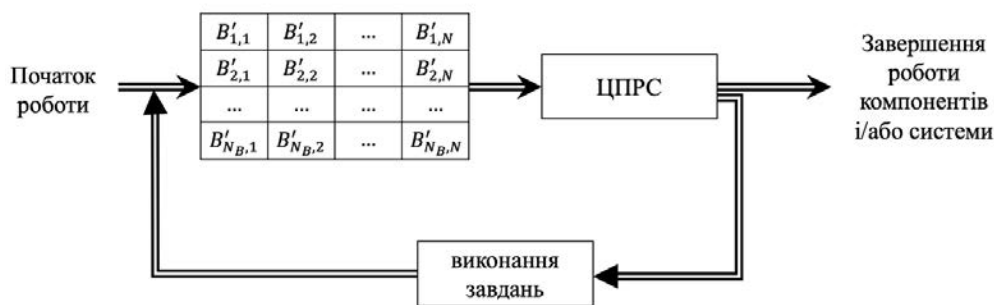


Рис. 2. Структурна схема системи  $S$  (ЦПРС – центр прийняття рішень системи)



буде перебувати в стані рівноваги і значення  $k_{W_{S,c}^1}$  з цього проміжку буде критерієм стабільності для цієї системи. Коли частина компонентів системи  $S$  не буде активна через вимкнені комп'ютерні станції, то це теж впливатиме на стабільність її роботи і, відповідно, значення коефіцієнту буде меншим, бо враховуватиме потребу в усіх компонентах системи.

Проведемо експерименти з системою  $S$  для встановлення значення коефіцієнту стійкості при різних навантаженнях на систему і при різній архітектурі системи в частині кількості її компонент. Здійснимо постановку і проведення першого експерименту. Данні, які отримані в певний момент часу функціонування системи, були зафіксовані за таких умов: архітектура системи була сформована зі всіх 100 компонентів; підсистеми, які забезпечують виявлення ЗПЗ, не активізувались в системі за відсутності таких проявів. Тобто, за таких початкових встановлено, що система повинна функціонувати стабільно. Для проведення цього експерименту рівні значущості характеристичних показників було встановлено в залежності від їх важливості так:

- 1)  $\alpha_{1,S,1} = 0,01$ ,  $\alpha_{1,S,3} = 0,01$ ,  $\alpha_{2,S_{k+1,n},2} = 0,01$ ,  $\alpha_{2,S_{k+1,n},3} = 0,01$ ,  $\alpha_{2,S_{k+1,n},4} = 0,01$ ,  $\alpha_{2,S_{k+1,n},5} = 0,01$ ,  $\alpha_{3,S_{1,n},3} = 0,01$ ; 2)  $\alpha_{1,S,2} = 0,02$ ,  $\alpha_{3,S_{1,n},2} = 0,02$ ; 3)  $\alpha_{1,S,4} = 0,05$ ,  $\alpha_{1,S,5} = 0,05$ ,  $\alpha_{2,S_{k+1,n},1} = 0,05$ ,  $\alpha_{3,S_{1,n},1} = 0,05$ ,  $\alpha_{3,S_{1,n},4} = 0,05$ ,  $\alpha_{3,S_{1,n},5} = 0,05$ .

За формулами (10) і (11) знаходимо значення функції  $W_{S,c}^1$  та значення коефіцієнта стійкості системи  $k_{W_{S,c}^1}$  і значення нижньої межі проміжку для коефіцієнту стійкості  $\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{15}(1-\alpha_i^2)}}{\sqrt{15}}$ . Отримані значення  $W_{S,c}^1 = 38.214301635550662$ ,  $k_{W_{S,c}^1} = 0.98668902547623$  і числове значення нижньої межі дорівнює 0.972848052541266 підтверджують перебування системи в стабільному стані.

Для проведення другого експерименту вимкнемо 30 комп'ютерних станцій. Отримуємо так само 15 таблиць, але в кожній з них буде мінімум тридцять нульових значень. Здійснюємо обчислення значень  $W_{S,c}^1 = 31.96599695772904$ ,  $k_{W_{S,c}^1} = 0.825358492414677$  і числового значення нижньої межі, яке дорівнює 0.813943077452799. Результати підтверджують перебування системи в стабільному стані.

Третій експеримент проведемо при вимкнених 40 комп'ютерних станцій. Надамо додатково навантаження на певні показники і отримаємо

сім числових значень більше одиниці. Проведемо обчислення значень  $W_{S,c}^1 = 29.58811566557844$ ,  $k_{W_{S,c}^1} = 0.763961861456294$  і числового значення нижньої межі, яке дорівнює 0.753564861176528.

Таким чином, стабільність системи зменшується при зменшенні кількості активних компонент, бо кількість неактивних компонент враховується при оцінюванні стану всієї системи.

В комп'ютерних мережах може перебувати різноманітне ЗПЗ. При проведенні експериментів з системою  $S$  щодо достовірності виявлення ЗПЗ як об'єкти дослідження було розглянуто worm-віруси. Для оцінювання достовірності виявлення worm-вірусів системою  $S$  та імплементованим в неї методом, як цілісного бінарного класифікатора, визначено чутливість та специфічність моделі та обчислено їх значення. Значення чутливості  $S_e = TPR = 73,5278\%$ . Значення специфічності  $S_p = 90,9274$ .

Оскільки значення специфічності є високим, то система  $S$  виявляє негативні випадки краще, ніж позитивні, бо чутливість є меншою порівняно з специфічністю.

**Висновки.** В роботі запропоновано для визначення станів компонент частково централізованої системи [2, с. 251] використовувати характеристичні показники та розроблено метод синтезу математичних моделей рівнів безпеки, який дає змогу узагальнити отримання аналітичних виразів. Такі значення характеристичних показників компонентів системи та системи в цілому дають змогу оцінити стан компонент в системі з метою визначення нею її подальших кроків. Отримана таким чином система є основою для наповнення її методами виявлення ЗПЗ в поєднанні з компонентами системи як цілісного сенсору. Для тестування системи було імплементовано в неї метод виявлення worm-вірусів та проведено експерименти. Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність запропонованого рішення і, тому, запропоновані рішення щодо синтезу математичних моделей рівнів безпеки системи згідно часткової централізації можуть бути використані при створенні засобів виявлення ЗПЗ в корпоративних мережах.

Подальші дослідження будуть спрямовані на покращення самоорганізації системи та розробки методів виявлення ЗПЗ з наступною імплементацією їх в частково централізовані розподілені системи.

#### Список літератури:

1. США ліквідували шкідливе ПЗ Snake, за допомогою якого Росія 20 років шпигувала у країнах НАТО – Politico (zn.ua). URL: <https://zn.ua/ukr/usa/ssha-likvidovali-shkidlive-prohramne-zabezpechennja-snake-za-dopomohoj-u-jakoho-rosija-20-rokiv-shpihuvala-v-krajnakh-nato.html>

2. Савенко Б.О. Розподілена частково централізована система виявлення зловмисного програмного забезпечення в комп'ютерних мережах. *Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2022* : матеріали XIV всеукр. наук.-практ. конф. (м. Хмельницький, 18-19 лист. 2022 р.). Хмельницький, 2022. С. 251-253. URL: [https://kn.khmmu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn2022\\_corpuspaper.pdf](https://kn.khmmu.edu.ua/wp-content/uploads/sites/18/apkn2022_corpuspaper.pdf)
3. Савенко Б. О. Розподілені системи виявлення зловмисного програмного забезпечення. *2022 International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE-2022)* : Conference Proceedings. (Ivano-Frankivsk, Ukraine, November 29-30, 2022) / Kuz M., Kozenko M. eds. Ivano-Frankivsk: VSPNU, 2022. Pp. 22-25. URL: <https://shorturl.at/nyIMO>
4. Security information portal Virus Bulletin, threat landscape. URL: <https://www.virusbulletin.com/>
5. The Independent IT-Security Institute. URL: <https://www.av-test.org/en/>
6. Symantec Enterprise Cloud - Broadcom Inc. URL: <https://www.broadcom.com/products/cybersecurity>
7. Symantec Product Categories. URL: <https://sep.securitycloud.symantec.com/v2/landing>
8. SNORT. Foremost Open Source Intrusion Prevention System. URL: <https://www.snort.org/>
9. van Steen M. R., Tanenbaum A. S. *Distributed Systems*. (3rd ed.). 2017. <https://www.distributed-systems.net/index.php/books/distributed-systems-3rd-edition-2017/>
10. Voulgaris S., Dobson M., and Steen M.van. Decentralized Network-level Synchronization in Mobile Ad Hoc Networks. *ACM Transactions on Sensor Networks*, Volume 12 (Issue 1), 2016, Article No. 5. Pp. 1-42. <https://doi.org/10.1145/2880223>
11. Czaja L. Distributed Systems—Objectives, Features, Applications. *Introduction to Distributed Computer Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*. Springer, Cham. 2018. Vol 27. Pp. 49-64. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72023-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72023-4_2)
12. Fischer O., Oshman R. A distributed algorithm for directed minimum-weight spanning tree. *Distrib. Comput.* 2023. Vol. 36. Pp. 57–87. <https://doi.org/10.1007/s00446-021-00398-3>
13. Pandurangan G., Robinson P., Squizzato M. A time- and message-optimal distributed algorithm for minimum spanning trees. *Proceedings of the 49th Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing (STOC)*. 2017. Pp. 743–756.
14. Götte, T., Hinnenthal, K., Scheideler, C. et al. Time-optimal construction of overlay networks. *Distrib. Comput.* 2023. Pp. 1-35. <https://doi.org/10.1007/s00446-023-00442-4>.
15. Cruciani E., Mimun H.A., Quattropani M. et al. Phase transition of the k-majority dynamics in biased communication models. *Distrib. Comput.* 2023. Vol. 36. Pp. 107-135. <https://doi.org/10.1007/s00446-023-00444-2>.
16. Awwama Emad, Kadi Mohammad, Krayem Said, Lazar Ivo, Rihawi Ahmad. Using formal methods in distributed system design. *MATEC Web Conf.* 125 02033. 2017. Vol. 125. Pp. 1-4. DOI: 10.1051/mateconf/201712502033.
17. Botta A., De Donato W., Persico V., Pescap A. Integration of Cloud Computing and Internet of Things: A Survey, *Future Generation Computer Systems*. 2016. Vol. 56. Pp. 684-700. <https://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.021>
18. Misik S., Cela A., Bradac Z. Distributed Systems - A brief review of theory and practice, *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Vol. 49. Issue 25. Pp. 318-323. ISSN 2405-8963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.057>
19. Wang W., Li D., Luo W., Kang Y., Wang L. Anthropomorphic diagnosis of runtime hidden behaviors in OpenMP multi-threaded applications, *Journal of Parallel and Distributed Computing*. 2023. Vol. 177. Pp. 17-27. ISSN 0743-7315, <https://doi.org/10.1016/j.jpdc.2023.02.012>.
20. Network Intrusion Detection System. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/network-based-intrusion-detection-system>.
21. What is a Wireless Intrusion Prevention System (WIPS)? Wi-Fi Security That's No Longer Up in the Air. URL: <https://www.justfirewalls.com/what-is-a-wireless-intrusion-prevention-system/>.
22. Hossein Ashtari. What Is Network Behavior Analysis? Definition, Importance, and Best Practices. Network behavior analysis solutions collect and analyze enterprise network data to identify unusual activity and counter security threats. URL: <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/network-behavior-analysis/>.
23. Lysenko S., Bobrovnikova K., Shchuka R., Savenko O. A Cyberattacks Detection Technique Based on Evolutionary Algorithms. *11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT)*. 2020. Vol. 1. Pp. 127-132. <http://dx.doi.org/10.1109/DESSERT50317.2020.9125016>
24. Lysenko S. Savenko O., Bobrovnikova K., Kryshchuk A., Savenko B. Information technology for detection based on their behaviour in the corporate area network. *Communications in Computer and Information Science*, ISSN: 1865–0929. 2017. Vol. 718. Pp. 166–181. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-59767-6\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-319-59767-6_14)
25. Murthy J.K. A Functional Decomposition of Virus and Worm Programs. In: Qing, S., Gollmann, D., Zhou, J. (eds) Information and Communications Security. ICICS 2003. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2003. Vol. 2836. Pp. 405-414. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-39927-8\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-540-39927-8_37)

26. Desmedt Y. Trojan Horses, Computer Viruses, and Worms. In: van Tilborg, H.C.A., Jajodia, S. (eds) *Encyclopedia of Cryptography and Security*. Springer, Boston, MA. 2011. Pp. 1319–1320. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5906-5\\_331](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-5906-5_331)
27. Sheikh A. Trojans, Backdoors, Viruses, and Worms. In: *Certified Ethical Hacker (CEH) Preparation Guide*. Apress, Berkeley, CA. 2021. 217 p. [https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7258-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4842-7258-9_5)
28. Shaojie W., Qiming L. Analysis of a Mathematical Model for Worm Virus Propagation. *Advances in Information Security and Its Application. ISA 2009. Communications in Computer and Information Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2009. Vol. 36. Pp. 78-84. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-02633-1\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-642-02633-1_10)
29. Pham VH., Dacier M., Urvoy-Keller G., En-Najjary T. The Quest for Multi-headed Worms. In: Zamboni, D. (eds) *Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment. DIMVA 2008. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2008. Vol. 5137. Pp. 247–266. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-70542-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-540-70542-0_13)
30. Ngô F.T., Agarwal A., Govindu R., MacDonald C. Malicious Software Threats. In: *The Palgrave Handbook of International Cybercrime and Cyberdeviance*. Palgrave Macmillan, Cham. 2019. Pp. 1-22. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90307-1\\_35-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90307-1_35-1)
31. Edge C., Barker W., Hunter B., Sullivan G. Malware Security: Combating Viruses, Worms, and Root Kits. In: *Enterprise Mac Security*. Apress. 2010. Pp. 213–232. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-2731-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-2731-1_8)

**Savenko B.O. METHOD OF SYNTHESIZING MATHEMATICAL MODELS OF SECURITY LEVELS FOR PARTIALLY CENTRALIZED DISTRIBUTED MALWARE DETECTION SYSTEMS**

*Attackers continue to actively develop, use and distribute malicious software. The development of methods of detection and countermeasures for use in corporate networks is a particularly relevant issue in countering malicious software. Such tools should be based on new methods and take into account the features of such architectures in the processes of countering and detecting malicious software. The purpose of the work is to develop a method of synthesizing mathematical models of security levels for new types of means of detecting malicious software in corporate networks. The developed means are self-organized distributed systems with partial centralization. Partial centralization as a property of the system is defined in such a way that in order to make a decision on the further steps of the system, the set of components that contain the decision-making center of the system will be considered as a decentralized subsystem. Management of the system will be carried out by the decision-making center, which is distributed initially in the specified components and can change its location in the remaining components during its operation. To determine the states of system components, characteristic indicators are proposed and generalized analytical expressions for their calculation are developed. These characteristic indicators set the states of the components of the distributed system. The work summarizes the formation of such characteristic indicators of system components. Characteristic indicators can be continuous and discrete values, therefore, different options for their presentation and value processing have been developed for each case. A method of synthesizing mathematical models of security levels has been developed to generalize the characteristic indicators. Such calculations make it possible to assess the state of components in the system in order to independently determine its next steps. As a result, the formed system becomes the basis for filling it with malware detection methods in combination with system components as a complete sensor. To test the system, the method of detecting worm viruses was implemented in it and experiments were conducted. The results of experimental studies confirmed the effectiveness of the proposed solution.*

*Further research will be conducted to include additional characteristic indicators of signs and implementation in the system of malware detection methods.*

**Key words:** *partial centralization, self-organization, malicious software, worm virus, distributed system.*

**Сербул О.М.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Кондратець В.О.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Дідик О.К.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Ізовіта О.Л.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ СПІВВІДНОШЕННЯ РУДА/ВОДА В КУЛЬОВОМУ МЛИНІ З ЦИРКУЛЮЮЧИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

*У статті пропонується здійснити вибір пристроїв вимірювання технологічних параметрів за похибкою вирішенням задачі оптимізації відповідно методу динамічного програмування. В кульовому млині з циркулюючим навантаженням співвідношення руда/вода визначається вологовмістом пісків класифікатора, густиною руди, об'ємною витратою води в пісковий жолоб класифікатора, масовою витратою руди і води в млин, об'ємною витратою пульпи в пісковому жолобі класифікатора. На точність ідентифікації співвідношення руда/вода впливає похибка визначення кожного з цих параметрів. Окремі з перелічених параметрів при прогнозуванні є незмінними і не впливають на процес прогнозування. Складність прогнозування полягає в тому, що виміряти об'ємну витрату пульпи у пісковому жолобі класифікатора з достатньо високою точністю не можливо. Можливо отримати найкращі результати, при одночасному врахуванні впливу на точність визначення співвідношення руда/вода усіх факторів. Для розв'язання даної задачі оптимізації найкраще підходить метод динамічного програмування, до того ж пошук оптимального рішення доцільно здійснити у три стадії, у кожній з яких обирається один з засобів. Оптимізація першої стадії зводиться до вибору засобу вимірювання витрати руди, що поступає до кульового млина. Оптимізацію другої стадії запропоновано провести стосовно вимірювання витрати води в млин. Оптимізація третьої стадії буде стосуватись вибору витратоміра пульпи у пісковому жолобі. За результатами досліджень встановлено, що завдяки оптимізації процесу прогнозування співвідношення руда/вода на вході млина за рахунок найкращого вибору існуючих інформаційних засобів за похибкою вдалося досягти при порівняно низькій точності вимірювання об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора достатньо високої точності визначення співвідношення руда/вода. Відносна максимальна похибка прогнозування даного складує 1,72 %, що не перевищує її граничного значення  $\pm 3,0$  %. Проведені дослідження відкривають перспективу удосконалення блока ідентифікації співвідношення руда/вода з високими технічними характеристиками при порівняно низькій точності вимірювання технологічних параметрів.*

**Ключові слова:** співвідношення руда/вода, точність, кульовий млин, прогнозування, ідентифікація технологічного параметра.

**Постановка проблеми.** В процесах збагачення залізної руди при її подрібненні широко використовують кульові млини, що працюють у замкненому циклі з механічним спіральним класифікатором. При цьому споживається понад 50 % загальних витрат електроенергії, призначеної для отримання кінцевої продукції – концентрату, витрачається значна кількість куль і футеровки. Найбільш ефективно кульові млини працюють за

умов підтримання певного співвідношення руда/вода в конкретних технологічних ситуаціях. На сьогодні цей параметр не підтримується на заданих рівнях через неможливість ефективного ручного регулювання та відсутність автоматичних засобів керування. Кульові млини перевитрачають електричну енергію, кулі і футеровку, що підвищує собівартість вітчизняних залізрудних концентратів та знижує їх конкурентоспроможність

на світовому ринку. Такий стан склався через відсутність технічних засобів автоматичного прогнозування співвідношення руда/вода у кульовому млині. Дана стаття присвячена розв'язанню задачі автоматичного підтримання розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням, а отже, її тема є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Розв'язанню даної задачі приділяли значну увагу як в Україні, так і закордоном. Запропоновано кілька підходів та систем керування. Значне транспортне запізнювання, низька точність та інші причини не дозволили реалізувати розроблені пристрої. У підході прогнозування [1, с. 266] та способі стабілізації співвідношення руда/вода [2] відсутні вади, притаманні розробленим пристроям. Авторами даної статті виконано обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням [3, с. 46], здійснено підвищення точності стохастичної системи автоматичного керування розрідженням пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів [4, с. 78]. Встановлено, що на результат прогнозування розрідження пульпи у кульовому млині впливає точність вимірювання технологічних параметрів, серед яких об'ємну витрату пульпи у пісковому жолобі не можливо визначити з достатньо високою точністю. В роботі [5, с. 25] показано, що найкращі результати при прогнозуванні співвідношення руда/вода можливо отримати шляхом оптимізації точнісних характеристик за параметрами, які входять до складу математичної моделі прогнозування [1, с. 266]. Однак розв'язання задачі досягнення необхідної точності прогнозування співвідношення руда/вода оптимальним підбором точнісних характеристик вимірювальних засобів все ще потребує удосконалення.

**Метою статті є** пошук найкращого поєднання точності пристроїв вимірювання параметрів технологічного процесу для забезпечення допустимої похибки прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині, що подрібнює вихідну руду з пісками механічного спірального класифікатора.

**Виклад основного матеріалу.** Прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням визначається вологовмістом пісків класифікатора  $K_w$ , густиною руди  $\delta_p$ , об'ємною витратою води в пісковий жолоб класифікатора QVBG, масовою витратою руди  $Q_p$  і води  $Q_{em}$  в млин, об'ємною витратою пульпи в пісковому жолобі класифікатора  $Q_{Vp}$ . На точність ідентифі-

кації співвідношення руда/вода впливає похибка визначення кожного з цих параметрів. Параметри  $K_w$ ,  $\delta_p$ , QVBG при прогнозуванні є незмінними і практично не впливають на процес прогнозування. Тому результат в основному буде визначатись змінними  $Q_p$ ,  $Q_{em}$  і  $Q_{Vp}$ . Складність прогнозування полягає в тому, що виміряти об'ємну витрату пульпи у пісковому жолобі класифікатора з достатньо високою точністю не можливо. Найкращі результати можливо отримати, при одночасному врахуванні впливу на точність визначення співвідношення руда/вода усіх факторів. Для розв'язання даної задачі оптимізації найкраще підходить метод динамічного програмування.

Оскільки в процесах збагачення похибка інформаційних засобів може бути прийнятою на рівні  $\pm 3,0\%$ , критерій оптимальності встановимо на рівні  $J = \delta_{K(p/e)}, \% \leq 3,0\%$ , де  $\delta_{K(p/e)}$  – відносна похибка прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині. Подамо критерій оптимальності у вигляді аналітичного виразу. За базове значення співвідношення руда/вода  $K'_{(p/e)}$  приймемо значення, що знайдене за виразом математичної моделі прогнозування при усіх параметрах, які визначені без похибок, тобто

$$K_{(p/e)} = \frac{A_e \cdot (Q_{Vps} - Q_{VBGs}) + Q_{ps}}{Q_{ems} + Q_{Gs} + K_{Ws} [A_e \cdot (Q_{Vps} - Q_{VBGs})]}, \quad (1)$$

де  $A_e = \delta_p \delta_e / (\delta_p + k_w \delta_p)$  – сталий коефіцієнт для певної руди;  
 $\delta_e$  – густина води.

Індекс "в" у позначенні K(p/в) означає величину, знайдену без похибки.

При вимірюванні будь-якого з вхідних параметрів будемо вносити похибку. Виміряні з похибкою параметри позначимо  $Q'_p$ ,  $Q'_{em}$ ,  $Q'_{Vp}$ . При врахуванні параметра, знайденого з похибкою, будемо мати похибку у визначенні співвідношення руда/вода. Позначимо ці параметри стану відповідно через  $K_{(p/e)p}$ ,  $K_{(p/e)em}$ ,  $K_{(p/e)Vp}$ . З врахуванням введених позначень вирази для певних параметрів стану приймуть наступний вигляд

$$K_{(p/e)p} = \frac{A_e \cdot (Q_{Vps} - Q_{VBGs}) + Q'_p}{Q_{ems} + Q_{Gs} + K_{Ws} [A_e \cdot (Q_{Vps} - Q_{VBGs})]}, \quad (2)$$

$$K_{(p/e)em} = \frac{A_e \cdot (Q_{Vps} - Q_{VBGs}) + Q_{ps}}{Q'_{ems} + Q_{Gs} + K_{Ws} [A_e \cdot (Q_{Vps} - Q_{VBGs})]}, \quad (3)$$

$$K_{(p/e)Vp} = \frac{A_e \cdot (Q'_{Vp} - Q_{VBGs}) + Q_{ps}}{Q_{ems} + Q_{Gs} + K_{Ws} [A_e \cdot (Q'_{Vp} - Q_{VBGs})]}. \quad (4)$$

Абсолютна похибка визначення співвідношення руда/вода буде дорівнювати

$$\Delta K_{p/\sigma} = [K_{(p/\sigma)\sigma} - K_{(p/\sigma)p}] + [K_{(p/\sigma)\sigma} - K_{(p/\sigma)ам}] + [K_{(p/\sigma)\sigma} - K_{(p/\sigma)vp}], \quad (5)$$

або

$$\Delta K_{p/\sigma} = 3K_{(p/\sigma)\sigma} - \sum_{i=1}^3 K_{(p/\sigma)i}. \quad (6)$$

Відносні похибки визначення співвідношення руда/вода будуть дорівнювати

$$\delta K_{(p/\sigma)p} = \frac{\Delta K_{(p/\sigma)\sigma} - \Delta K_{(p/\sigma)p}}{\Delta K_{(p/\sigma)\sigma}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

$$\delta K_{(p/\sigma)ам} = \frac{\Delta K_{(p/\sigma)\sigma} - \Delta K_{(p/\sigma)ам}}{\Delta K_{(p/\sigma)\sigma}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

$$\delta K_{(p/\sigma)vp} = \frac{\Delta K_{(p/\sigma)\sigma} - \Delta K_{(p/\sigma)vp}}{\Delta K_{(p/\sigma)\sigma}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Відносна похибка визначення співвідношення руда/вода буде мати наступний вигляд

$$\delta K_{(p/\sigma)\sigma} = \frac{100}{K_{(p/\sigma)\sigma}} \sqrt{[K_{(p/\sigma)\sigma} - K_{(p/\sigma)p}]^2 + [K_{(p/\sigma)\sigma} - K_{(p/\sigma)ам}]^2 + [K_{(p/\sigma)\sigma} - K_{(p/\sigma)vp}]^2}. \quad (10)$$

У виразах (5)...(10) параметри з похибкою відповідно дорівнюють

$$Q'_p = Q_p \pm \frac{Q_p \cdot \Delta Q_p}{100}, \quad (11)$$

$$Q'_{ам} = Q_{ам} \pm \frac{Q_{ам} \cdot \Delta Q_{ам}}{100}, \quad (12)$$

$$Q'_{vp} = Q_{vp} \pm \frac{Q_{vp} \cdot \Delta Q_{vp}}{100}. \quad (13)$$

Оскільки рівняння (10) враховує окремі складові похибки прогнозування, то процеси можливо розглядати як незалежні три стадії оптимізації, в яких отримують окремі результати в чисельному значенні. Загальний критерій оптимальності буде дорівнювати сумі відповідних показників у кожній стадії, знайдених за виразом (10).

Здійснимо оптимізацію процесу постадійно. Повна математична модель об'єкта оптимізації описується наступним рівнянням

$$K_{p/\sigma} = \frac{\delta_p \cdot [(Q_{vp} - Q_{vBG}) + Q_p] / (1 + K_w \delta_p / \delta_\sigma)}{Q_{ам} + Q_{ог} + K_w \delta_p (Q_{vp} - Q_{vBG}) / (1 + K_w \delta_p / \delta_\sigma)}, \quad (14)$$

у якому існують наступні зв'язки між параметрами

$$K_{(p/\sigma)z} = const, \quad (15)$$

$$Q_{vBG} = const, \quad (16)$$

$$Q_{cn} = (100 \div 300)\% \cdot Q_p, \quad (17)$$

$$Q_{vp} = Q_{vBG} + \frac{Q_{cn}}{\delta_T} + K_w \frac{Q_{cn}}{\delta_\sigma}, \quad (18)$$

$$\gamma = \delta_\sigma \delta_p \cdot \frac{K_{(p/\sigma)z} + 1}{\delta_p + K_{(p/\sigma)z} \cdot \delta_\sigma}, \quad (19)$$

$$Q_{мем} = \frac{(\delta_p - \gamma)}{(\gamma - \delta_\sigma)} \cdot \frac{\delta_\sigma}{\delta_p} (Q_p + Q_{cn}), \quad (20)$$

$$Q_{\sigma\Sigma} = \frac{Q_{мем}}{\delta_\sigma}, \quad (21)$$

$$Q_{ам} = Q_{\sigma\Sigma} - Q_{vBG} - K_w \cdot \frac{Q_{cn}}{\delta_\sigma}, \quad (22)$$

де  $K_{(p/\sigma)z}$  – задане значення співвідношення руда/вода;  $Q_{\sigma\Sigma}$  – сумарна об'ємна витрата води, що поступає до кульового млина;  $Q_{мем}$  – сумарна масова витрата води, що поступає до кульового млина;  $Q_{cn}$  – масова витрата пісків класифікатора;  $\gamma$  – густина пульпи.

Дані рівняння описують блок прогнозування співвідношення руда/вода стосовно усіх його параметрів, об'єднаних залежністю (14). При зміні витрати руди  $Q_p$  автоматично приймають певні значення  $Q_{vp}$  і  $Q_{ам}$ . Рівняння (15)...(22) дозволяють відшукувати  $Q_{vp}$  і  $Q_{ам}$ , які встановлюються в циклі подрібнення руди.

Оптимізація першої стадії зводиться до вибору засобу вимірювання витрати руди, що поступає до кульового млина. Її можливо здійснити з врахуванням конкретного режиму роботи циклу подрібнення вихідної руди. Найбільш імовірним чи типовим можливо рахувати режим роботи при наступних значеннях параметрів:  $Q_p = 240$  т/год;  $K_{(p/\sigma)z} = 4,3$ ;  $K_w = 0,12$ ;  $\delta_p = 3,3$  т/м<sup>3</sup>;  $\delta_\sigma = 1,0$  т/м<sup>3</sup>;  $Q_{vBG} = 24,3$  т/год;  $Q_{cn} = 125\% Q_p$ . При прийнятих значеннях параметрів визначимо  $K_{(p/\sigma)p}$ . Раніше визначимо  $Q_{vpe} = 151,21$  м<sup>3</sup>/год, об'ємна витрата води у кульовий млин  $Q_{vp} = 65,28$  м<sup>3</sup>/год. Дані розрахунків заносимо до табл. 1.

З даних табл. 1 слідує, що при збільшенні похибки вимірювання витрати руди в кульовий млин виникає похибка у визначенні співвідношення руда/вода, але вона менша за величиною похибки вимірювання. Базова величина тут буде при похибці вимірювання, що дорівнює нулю (табл. 1). Найкращі результати будуть отримані при максимально зменшеній похибці вимірювання. Конвеєрні ваги можуть забезпечити похибку вимірювання витрати руди на рівні одного відсотка. Тому прийемо для вимірювання витрати руди конвеєрні ваги класу  $\pm 1,0$ . При цьому критерій оптимальності в першій стадії оптимізації складе  $\Delta K_{p/\sigma} = 0,02$ .

Оптимізацію другої стадії проведемо стосовно вимірювання витрати води в кульовий млин. Дані розрахунків наведемо в табл. 2.

З даних табл. 2 видно, що при зростанні похибки вимірювання витрати води похибка визначення співвідношення руда/вода також зростає. У даному випадку, як і для визначення витрати руди, зміна  $K_{p/\sigma}$  відбувається у меншій

Таблиця 1

**Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині  
при зміні похибки вимірювання витрати руди  $Q_p = 240$  т/год**

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, т/год	0	±1,2	±2,4	±3,6	±4,8	±6,0	±7,2	±8,4	±9,6	±10,8	±12,0
Найменше значення витрати $Q_{p\ min}$ , т/год	240	238,8	237,6	236,4	235,2	234,0	232,8	231,6	230,4	229,2	228,0
Найбільше значення витрати $Q_{p\ max}$ , т/год	240	241,2	242,4	243,6	244,8	246,0	247,2	248,4	249,6	250,8	252,0
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{p\ min}$	4,3	4,291	4,281	4,271	4,262	4,252	4,243	4,233	4,224	4,214	4,204
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{p\ max}$	4,3	4,31	4,319	4,329	4,338	4,348	4,357	4,367	4,377	4,386	4,396
Абс. відхилення $K_{p/e}$	0	0,01	0,02	0,03	0,038	0,048	0,057	0,067	0,077	0,086	0,096

Таблиця 2

**Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині  
при зміні похибки вимірювання витрати води при  $Q_p = 240$  т/год**

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, м <sup>3</sup> /год	0	±0,3264	±0,6528	±0,9792	±1,3056	±1,632	±1,9584	±2,2848	±2,6112	±2,9376	±3,264
Найменше значення витрати $Q_{вм\ min}$ , м <sup>3</sup> /год	65,28	64,954	64,672	64,301	63,974	63,648	63,322	62,995	62,669	62,342	62,013
Найбільше значення витрати $Q_{вм\ max}$ , м <sup>3</sup> /год	65,28	65,606	65,933	66,259	66,586	66,912	67,238	67,565	67,891	68,218	68,544
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{вм\ min}$	4,3	4,311	4,321	4,334	4,345	4,357	4,368	4,38	4,391	4,403	4,415
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{вм\ max}$	4,3	4,289	4,278	4,267	4,256	4,245	4,234	4,223	4,212	4,202	4,191
Абс. відхилення $K_{p/e}$	0	0,011	0,021	0,034	0,045	0,057	0,068	0,08	0,091	0,103	0,115

Таблиця 3

**Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання  
витрати пульпи у піщовому жолобі класифікатора при  $Q_p = 240$  т/год**

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, м <sup>3</sup> /год	0	±0,7561	±1,5121	±2,2682	±3,0242	±3,7803	±4,5363	±5,2924	±6,0484	±6,8045	±7,5605
Найменше значення витрати $Q_{vp\ min}$ , м <sup>3</sup> /год	151,21	150,454	149,698	148,942	148,186	147,43	146,674	145,918	145,162	144,406	143,65
Найбільше значення витрати $Q_{vp\ max}$ , м <sup>3</sup> /год	151,21	151,966	152,722	153,478	154,234	154,99	155,746	156,502	157,258	158,015	158,771
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{vp\ min}$	4,3	4,293	4,286	4,279	4,272	4,265	4,258	4,251	4,244	4,237	4,23
Значення $K_{p/e}$ для $Q_{vp\ max}$	4,3	4,307	4,314	4,321	4,327	4,334	4,341	4,348	4,354	4,361	4,368
Абс. відхилення $K_{p/e}$	0	0,007	0,014	0,021	0,027	0,034	0,041	0,048	0,054	0,061	0,068

мірі порівняно з похибкою вимірювання витрати води. Зміна критерію оптимальності на другій стадії відбувається на  $\Delta_{K_{p/e}} = 0,021$  для витратоміра з похибкою вимірювання  $\pm 1,0\%$ .

Оптимізація третьої стадії буде стосуватись вибору витратоміра пульпи у пісковому жолобі. Виконаємо також розрахунки при зміні витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора. Дані розрахунків занесемо до табл. 3.

Аналіз даних табл. 3 показує, що у цьому випадку спостерігаються аналогічні встановленим раніше тенденції зміни величини. Різниця полягає лише в тому, що відсутні точні засоби вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі. Витратомір пульпи у пісковому жолобі забезпечує похибку вимірювання, яка не нижче  $\pm 3,0\%$ . В зв'язку з цим на даній стадії оптимізації критерій оптимальності збільшується на саму значну величину, яка становить  $\Delta_{K_{p/e}} = 0,041\dots 0,068$ . Сумарне значення критерію оптимальності складає ще більшу величину. Відносна максимальна

помилка визначення співвідношення руда/вода дорівнює 0,0739, або 1,72 % порівняно з базовою величиною, що не перевищує його граничне значення  $\pm 3,0\%$ .

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Таким чином, завдяки оптимізації процесу прогнозування співвідношення руда/вода на вході кульового млина за рахунок найкращого вибору за похибкою існуючих інформаційних засобів вдалося досягти при порівняно низькій точності вимірювання об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора достатньо високої точності визначення  $K_{p/e}$ . Відносна максимальна похибка прогнозування співвідношення руда/вода складає 1,72 %, що не перевищує її граничного значення  $\pm 3,0\%$ . Проведені дослідження розширюють перспективу удосконалення блока прогнозування співвідношення руда/вода з високими технічними характеристиками при порівняно низькій точності вимірювання технологічних параметрів.

#### Список літератури:

1. Кондратець В.О., Сербул О.М. Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. 2006. Вип. 17. С. 265–272.
2. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням: пат. 59644 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00, В 02 с 25/00. № 2002118758; заявл. 15.11.02; опубл. 15.04.05, Бюл. № 4. 7 с.
3. Кондратець В.О., Сербул О.М. Обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням. *Вісник Криворізького нац. ун-ту: зб. наук. праць*. 2013. Вип. 34. С. 45–50.
4. Кондратець В.О., Сербул О.М. Підвищення точності стохастичної САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. 2010. Вип. 23. С. 78–84.
5. Сербул О.М., Кондратець В.О. Обґрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ*. 2009. Вип. 22. С. 24–28.

#### **Serbul O.M., Kondratets V.O., Didyk O.K., Izovita O.L. OPTIMIZATION OF FORECASTING ACCURACY RATIO ORE/WATER IN A BALL MILL WITH A CIRCULATING LOAD**

*In the article, it is proposed to carry out the selection of devices for measuring technological parameters according to the error by solving the optimization problem according to the method of dynamic programming. In a ball mill with a circulating load, the ore/water ratio is determined by the moisture content of the classifier sands, the density of the ore, the volume flow of water into the sand chute of the classifier, the mass flow of ore and water into the mill, and the volume flow of pulp in the sand chute of the classifier. The accuracy of the identification of the ore/water ratio is affected by the error in determining each of these parameters. Some of the listed parameters during forecasting are unchanged and do not affect the forecasting process. The difficulty of forecasting is that it is not possible to measure the volume flow rate of the pulp in the sand chute of the classifier with sufficiently high accuracy. It is possible to obtain the best results, while taking into account the influence of all factors on the accuracy of determining the ore/water ratio. To solve this optimization problem, the dynamic programming method is best suited, besides, it is advisable to search for the optimal solution in three stages, in each of which one of the means is chosen. The optimization of the first stage is reduced to the choice of a means of measuring the flow of ore entering the ball mill. The optimization of the second stage is proposed to be carried out in relation to the measurement of water flow into the mill. The optimization of the third stage will concern the selection of the pulp flowmeter in the sand chute. According to the research results, it was established that due to the optimization of the process of forecasting the ore/water ratio at the mill entrance due to the best selection of existing information tools, it was possible to achieve, with a relatively low accuracy of measuring the volume flow rate of the pulp in the sand chute of the classifier, sufficiently high accuracy of determining the ore/water ratio. The relative maximum error of forecasting this data is 1.72%, which does not exceed its limit value of  $\pm 3.0\%$ . The conducted studies open the prospect of improving the unit for identifying the ore/water ratio with high technical characteristics at a relatively low accuracy of measuring technological parameters.*

**Key words:** ore/water ratio, accuracy, ball mill, forecasting, technological parameter identification.



УДК 004.77

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.3.1/36>

**Скрипка К.І.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Омецинська Н.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Лісовець С.М.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Юсипів Т.В.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## ВІДДАЛЕНИЙ МОНІТОРИНГ ТА КЕРУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИМ СТАНОМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

*Сучасні системи моніторингу та керування параметрами навколишнього середовища усе частіше замість кабельних мережевих з'єднань використовують бездротові мережі та технології інтернету речей.*

*Бездротова сенсорна мережа або бездротова датчикова мережа – розподілена мережа, яка складається з безлічі датчиків і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу для моніторингу фізичних процесів. Бездротова сенсорна мережа зазвичай складається з великої кількості дешевих енергоефективних бездротових модулів, датчиків і виконавчих пристроїв, також часто виділяють сервер для збору та обробки інформації (може бути не один). Такі сервери, зазвичай, виконують функції шлюзів у меш-топологіях бездротових мереж.*

*Вузли сенсорної мережі розташовані на невеликій відстані один від одного і обмінюються інформацією за допомогою радіоканалу, передаючи необхідну інформацію, таку як показники датчиків (температура, вологість і т.д.) і сигнали виконавчим механізмам. Основна ідея сенсорних бездротових мереж полягає в тому, що, в той час як можливості одного вузла обмежені, загальна потужність всієї мережі достатня для виконання поставлених завдань.*

*Це зумовлено тим, що, окрім зменшення витрат на будівництво початкової мережі, бездротові сенсорні мережі дозволяють оперативно змінювати топологію мережі відповідно до вирішення необхідних задач, автоматично підключати додаткові вузли без втрати загальної працездатності мережі.*

*Хоча сенсорні бездротові мережі мають деякі подібності з іншими розподіленими системами, у них також є різноманіття власних проблем і обмежень, що виникають при розробці мережі. Ці обмеження впливають на дизайн сенсорних бездротових мереж, приводячи до використання протоколів і алгоритмів, що відрізняються від інших розподілених систем.*

*Використання бездротових сенсорних мереж разом з кабельними дозволяє розвивати топологію мережі без її перепланування і переробки.*

**Ключові слова:** моніторинг навколишнього середовища, бездротові сенсорні мережі, інтернет речей (IoT), датчик, керуючий модуль, сервер збору і аналізу інформації.

**Постановка проблеми.** Дослідження можливостей використання бездротових сенсорних мереж для віддаленого моніторингу та керування параметрами навколишнього середовища у теперішній час є вкрай актуальним питанням, особливо після перемоги у війні проти росії. Бездротова сенсорна мережа або бездротова датчикова мережа – розподілена мережа безлічі датчиків

і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу для моніторингу фізичних процесів. Бездротова сенсорна мережа зазвичай складається з великої кількості дешевих енергоефективних бездротових модулів, датчиків і виконавчих пристроїв, також часто виділяють сервер для збору та обробки інформації. Вузли сенсорної мережі розташовані на невеликій відстані один від

одного і спілкуються за допомогою радіоканалу, передаючи необхідну інформацію, таку як показники датчиків (температура, вологість і т.д.) і сигнали виконавчим механізмам. Основна ідея сенсорних бездротових мереж в тому, що, в той час як можливості одного вузла обмежені, загальна потужність всієї мережі достатня для виконання поставлених завдань [1].

Зазвичай сенсорні мережі будуються без явного завдання топології мережі, одного разу встановлена мережа, повинна самоорганізуватися і додавання нових вузлів повинно відбуватися автоматично.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Термін Інтернет речей (Internet of Things – IoT) вперше був придуманий британським підприємцем Кевіном Ештоном ще в 1999 році. Цим терміном він описав поняття міжнародної мережі RFID пристроїв. Сьогодні IoT знаходить застосування в різних сферах нашого життя – в проектах безпечних міст і інтелектуальних будівель. Що все це означає для ринку безпеки?

Для початку варто відзначити, що фізична безпека у великій мірі залежить від стану екології навколишнього середовища і нерозривно пов'язана з IoT. Це стає особливо очевидно, якщо звернути увагу на те, що галузь безпеки масово переходить до IP технологій, які дозволяють інтегрувати пристрої в Інтернет-середовище. Відеоспостереження, мобільні пристрої, системи контролю доступу, охоронні системи, датчики моніторингу стану навколишнього середовища – все це обладнання, яким ми оточені в нашому повсякденному житті, може бути пов'язано між собою за допомогою інтернету.

Інтеграція різних пристроїв для роботи в мережі Інтернет надає багато переваг. Вони включають в себе підвищену безпеку, кращі інтелектуальні можливості і зручність для користувачів.

З відеокамерою спостереження яка тільки здійснює відеоспостереження ваші можливості обмежені, тому що ви не можете поговорити з людьми. Але якщо ви додасте інтегрований динамік, ви можете поспілкуватися з людиною, – наприклад, якщо він підозріло себе веде. Ви можете зробити це через єдину систему, яка управляє відео і вам не доведеться перемикатися між різними системами або інтерфейсами. Недавнє дослідження говорить, що 74 відсотків людей, які знають, що за ними спостерігають, припиняють свої протиправні дії.

IoT надає набагато більше, ніж тільки захист безпеки життя і моніторинг комфортних умов існування. Отримані за допомогою пристроїв

систем безпеки та інших датчиків дані можна використовуватися також для цілей аналітики. Наприклад, відеокамери спостереження встановлені в магазинах і супермаркетах, тепер можуть не тільки запобігати крадіжкам, а й брати участь у вивченні споживчої поведінки. Це дозволяє власникам бізнесу в сфері роздрібної торгівлі приймати більш зважені маркетингові рішення.

Все частіше аналіз даних виконується в хмарі. В цьому випадку ви можете використовувати централізоване рішення з практично нескінченними можливостями хмарних обчислень.

Інтеграція між системами контролю доступу і системами управління будівлею підвищує зручність його жителів. В даний час технологія може контролювати температуру і освітлення в будинках або офісних будівлях. Ви можете налаштувати свою домашню систему автоматизації таким чином, щоб коли ви заходите до будинку – світло автоматично вмикалося, а коли йдете – автоматично вимикалося [2].

Технологія IoT, в цілому, орієнтована на забезпечення взаємодії різних підключених до мережі пристроїв для надання користувачам додаткових переваг.

На закінчення хочемо відзначити, що гравці на ринку безпеки і комфорту людини роблять великі зусилля щоб не відставати за тенденціями IoT, роблячи свою продукцію різноманітною, інтегративною та інтуїтивно зрозумілою. Існують прогнози, що до 2025 року буде використовуватися не менше, ніж 50 мільярдів підключених пристроїв. IoT – це наше майбутнє, і гравці на ринку безпеки існування людини, які не визнають цю тенденцію, можуть багато втратити.

**Постановка завдання.** Метою дослідження, результати якого обговорюються в статті, є показати як за допомогою бездротових сенсорних мереж можна побудувати сучасну розгалужену систему моніторингу та керування параметрами навколишнього середовища.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Бездротові сенсорні мережі відрізняються від інших мереж і систем. Вони мають безліч власних проблем і обмежень, серед яких є багато помітних при проектуванні конкретного типу бездротової сенсорної мережі. Наприклад, вузли можуть бути розміщені на рухомих об'єктах, таких як автомобілі або роботи, що призводить до постійного змінювання топології мережі, до чого бездротова сенсорна мережа повинна адаптуватися, а це включає маршрутизацію, управління доступом до середовища (MAC), тому що змінюється

щільність вузлів і збір даних, змінюється покриття регіонів, частина з них може перекривати один одного, частина може бути покрита недостатньо. Також деякі типи бездротових сенсорних мереж мають вимоги до продуктивності і якості, це може бути, наприклад, низька затримка при передачі інформації.

Сімейство стандартів IEEE 802.11 було представлено в 1997 і зараз є найбільш поширеним для бездротових мереж в мобільних системах. Можуть використовуватися різні діапазони частот, наприклад 2.4ГГц використовується в IEEE 802.11b, протокол IEEE 802.11a використовує частоту 5ГГц.

IEEE 802.11 часто використовувався в ранніх бездротових сенсорних мережах і його все ще можна зустріти там, де пред'являються високі вимоги до пропускну здатності. Проте високе споживання електроенергії мережами на основі IEEE 802.11, робить цей стандарт не придатним для тих мереж, де важлива енергоефективність. Зазвичай необхідну швидкість передачі даних в сенсорних мережах можна порівняти з наданою dial-up модемом, отже швидкість передачі даних, що надається IEEE 802.11 зазвичай надлишкова.

Це призводить нас до безлічі протоколів, які краще задовольняють вимогам таких мереж, а саме низьке енергоспоживання і низька пропускну здатність. Наприклад, протокол IEEE 802.15.4 був розроблений спеціально для взаємодії малопотужних сенсорних мереж на коротких відстанях і багато сенсорних бездротових мереж реалізовані на основі даної технології.

Також для реалізації сенсорних бездротових мереж використовується ZigBee – специфікація протоколів верхнього рівня, в основі яких лежить IEEE 802.15.4, особливістю ZigBee є те, що ця технологія підтримує не тільки прості топології «точка-точка», «дерево», «зірка», але і меш-топологію, яка самоорганізується. На основі стандарту IEEE 802.15.4 також засновані такі технології, як WirelessHART, MiWi, Open-Source проект OpenWSN, серед менш поширених реалізацій сенсорних бездротових мереж реалізації на основі Bluetooth, WiMAX та інші.

Коли потужність передачі всіх модулів сенсорних вузлів досить велика і сенсори можуть передавати дані безпосередньо до базової станції, вони формуються по топології «зірка», як показано на рисунку 1 [3].

У даній топології кожен сенсор взаємодіє безпосередньо з базовою станцією. Однак, сенсорні мережі часто покривають великі території

і потужність передавача повинна бути зменшена до мінімуму, щоб зберегти енергію. Як наслідок, передача даних через кілька вузлів – більш поширена ситуація для сенсорних мереж, як показано на рисунку 2. У такій меш-топології, вузол сенсорної мережі повинен не тільки отримувати і передавати свої дані, але і грати роль шлюзу для зв'язку інших вузлів з базовою станцією. Як можна помітити, це породжує одну з найважливіших проблем – проблему маршрутизації в сенсорних бездротових мережах, над якою працюють багато дослідників з усього світу.



Рис. 1. Топологія «зірка»



Рис. 2. Меш-топологія

Той факт, що в основі більшості бездротових сенсорних мереж лежать радіохвилі, створює окремі обмеження і завдання для розробників. Наприклад, радіосигнал згасає у міру поширення через середу.

Відношення між переданою і отриманою енергією може бути виражено за допомогою закону зворотних квадратів:

$$P_{np} \propto \frac{P_{nep}}{d^2}$$

Що означає, що енергія прийнятого сигналу обернено пропорційна квадрату відстані до джерела сигналу. Тобто, якщо  $P_x^{np}$  – енергія на відстані  $x$ , збільшення відстані до  $y = 2x$  зменшує енергію сигналу до  $P_y^{np} = P_x^{np} / 4$  [4].

Як наслідок, збільшення відстані між сенсором і базовою станцією стрімко збільшує необхідну для передачі енергію. Отже, більш ефективно

розділити велику відстань на кілька коротких, прийшовши до проблеми підтримки передачі пакетів через транзитні вузли. Така передача вимагає, щоб вузли в мережі «спілкувалися» один з одним для визначення найбільш оптимальних маршрутів, а також виступали в якості проміжних вузлів, передаючи дані від вузлів до базової станції. Також ці обмеження актуальні в тих мережах, де вузли економлять енергію за допомогою переказу бездротових передавачів в режим сну на деякий час, протягом якого неможлива передача повідомлень від сусідніх вузлів. З цієї причини в основі деяких мереж лежить стратегія «прокинутися на вимогу». Зазвичай для цього використовуються пристрої з двома передавачами: передавач з низьким споживанням використовується для приймання сигналів на «пробудження», а передавач з більш високим – для безпосередньо передачі даних. Інша стратегія полягає в тому, що вузли мережі не йдуть в «режим сну» всі одночасно, натомість частка вузлів залишається активною для передачі (рис. 2) [5, 6].

Головним елементом вузла сенсорної бездротової мережі, що впливає на такі характеристики, як дальність та енергоспоживання, є бездротовий модуль. Бездротові модулі бувають у вигляді окремих мікросхем, або на одному чіпі з мікроконтролером (так звана система на чіпі (SoC)). Як бездротові модулі розглядалися nRF24L01, ESP8266, ESP32, XBee і XBee Pro.

Зазвичай, сенсорна бездротова мережа може працювати в двох режимах, : mesh (рис. 3) і «зірка» (рис. 4). І влаштована таким чином: вузли сенсорної мережі періодично опитують датчики і переводять показники в цифровий вид, наприклад, якщо це датчик температури, то в цифрове представлення температури за Цельсієм, потім в залежності від режиму, вони передають ці дані іншому вузлу (в режимі mesh), а кореневий вузол через роутер відправляє на сервер(а), або відразу на сервер(а) через роутер (в режимі «зірка»), де дані зберігаються в базі даних для подальшого надання користувачеві, а також аналізу і при необхідності повідомлення персоналу.

Також можливий зворотний процес, коли сервер відправляє дані вузлів сенсорної мережі для активації механізмів, наприклад включення системи підвищення/пониження температури.

Вузол сенсорної мережі складається з мікроконтролера, бездротового модуля, датчика, акумулятора і мікросхем заряду і підвищення напруги з 3.3В до 5В. Мікроконтролер і бездротовий модуль об'єднані в одному пристрої – ESP32. Дані з датчика зчитуються мікроконтролером і відправ-

ляються на сервер за допомогою бездротового модуля. Завдяки наявності акумулятора, вузол сенсорної мережі може працювати в автономному режимі до 10 годин при використанні mesh топології і до декількох місяців при використанні топології «зірка» та режиму «глибокий сон» [7].

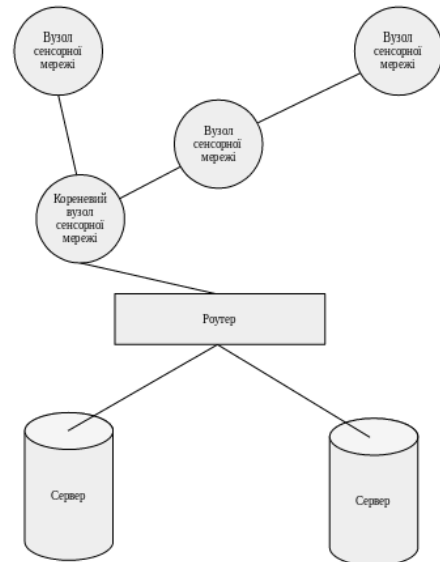


Рис. 3. Загальна схема сенсорної мережі в режимі «mesh»

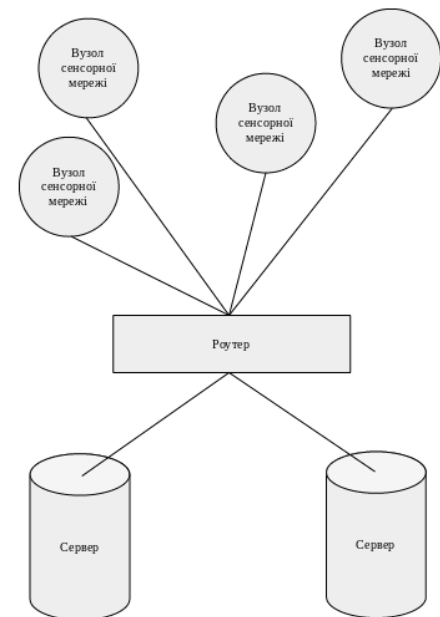


Рис. 4. Загальна схема сенсорної мережі в режимі «зірка»

Вузол сенсорної бездротової мережі підтримує практично будь-які датчики, наприклад:

- Датчик температури;
- Датчик вологості;
- Датчик рівня метану;
- Датчик вібрації;

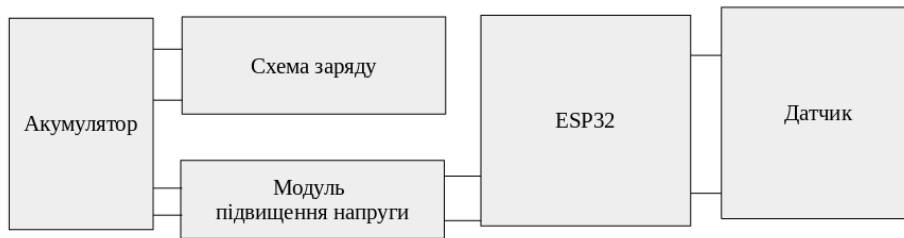


Рис. 5. Схема вузла сенсорної мережі

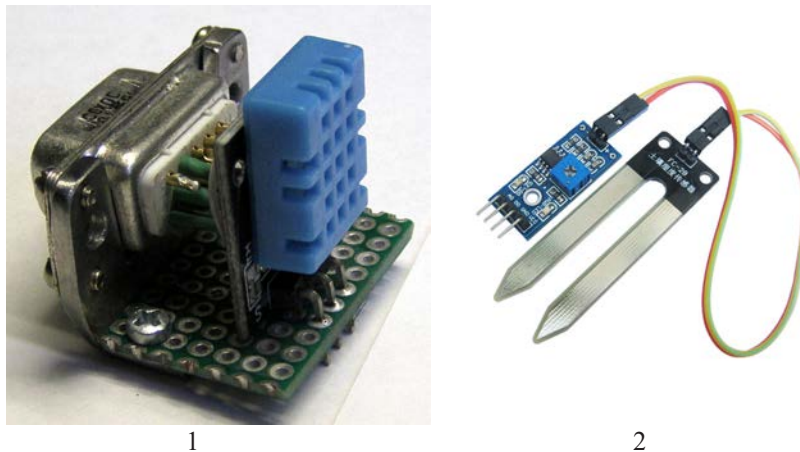


Рис. 6. Датчик температури і вологості DHT11 (1), датчик вологості ґрунту (2)

- Пожежний датчик;
- Датчик відстані;
- Та ін.

Для підключення датчиків до пристрою використовується універсальний 15-контактний VGA роз'єм. Одночасно можуть бути підключені до 10 датчиків до одного вузла сенсорної мережі. Для функціонування вузла сенсорної мережі було написано програмне забезпечення на мові програмування C++, що дозволяє працювати з різними типами датчиків а також в двох режимах мережі: mesh і зірка. Передача даних на сервер відбувається по протоколу HTTP. Все спілкування між вузлами в режимі mesh відбувається по шифрованому протоколу для забезпечення безпеки. Дані можуть бути відправлені на більш, ніж один сервер для забезпечення надійності.

При зборці коду можна налаштувати такі параметри, як:

- SSID WiFi мережі
- Пароль WiFi мережі
- Чи використовувати для даної мережі режим mesh або «зірка»
- Ідентифікатор mesh мережі
- Пароль mesh мережі
- Вивід світлодіода для відображення успішного відправлення пакета
- IP або домен сервера
- Логін для авторизації на сервері
- Пароль для авторизації на сервері

- Чи використовувати дублюючий сервер
- IP або домен дублюючого сервера
- Логін для авторизації на дублюючому сервері
- Пароль для авторизації на дублюючому сервері
- Чи використовувати датчик dht11
- Номер виводу для датчика dht11

А також настройки лежачого в основі фреймворку ESP-IDF і параметри самого ESP32, такі як потужність бездротового модуля і частота процесора.

**Висновки.** У статті були вивчені принципи побудови сенсорних бездротових мереж, розглянуті рішення, що існують на сьогоднішній день, обрані найбільш оптимальні компоненти і розроблена сенсорна бездротова мережа, яка може бути застосована в різних областях, таких як: збір даних про екологічний стан навколишнього середовища, система «розумний будинок», моніторинг показань температури і вологості при зберіганні сільськогосподарської продукції, моніторинг показань на виробництві і т. д.

Створена сенсорна бездротова мережа може працювати в двох режимах: «зірка» та «mesh», що дозволяє створити як мережу, де критично енергоспоживання, яка буде працювати без перезарядки акумуляторів кілька місяців, так і мережу, де потрібно охопити велику територію.

Також були описані приклади реалізації отриманої сенсорної бездротової мережі на практиці і проведені відповідні розрахунки.

**Список літератури:**

1. Лисенко О. І., Чумаченко С. М., Явіся В. С., Гуйда О. Г., Новіков В. І., Сушин І. О. Моделі використання інформації від мобільних безпроводових сенсорних мереж в алгоритмах оцінювання та прогнозування стану екологічних систем ускладнених техногенним навантаженням. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія «Технічні науки»* : зб. наук. праць. Одеса. Видавничий дім «Гельветика» Том 33 (72) № 4 2022. С. 103-112
2. Лисенко О.І., Турейчук А.М., Гуйда О.Г., Новіков В.І., Сушин І.О., Нідченко І.А. Методологія обґрунтування вимог до складу сенсорів безпроводової сенсорної мережі інформаційного забезпечення процедур та алгоритмів системи екологічного моніторингу розподіленого техногенного об'єкту. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського, серія «Технічні науки»* : зб. наук. праць. Одеса. Видавничий дім «Гельветика» Том 33 (72) № 1 2022. С. 133-149.
3. Fundamentals of Wireless Sensor Networks: Theory and Practice / Christian Poellabauer, Waltenege Dargie – Wiley, 2010. С. 28 – 34.
4. Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks / Holger Karl, Andreas Willig – Wiley, 2005. С. 9, 13, 51 – 57.
5. Wireless Sensor Networks: Technology, Protocols, and Applications / Kazem Sohraby, Daniel Minoli, Taieb Znati – Wiley-Interscience, 2007.
6. Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing / Robert Faludi – O'Reilly Media, 2011.
7. Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications / Ibrahim M. M. El Emary, S. Ramakrishnan – CRC Press, 2013.

**Skrypka K.I., Guida O.G., Ometsynska N.V., Lisovets S.M., Yusyiv T.V. REMOTE MONITORING AND MANAGEMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF ENVIRONMENT USING MODERN TECHNOLOGIES OF THE INTERNET OF THINGS**

*The modern systems of monitoring and management of environment parameters, that needs it, use wireless networks and technologies of the internet of things more often instead of cable network.*

*A wireless sensor network is the up-diffused network, that consists of enormous amount of sensors and executive mechanisms united by means of radio channel for monitoring of physical processes. A wireless sensor network usually consists of plenty of the cheap energyeffective wireless modules, sensors and executive devices, also often distinguish a server for collecting and treating of information (there can be not the one). Such servers, usually, execute the functions of sluices in the mesh-topologies of wireless networks. The knots of sensor network are located on small distances one from others and share information by the radio channel, passing necessary information, such as testimonies of sensors (temperature, humidity, etc) and signals to the executive mechanisms. The basic idea of sensor wireless networks consists in that, while the possibilities of one knot are limited, the general power of the whole network is enough for solving of the necessary tasks.*

*It is predefined by that, except reduction of charges on building of initial network, wireless sensor networks allow operative changes of the network's topology in accordance with the decision of necessary tasks, automatical connection of additional knots without the loss of general capacity of the network.*

*Although sensor wireless networks have a lot of differences from the distributed systems, they have a variety of own problems and limitations . These limitations influence on the design of sensor wireless networks, resulting in the usadge of protocols and algorithms that differ from other distributed systems.*

*The usage of wireless sensor networks together with the cable ones allows to develop the topology of network without of it's replanning and rebuilding.*

**Key words:** *monitoring of environment, wireless sensor networks, internet of things (IoT), sensor, managing module, server of collection and analysis of information.*

**Фуріхата Д.В.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Граф М.С.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА АЛГОРИТМІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕРНЕТ ПРОСТОРІ

Стаття присвячена дослідженню методів та алгоритмів обробки інформації в Інтернеті. Досліджено технології веб-скрапінгу та API як засоби збору даних з Інтернету. Розглянуто принцип їх роботи, переваги та недоліки та приклади використання. Зосереджено увагу на обробці даних, аналізі, структуризації, кластеризації та класифікації, які є найпоширенішими методами роботи зі зібраними даними. У статті розкрито основні концепції та принципи класичного навчання, яке базується на точно визначених мітках та правильних відповідях, та доведено його ефективність у випадках, де наявні чітко визначені мітки або правильні відповіді. Досліджено різні методи класичного навчання, включаючи лінійну та нелінійну класифікацію, регресію та дерева рішень, а також визначено їх переваги та обмеження. Зазначено, що в мережевому середовищі штучний інтелект, зокрема машинне навчання, виявляється найбільш перспективним для обробки інформації. Подальше дослідження фокусувалося на методах кластеризації даних, які знаходять широке застосування в різних областях. Розглянуто метод *k*-середніх, який є найпоширенішим та добре вивченим серед методів кластеризації. Визначено, що він мінімізує спотворення та дозволяє ідентифікувати кластери на основі їхніх центроїдів. Однак, було виявлено обмеження методу *k*-середніх, такі як чутливість до початкової конфігурації центроїдів та можливість збігу до локального мінімуму. Застосування класичного навчання та методів кластеризації даних в машинному навчанні було детально досліджено, а їхню ефективність було підтверджено в різних задачах аналізу та обробки даних. В результаті проведених досліджень встановлено, що використання цих методів може привести до точних та надійних результатів. Таким чином, дана стаття розширює наше розуміння класичного навчання та методів кластеризації даних і надає важливі вказівки для їхнього успішного застосування в практичних задачах машинного навчання.

**Ключові слова:** методи, алгоритми, обробка інформації, аналіз даних, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** Інтернет є необхідною складовою багатьох сфер людської діяльності, включаючи науку, бізнес, культуру, політику та інше. Разом з тим, в даній мережі щодня генерується велика кількість даних, які можуть бути використані для розв'язання різноманітних завдань. Однак, збір та аналіз цих даних може бути складним завданням, тому що вони можуть бути некоректні, неповні, містити шум або бути зібраними в різний час та з різних джерел. Для ефективної обробки цієї інформації необхідні математичні методи та алгоритми аналізу даних. Основні математичні методи обробки інформації в інтернет-просторі включають в себе широкий спектр алгоритмів і технік, які застосовуються для аналізу, фільтрації, класифікації та структурування знань з великого обсягу даних присутніх в Інтернеті. Один з основних методів обробки інформації в Інтернеті – це машинне навчання, що базується на статистичних моделях та алгоритмах, які здатні автоматично вчитись та покращуватись з досві-

дом. Машинне навчання дозволяє аналізувати дані з Інтернету, виявляти патерни і структури та здійснювати прогнозування та класифікацію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Згідно з роботою Марченко О.О. та Росседи Т.В. [1] існує декілька підходів до побудови моделей даних, а саме: статистичні (базуються на теорії та зосереджуються на перевірці гіпотез), моделі на основі машинного навчання (класичні, нейромережеві, ансамблеві) та обчислювальні (на основі інтелектуального аналізу даних). У дослідженні Олійник А.В. [2] описуються основні етапи збору та аналізу інформації: очищення, інтеграція, вибір параметрів, трансформація, Data Mining (використання інтелектуальних методів для пошуку скритих закономірностей), оцінка та візуалізація. Моделі на основі машинного навчання застосовуються в різних сферах. Авторами роботи [3] запропоновано програмну реалізацію з використанням методів штучного інтелекту для пошуку вільного місця на парковці. Розроблена система надає змогу

користувачам авто здійснювати пошук вільних місць, витрачаючи при цьому мінімум часу. Марчук Д.К. та інші [4] описують процес застосування нейронних мереж для розпізнавання дактильної мови української абетки. В роботі використано особливий різновид архітектури рекурентних нейронних мереж, здатний до навчання, а саме модель довготривалої короткочасної пам'яті LSTM (Long short-term memory), який довів свою ефективність. У статті [5] описано основні алгоритми аналізу потоку кадрів відеоданих, що надходять з камер міста. Основною метою дослідження є мінімізація часу на пошук вільного місця для паркування автомобіля. У статті [6] досліджуються алгоритми інтелектуального аналізу даних, які на основі правил і обчислень дозволяють створити модель, що аналізує дані, здійснюючи пошук певних закономірностей і тенденцій. Шляхом дослідження алгоритмів інтелектуального аналізу даних було розроблено моделі та методи для встановлення впливу одних хронічних захворювань на інші. Проведені дослідження свідчать про перспективність використання методів інтелектуального аналізу даних для підвищення якості медичної допомоги пацієнтам. В своєму дослідженні Кравченко С.М., Гришкун Є.О. та Власенко О.В. [7], детально описали основні алгоритми класифікації даних та методи підбору математичної моделі обчислень. Основні принципи роботи Байєсівського класифікатора для обробки інформації описані в магістерській дисертації Рудзевич А.П. [8]. В статті Ситника В.Ф. [9] розглянуті практичні приклади реалізації методів дерев рішень (графів) у бізнесі, наукових дослідженнях та фінансах по відношенню до обробки інформації, зокрема і в інтернет-просторі. Описані основні структури, та проведено прогнозування щодо майбутнього розвитку нових алгоритмів навчання. Ткаченко О.М., Біличенко Н.О., Грійо О.Ф., Дзись О.В. провели дослідження [10] методу k-середніх, та розглянули один із варіантів розв'язку задачі кластеризації даних. Було проведено науковий експеримент та виявлені недоліки та шляхи їх вирішення. Даний метод, при своїй простоті та гнучкості, має низьку швидкість та високу ймовірність сходження до локального мінімуму цільової функції. Авторами була запропонована низка модифікацій: оптимізація при роботі із статичними центроїдами, використання ітеративних алгоритмів та використання kd-дерев.

**Метою статті** є вивчення принципів та підходів до навчання моделей машинного навчання, а також аналіз важливості збору, підготовки та обробки вхідних даних для досягнення якісних результатів.

Дослідження перспектив розвитку методів машинного навчання, зокрема методу k-середніх.

**Виклад основного матеріалу.** Обробка інформації є ключовим етапом в багатьох дослідницьких проектах, аналітиці, маркетингових дослідженнях та інших сферах, де необхідно отримати об'єктивну та релевантну інформацію. Першим етапом є збір даних. Він має вирішальне значення для отримання якісних результатів та досягнення поставлених цілей. Для цього можуть використовуватися такі технології як веб-скрапінг (англ. web scraping) та API (англ. Application Programming Interface). Веб-скрапінг це технологія, яка полягає в автоматичному зборі даних з веб-сайтів. Він використовується для отримання великих об'ємів даних з різних джерел в інтернеті, зокрема з соціальних мереж, новинних порталів, інтернет-магазинів та інших веб-ресурсів. Для збору даних використовуються спеціальні програми, які називаються скраперами або павуками. Вони працюють за допомогою HTTP-запитів до веб-сторінок, зчитуючи HTML-код і видобуваючи з нього потрібну інформацію. Іноді скрапери використовують технології штучного інтелекту та навчання з підкріпленням, щоб автоматизувати процес вибору необхідної інформації. Іншим методом отримання даних з інтернету є технологія API (англ. Application Programming Interface) – інтерфейс програмування додатків, що дозволяє різним програмним системам взаємодіяти між собою. API надає стандартний спосіб для інтерактивної комунікації між різними програмними системами, дозволяючи їм обмінюватися даними, запитами та відповідями. Дану технологію можна уявити як міст між двома програмними системами. Вона надає засіб для передачі даних між ними, а також правила для того, як ці дані повинні бути передані. API може бути використаний для доступу до різних функцій та сервісів, таких як соціальні мережі, веб-служби, онлайн-магазини, різноманітні сервіси мережевої інфраструктури та ін. API може мати різні форми та протоколи передачі даних. Найбільш поширеними формами API є REST (Representational State Transfer) та SOAP (Simple Object Access Protocol). REST API дозволяє отримувати доступ до ресурсів в мережі за допомогою HTTP-запитів GET, POST, PUT та DELETE. SOAP API передає дані у форматі XML, використовуючи HTTP-протокол. Збір даних є лише першим етапом, після отримання масиви інформації виконується обробка даних, аналіз, структуризація, кластеризація, класифікація та подальше зберігання. Найпоширенішими



методами, що використовуються при обробці інформації в інтернет-просторі є штучний інтелект, а саме машинне навчання. На рис. 1 зображена структура методів штучного інтелекту.

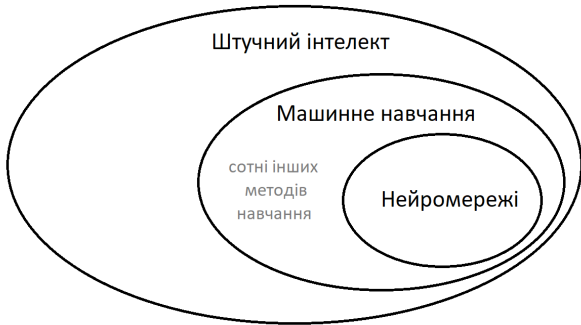


Рис. 1. Структурна схема методів штучного інтелекту

Основна мета машинного навчання полягає у прогнозуванні результатів на основі вхідних даних. Чим більш різноманітні дані ми маємо, тим легше для машини виявити закономірності і отримати точніші результати. Для успішного машинного навчання потрібні три складові: дані, ознаки, алгоритм. Для досягнення кращих результатів необхідна наявність великого обсягу різноманітних даних. Відбір оптимальних ознак є важливим етапом у процесі навчання. Зазвичай цей етап вимагає значних зусиль та займає більше часу, порівняно з іншими етапами навчання моделі. Однак існують ситуації, коли користувач самостійно вирішує, які ознаки вважати «правильними» на

основі його власного досвіду та експертної думки. В таких випадках, впровадження суб'єктивних критеріїв може призвести до недостовірних результатів моделювання. У таких ситуаціях модель може видаляти необхідні залежності та навіть втратити здатність адекватно передбачати або аналізувати дані, що викликає появу неправдивих результатів та спотворення інформації. Вибір алгоритму має значний вплив на ефективне вирішення однієї і тієї ж задачі. Правильний вибір методу може впливати на точність, швидкість та обсяг готової моделі. Проте варто пам'ятати, що, незалежно від використовуваного алгоритму, якість вхідних даних має вирішальне значення. Навіть найкращий алгоритм не зможе ефективно працювати з некоректними або непридатними даними. Тому важливо уникати зацикленості на відсотках точності, а зосередитися на зборі якісних даних у максимально можливій кількості.

Існує декілька основних напрямів машинного навчання: класичне навчання, глибинні мережі, навчання з підкріпленням. Класичне навчання є фундаментальним підходом у галузі машинного навчання. Цей підхід базується на використанні наявних даних для тренування моделей з метою отримання точних та універсальних прогнозів або класифікації. В класичному навчанні є всього два напрями, які в свою чергу розгалужуються (рис. 2).

Класичне навчання використовується для побудови моделей на основі точно визначених правильних відповідей або міток. Використання методів класичного навчання має свої сильні



Рис. 2. Напрями класичного навчання

та слабкі сторони, а вибір їх застосування залежить від конкретних ситуацій. Класичне навчання демонструє високу ефективність, коли для набору даних наявні чітко визначені мітки або правильні відповіді. Це дозволяє побудувати точні моделі, які можуть класифікувати нові дані з високою достовірністю. У класичному навчанні використовуються алгоритми, такі як дерева рішень або логістична регресія, які зазвичай дають інтерпретовані результати. Це означає, що людина може аналізувати та розуміти причинно-наслідкові зв'язки, які лежать в основі прийнятих моделей. Класичне навчання потребує чітко визначених міток або правильних відповідей для навчальних даних. Якщо мітки недостовірні, неточні або недоступні, це може призвести до поганих результатів моделі і неправильних висновків. Отже, точність і надійність мають значну залежність від якості міток. Методи класичного навчання рідко використовуються при роботі з великими обсягами даних. Обробка та аналіз великих наборів даних може стати витратною за ресурсами та часом, особливо при використанні складних алгоритмів. Це може вплинути на продуктивність моделі та затримати процес навчання. Класичне навчання ефективно в ситуаціях, де доступні якісні та достовірні мітки або правильні відповіді, а також коли модель може бути побудована на основі цих даних.

Одним із завдань машинного навчання це кластеризація. Кластеризація даних є відомою задачею як у наукових, так і в практичних сферах. Її основна мета полягає в розподілі експериментально отриманих наборів векторів на групи, відомі як кластери. Кластеризація широко використовується в статистичному аналізі даних, векторній квантизації, розпізнаванні образів та інших областях. В галузі ущільнення мовлення алгоритми кластеризації використовуються для створення кодових книг, які містять найбільш репрезентативні набори даних. Задачу кластеризації можна сформулювати наступним чином: виходячи з заданого набору з  $n$  векторів розмірності  $d$ , необхідно розбити їх на підмножини згідно з певним критерієм оптимізації. Зазвичай, таким критерієм є мінімізація спотворення. Метод кластеризації  $k$ -середніх є найбільш поширеним і добре вивченим серед усіх методів кластеризації. Він мінімізує спотворення, розподіляючи дані між неперетинаючими регіонами і ідентифікуючи їх за їхніми центрами. Головними перевагами методу  $k$ -середніх є його простота, гнучкість та швидка збіжність. Однак цей метод має обмеження, такі як значна залежність результатів кластеризації

від початкової конфігурації центроїдів (ініціалізації), повільна обробка великих обсягів даних та можливість збігу до локального мінімуму цільової функції. Існують різні модифікації методу  $k$ -середніх. Наприклад, метод  $k$ -середніх<sup>++</sup> використовує вдосконалену процедуру ініціалізації, що дозволяє отримати кращі результати кластеризації шляхом спеціального вибору початкової конфігурації центроїдів. Інші підходи включають відкидання статичних центроїдів для прискорення обчислення відстаней і застосування ітеративного алгоритму для наближення до глобального оптимуму шляхом послідовного запуску  $k$ -середніх.

Метод  $k$ -середніх полягає в тому, що спочатку вибирається деяка кількість кластерів ( $k$ ), після чого об'єкти розподіляються між цими кластерами залежно від їх відстані до центроїдів (середніх значень) кожного кластера. Потім центроїди перераховуються, і процес розподілу об'єктів повторюється до тих пір, поки кластери стабілізуються. У кластеризації даних важливо враховувати такі фактори, як відстань між об'єктами, кількість кластерів та критерії оцінки якості кластеризації.

$$V = \sum_{i=1}^k \sum_{x_j \in S_i} (x_j - \mu_i)^2 \quad (1),$$

де  $k$  – число кластерів,  $S_i$  – отримані кластери,  $i = 1, 2, \dots, k$ ,  $\mu_i$  – центри мас векторів  $x_j \in S_i$ .

Кластеризація даних також може використовуватися для вирішення різноманітних задач, таких як аналіз відгуків клієнтів, виявлення аномальних даних, класифікація образів, рекомендації товарів та багато інших.

**Висновки.** Машинне навчання є поширеним методом обробки інформації в Інтернеті. Воно використовує дані, ознаки і алгоритми для прогнозування результатів.

Класичне навчання – основний напрямок машинного навчання, який базується на використанні наявних даних для побудови точних моделей. Даний напрям має сильні сторони, такі як висока ефективність при наявності чітко визначених міток або правильних відповідей для навчальних даних. Він використовує інтерпретовані алгоритми, що дозволяють аналізувати та розуміти причинно-наслідкові зв'язки. Кластеризація даних полягає в розподілі об'єктів на групи, відомі як кластери, і має різноманітні застосування. Кластеризація має широкий спектр застосувань, включаючи аналіз відгуків клієнтів, виявлення аномалій, класифікацію образів, рекомендації товарів та багато інших. Цей підхід допомагає вирішувати різноманітні задачі і виявляється корисним інструментом у процесі обробки даних. Загалом,

стаття надає важливі відомості про методи штучного інтелекту, зокрема машинного навчання, і їх застосування в обробці інформації. Крім того, досліджується задача кластеризації даних та вико-

ристання методу k-середніх у цьому контексті. Отримані висновки можуть бути корисними для дослідників і практиків, які займаються областями штучного інтелекту і аналізу даних.

#### Список літератури:

1. Марченко О.О., Россада Т.В. «Актуальні проблеми Data Mining: Навчально-методичний посібник». Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2017.
2. Олійник А.В. Data Mining як інструмент оцінки та прогнозування найвагоміших показників ефективності сторінок брендів в соціальних мережах // Магістерська робота. – Київ: Національний Університет Києво-Могилянська академія, 2020. URL: <https://ekmair.ukma.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ba2064e0-844e-4785-b209-980deb51c495/content>
3. Левківський В.Л., Марчук Г.В., Ципоренко В.В., Марчук Д.К. Комп'ютерна програма «Алгоритмічно-програмне забезпечення обробки та аналізу потоку кадрів відеоданих, що надходять з камер міста». – 2021. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/8019/109822.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Марчук Д.К., Левківський В.Л., Марчук Г.В., Голенко М.Ю. Система розпізнавання дактильної мови української абетки. Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2022. – Том 33 (72), № 6. – С. 109-114. URL: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/19>
5. Levkivskiy V., Marchuk, Lobanchykova N., Pilkevych I., Salamatov D. Available parking places recognition system. CEUR Workshop Proceedings 4th Workshop for Young Scientists in Computer Science & Software Engineering. Volume 3077 (2022). pp. 123-134. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-3077/paper07.pdf>
6. Левківський В., Лобанчикова Н., Марчук Д. Дослідження алгоритмів Data Mining // E3S Web of Conferences. 2020. Том 166. С. 05007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016605007>.
7. Кравченко С.М., Гришкун Є.О., Власенко О.В. «Методи класифікації машинного навчання з використанням бібліотеки scikit-learn». Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2020. URL: [http://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/3\\_2020/part\\_1/21.pdf](http://tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/3_2020/part_1/21.pdf)
8. Рудзевич І.О. Методи машинного навчання в сентимент аналізі текстової інформації // Магістерська робота. – Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», 2020. URL: [https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35699/1/Rudzevich\\_magistr.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/35699/1/Rudzevich_magistr.pdf)
9. Ситник В.Ф., Ситник Н.В., Дерева рішень в системах дейтамайнінгу, Survey on Data Mining Techniques for Smart Grids // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2019. – Vol. 10, No. 7. – P. 106-112. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/197259458.pdf>
10. Ткаченко О.М., Біліченко Н.О. Метод кластеризації на основі послідовного запуску k-середніх з обчисленням відстаней до активних центроїдів. // Вінницький національний технічний університет. URL: <https://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/50557/03-Tkachenko.pdf?sequence=1>

#### Fyrikhata D.V., Graf M.S. ANALYSIS OF EXISTING METHODS AND ALGORITHMS FOR INFORMATION PROCESSING IN THE INTERNET SPACE

*The article is dedicated to investigating methods and algorithms for information processing on the Internet. The technologies of web scraping and APIs as means of data collection from the Internet have been examined. The principles of their operation, advantages, disadvantages, and examples of their usage have been considered. Attention has been focused on data processing, analysis, structuring, clustering, and classification, which are the most common methods for working with collected data. The article reveals the fundamental concepts and principles of classical learning, which are based on precisely defined labels and correct answers, and demonstrates its effectiveness in cases where clear labels or correct answers are available. Various methods of classical learning have been explored, including linear and nonlinear classification, regression, and decision trees, and their advantages and limitations have been determined. It has been noted that in the networked environment, artificial intelligence, particularly machine learning, proves to be the most promising for information processing. Further research has been centered on data clustering methods. The k-means method, being the most common and well-studied clustering method, has been examined. However, limitations of the k-means method have been identified, such as sensitivity to the initial configuration of centroids and the possibility of convergence to a local minimum. The application of classical learning and data clustering methods in machine learning has been thoroughly investigated, and their effectiveness has been confirmed in various data analysis and processing tasks. As a result of the conducted research, it has been established that the utilization of these methods can lead to accurate and reliable results. Thus, this article expands our understanding of classical learning and data clustering methods and provides important guidelines for their successful application in practical machine learning tasks.*

**Key words:** methods, algorithms, information processing, data analysis, machine learning.

## Відомості про авторів

**Абрамова А.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Антоненко А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Державного університету телекомунікацій

**Баган Т.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації енергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Баженов В.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Байраковський В.В.** – магістр кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

**Беглов К.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Одеська політехніка»

**Безугла Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бишевец Г.А.** – аспірант Волинського національного університету імені Лесі Українки

**Бояринова Ю.Є.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмування та спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бунь В.П.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації енергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бурау Н.І.** – доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Варганова Д.О.** – старший викладач кафедри комп'ютерних технологій у медицині та телекомунікаціях Державного університету «Житомирська політехніка»

**Венгловська Ю.М.** – студентка 4 курсу факультету інформаційно-комп'ютерних технологій Державного університету «Житомирська політехніка»

**Вишемірська Я.С.** – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Гарасимів Т.Г.** – асистент кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Гиренко І.М.** – кандидат технічних наук, заступник директора з навчальної роботи Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Гнатчук Є.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем Хмельницького національного університету

**Говорущенко О.О.** – здобувачка вищої освіти медичного факультету № 1 Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова

**Горбійчук М.І.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Граф М.С.** – PhD, завідувач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

**Гришкун Є.О.** – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»

**Грішин М.В.** – аспірант 4 курсу групи ТА191 кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Інститут штучного інтелекту та робототехніки Національного університету «Одеська політехніка»

**Губар В.Г.** – старший викладач кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Гуйда О.Г.** – кандидат наук з державного управління, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Дичка І.А.** – доктор технічних наук, професор, декан факультету прикладної математики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Дідик О.К.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

**Дідус А.В.** – аспірант кафедри системного програмування та спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Донський О.В.** – магістрант 2 курсу групи РТ-21м кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету

**Дроменко В.Б.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій Київського національного університету технологій та дизайну

**Дубровський С.С.** – кандидат технічних наук, доцент, ректор університету ПЗВО «Дніпровський технологічний університет ШАГ»

**Дудкін К.В.** – кандидат технічних наук, директор ТОВ «КВ-автоматизація»

**Забуга А.Г.** – кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри загальної фізики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Завгородній В.В.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

**Завгородня Г.А.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

**Золотарьов Є.О.** – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ізовіта О.Л.** – аспірант кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

**Іродов В.Ф.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатики та загальної підготовки ПЗВО «Дніпровський технологічний університет ШАГ»

**Калениченко Ю.О.** – аспірант кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

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

**Кіба Є.І.** – студент групи ДК 92 кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Коваль Р.А.** – магістр кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій

**Когутяк М.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Кондратець В.О.** – доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

**Кононова І.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент спеціальної кафедри № 3 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Коровій О.С.** – аспірант кафедри системного програмування та спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Костецький Д.В.** – студент групи КНТ-622м кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Кравченко С.М.** – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Державного університету «Житомирська політехніка»

**Крочак В.І.** – інженер-конструктор Приватного підприємства «Галіт»

**Куликовська Н.А.** – старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Лазорів А.М.** – провідний інженер кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Лазорів Н.Т.** – аспірантка кафедри кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Легеза В.П.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Лемешко А.В.** – доктор філософії з комп'ютерної інженерії, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії Державного університету телекомунікацій

**Лісовець С.М.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Марчук Г.В.** – старший викладач кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

**Миронов С.О.** – магістр кафедри комп'ютерної інженерії Державного університету телекомунікацій

**Мишура К.А.** – аспірантка кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Могилевич Д.І.** – доктор технічних наук, професор, завідувач спеціальної кафедри №3 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Мойсєєнко О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Нещадим О.М.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Нікітенко Є.В.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національного університету біоресурсів та природокористування України

**Окунькова О.О.** – старший викладач кафедри комп'ютерної інженерії та кібербезпеки Державного університету «Житомирська політехніка»

**Омецинська Н.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Онщенко Т.В.** – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Національного університету «Одеська політехніка»

**Павловський О.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих оптичних та навігаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Пашковський Б.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Петрик А.В.** – магістр кафедри комп'ютерної інженерії Державного університету телекомунікацій

**Пилипенко Ю.М.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних технологій Київського національного університету технологій та дизайну

**Полукстов С.О.** – магістр кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Притула М.О.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету

**Рацєбарський С.С.** – аспірант кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Романкевич В.О.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри системного програмування та спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Савенко Б.О.** – аспірант Хмельницького національного університету

**Сакович Л.М.** – кандидат технічних наук, доцент, фахівець I категорії науково-організаційного відділу Науково-дослідного центру Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Самусь Д.В.** – студент кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Семенов А.О.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету

**Сербул О.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів Центральноукраїнського національного технічного університету

**Сінько В.В.** – ад'юнкт науково-організаційного відділу Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

**Скрипка К.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Слабінога М.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Стальченко О.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інфокомунікаційних систем і технологій Вінницького національного технічного університету

**Сугоняк І.І.** – доцент кафедри комп'ютерних наук Державного університету «Житомирська політехніка»

**Терейковська Л.О.** – доктор 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 та спеціалізованих комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тимченко А.О.** – студентка 4 курсу групи ДК-91 кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тимченко К.О.** – студентка 4 курсу групи ДК-91 кафедри конструювання електронно-обчислювальної апаратури факультету електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тихонов М.В.** – аспірант кафедри інформаційно-комунікаційних технологій та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Тіменко А.В.** – старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Філіппова М.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Фоміна А.М.** – студент кафедри інженерії програмного забезпечення Національного університету «Одеська політехніка»

**Фуріхата Д.В.** – аспірант Державного університету «Житомирська політехніка»

**Фуртат О.В.** – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Фуртат С.О.** – старший викладач кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Юсипів Т.В.** – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Яковенко І.О.** – асистент кафедри виробництва приладів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Яськів В.І.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 34 (73) № 3 2023**

**Частина 1**

Коректура • *Н. Славогородська*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 33

Електронна пошта: [editor@tech.vernadskyjournals.in.ua](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. 23,16. Ум. друк. арк. 28,83. Зам. № 0723/453

Підписано до друку 11.07.2023. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефони: +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

Е-mail: [mailbox@helvetica.ua](mailto:mailbox@helvetica.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 7623 від 22.06.2022 р.