

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

*Журнал заснований у 1918 році*

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 32 (71) № 1 2021**

**Частина 1**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
2021

## **Головний редактор:**

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

## **Члени редакційної колегії:**

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

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

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

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

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

**Дубко Валерій Олексійович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри вищої математики Київського національного університету 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 № 6 від 03.02.2021 року)**

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

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

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

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

**ISSN 2663-5941 (Print)**

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

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

## ЗМІСТ

### РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

<b>Андрущак В.С., Андрухів Т.В., Максимюк Т.А., Бешлей М.І., Думич С.С.</b> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	1
<b>Лисенко О.І., Романюк В.А., Гуйда О.Г., Дворська С.В., Осинський А.К.</b> КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЖИВУЧОСТІ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ.....	10
<b>Літвінов Є.А., Сайченко І.О.</b> ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОГО РАДІО ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАННЯ СИГНАЛІВ У ВИДИМОМУ СВІТЛІ.....	17
<b>Ольшевський С.В., Танасійчук Я.В.</b> СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ТЕСТОВОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЗОНАТОРНИХ БЛОКІВ МАГНЕТРОНІВ, НАПРАВЛЕНИХ НА РЕГЕНЕРАЦІЮ.....	28

### ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

<b>Aliiev H.A.</b> THE CALCULATING METHOD OF NGN ACCESS NODE CHARACTERISTICS WHEN SERVICING VOICE AND DATA TRAFFIC.....	33
<b>Баган Т.Г., Бунь В.П., Ремінна А.А.</b> СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПАРИ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОКОНТРОЛЕРА.....	38
<b>Бараненко Р.В.</b> КІБЕРАТАКИ ЯК ОДНА З ФОРМ КІБЕРТЕРОРИЗМУ.....	45
<b>Виганяйло С.М., В'юненко О.Б.</b> ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БІЗНЕС-АНАЛІТИЦІ.....	51
<b>Войтко В.В., Бевз С.В., Бурбело С.М., Ставицький П.В.</b> АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ТА АНАЛІЗУ МУЗИЧНИХ ЗВУКІВ.....	56
<b>Зіноватна С.Л., Комлева О.О., Улізко Г.В., Писаренко К.О.</b> УПРАВЛІННЯ ВИМОГАМИ ДО ТЕКСТОВОГО РЕДАКТОРА З МОЖЛИВІСТЮ ДОДАВАННЯ АУДІОНОТАТОК.....	61
<b>Івченко Р.А., Купін А.І.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ АБО ДЕТАЛЕЙ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	67
<b>Качурівський В.О., Качурівська Г.М.</b> ПОБУДОВА АНІМАЦІЙНИХ ДІАГРАМ ЗАСОБАМИ CANVAS API.....	73
<b>Киричек Г.Г., Гаркуша В.Ю.</b> ВІРТУАЛІЗАЦІЯ ХОСТІВ НА ОСНОВІ PROXMOX VE В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ.....	78
<b>Коломоєць Г.П.</b> АВТОМАТИЗАЦІЯ ПЕРЕВІРКИ ДОДАТКІВ ДО ДИПЛОМІВ ПРО ВИЩУ ОСВІТУ.....	85
<b>Кравець А.М., Сімоненко В.П.</b> МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ ПАМ'ЯТОК НА ЗОБРАЖЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ.....	93

<b>Левкін Д.А., Бережна Н.Г., Макаров О.А., Кутья О.В.</b> МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ.....	98
<b>Логвін А.О.</b> ТИПИ ГЕНЕРАТИВНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	103
<b>Логінова Н.І., Янковський О.Г., Лобода Ю.Г., Толокнов А.А.</b> ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ РОЗПОДІЛУ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ КАФЕДРИ.....	110
<b>Мануляк І.З., Мельничук С.І.</b> ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ ЗІ ЗБЕРЕЖЕННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ ДАНИХ.....	117
<b>Марченко Н.Б., Монченко О.В., Мартинюк Г.В.</b> БАГАТОРІВНЕВІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ ЯК КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	123
<b>Movchan K.O., Oleshchenko L.M.</b> CLUSTERING OF INTERNET USERS SEARCH QUERIES USING GRAPH THEORY.....	128
<b>Озерова Д.С., Пелих С.М.</b> ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ГРУПІ ПІДГРІВАЧІВ ВИСОКОГО ТИСКУ.....	134
<b>Осадчий С.І., Березюк І.А., Мельніченко М.М.</b> МАКСИМІЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ПОСАДОЧНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	140
<b>Плохотнюк М.О., Пелих С.М.</b> РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГРУПИ ПІДГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	146
<b>Чанышев Р.И.</b> УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДАНЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ С ПРОВАЙДЕРАМИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ.....	151
<b>Шаров С.В., Лубко Д.В., Шарова Т.М.</b> ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОННОГО ПІДРУЧНИКА З УКРАЇНСЬКОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	159
<b>Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В., Кудерметов Р.К., Польська О.В.</b> МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ НЕФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ.....	166
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	172

# CONTENTS

## RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

<b>Andrushchak V.S., Andrukhiv T.V., Maksymiuk T.A., Beshlei M.I., Dumych S.S.</b> INTELLIGENT ROUTING MANAGEMENT IN OPTICAL TRANSPORT NETWORK USING GRAPH NEURAL NETWORK.....	1
<b>Lysenko O.I., Romaniuk V.A., Guida O.G, Dvorskaya S.V., Osinskiy A.K.</b> CONCEPTUAL APPROACH TO SURVIVABILITY FUNCTIONAL WIRELESS SENSOR NETWORKS THROUGH THE USE OF MOBILE TELECOMMUNICATION PLATFORM.....	10
<b>Litvinov Ye.A., Saichenko I.O.</b> USING SOFTWARE DEFINED RADIO TO STUDY SIGNAL TRANSMISSION IN VISIBLE LIGHT.....	17
<b>Olszewski S.V., Tanasiichuk Ya.V.</b> INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE DEFECT IN THE MAGNETRON RESONATORY SYSTEM ON THE PARAMETERS OF IT'S MICROWAVE FIELD.....	28

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

<b>Aliev H.A.</b> THE CALCULATING METHOD OF <i>NGN</i> ACCESS NODE CHARACTERISTICS WHEN SERVICING VOICE AND DATA TRAFFIC.....	33
<b>Bahan T.H., Boun V.P., Reminna A.A.</b> DESIGN OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DIRECT-FLOW BOILER STEAM TEMPERATURE USING A NEUROCONTROLLER.....	38
<b>Baranenko R.V.</b> CYBER ATTACKS AS A FORM OF CYBER TERRORISM.....	45
<b>Vyhaniailo S.M., Viunenko O.B.</b> TENDENCY OF DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY IN BIZNES ANALYTIC.....	51
<b>Voitko V.V., Bevz S.V., Burbelo S.M., Stavytskyi P.V.</b> ANALYSIS OF TOOLS FOR SOFTWARE IMPLEMENTATION OF SYNTHESIS SYSTEM AND ANALYSIS OF MUSICAL SOUNDS.....	56
<b>Zinovatna S.L., Komleva O.O., Ulizko H.V., Pysarenko K.O.</b> MANAGEMENT OF REQUIREMENTS FOR THE TEXT EDITOR WITH THE POSSIBILITY OF ADDING AUDIO NOTES.....	61
<b>Ivchenko R.A., Kupin A.I.</b> RESEARCH OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION METHODS FOR SELECTION OF EQUIPMENT OR PARTS IN PRODUCTION.....	67
<b>Kachurivskii V.O., Kachurivska H.M.</b> CONSTRUCTION OF ANIMATION DIAGRAMS BY CANVAS API.....	73
<b>Kirichek G.G., Harkusha V.Yu.</b> HOSTS VIRTUALIZATION ON BASED PROXMOX VE IN CONDITIONS EXCESSIVE USE OF RESOURCES.....	78
<b>Kolomoiets H.P.</b> AUTOMATION OF HIGHER EDUCATION DIPLOMAS SUPPLEMENTS VERIFICATION.....	85
<b>Kravets A.M., Simonenko V.P.</b> LANDMARKS RECOGNITION METHOD USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES.....	93
<b>Levkin D.A., Berezhnaja N.G., Makarov O.A., Kutiya O.V.</b> MATHEMATICAL MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS.....	98

<b>Lohvin A.O.</b> TYPES OF GENERATIVE NEURAL NETWORKS.....	103
<b>Loginova N.I., Iankovskii O.G., Loboda Yu.G., Toloknov A.A.</b> SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE TASK FOR AUTOMATED FORMATION DISTRIBUTION OF THE STUDY LOAD FOR THE TEACHING SCIENTIFIC STAFF OF THE DEPARTMENT.....	110
<b>Melnychuk S.I., Manuliak I.Z.</b> USING OF SIGNALS PRE-PROCESSING METHODS WITH PRESERVATION OF DATA SOURCES INFORMATIONAL PRODUCTIVITY.....	117
<b>Marchenko N.B., Monchenko O.V., Martinyuk G.V.</b> MULTI-LEVEL MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEMS AS A CONSTRUCTIVE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL INFORMATION SYSTEMS.....	123
<b>Movchan K.O., Oleshchenko L.M.</b> CLUSTERING OF INTERNET USERS SEARCH QUERIES USING GRAPH THEORY.....	128
<b>Ozerova D.S., Pelykh S.M.</b> SIMULATION MODELING OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR REGULATING THE WATER LEVEL IN THE GROUP OF HIGH-PRESSURE HEATERS.....	134
<b>Osadchy S.I., Bereziuk I.A., Melnichenko M.M.</b> MAXIMIZING THE STABILIZATION ACCURACY OF ANGULAR POSITION OF THE LANDING PLATFORM.....	140
<b>Plokhotniuk M.O., Pelykh S.M.</b> DEVELOPMENT OF PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM OF AUTOMATION FOR A GROUP OF LOW-PRESSURE HEATERS AT A NUCLEAR POWER PLANT.....	146
<b>Chanyshev R.I.</b> CONDITIONS OF PROVIDING CONFIDENTIALITY AND SECURITY OF USER DATA WORKING WITH CLOUD SERVICE PROVIDERS.....	151
<b>Sharov S.V., Lubko D.V., Sharova T.M.</b> FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC TEXTBOOK ON UKRAINIAN LITERATURE.....	159
<b>Shkarupylo V.V., Chemerys O.A., Dusheba V.V., Kudermetov R.K., Polska O.V.</b> MODEL-DRIVEN APPROACH TO NON-FUNCTIONAL PROPERTIES INDEXES CONTROL AT DESIGN.....	166
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS.....</b>	172

# РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.391

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-1/01>**Андрущак В.С.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Андрухів Т.В.**

Львівська філія (керуючої філії Західного макрорегіону) ПАТ «Укртелеком»

**Максимюк Т.А.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Бешлей М.І.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Думич С.С.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТИЗАЦІЄЮ В ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ГРАФОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У роботі представлено алгоритм інтелектуального управління маршрутизацією потоків в оптичних транспортних мережах із використанням графових нейронних мереж. Використання нейронних мереж для вирішення проблем у телекомунікаційних мережах зумовлює той факт, що ІТУ-Т вже публікує стандарти щодо інфраструктури, а також програмного забезпечення, такі як F.748.11 і Y.3172. Крім того, велика кількість наукових робіт представлена щодо підвищення ефективності роботи мереж від мережевого до фізичного рівня з використанням нейронних мереж. Використання графових нейронних мереж для вирішення телекомунікаційних задач зумовлює той фактор, що вхідними параметрами для тренування є характеристики самої мережі. Тобто матриця суміжностей, характеристики про вузли й ребра в певний момент часу є вхідними параметрами для тренування графових нейронних мереж. На базі цих даних можна спрогнозувати стан, у якому перебуває вузол. Такий підхід дає змогу більш гнучко підійти до процесу визначення стану вузла, оскільки вимагає не переписування програмного забезпечення, а лише адміністративної зміни параметрів нейронної мережі. Запропоновано інфраструктуру оптичної транспортної мережі з елементами тренування, зберігання й оновлення відповідних нейронних мереж. Здійснено моделювання трафіку оптичної транспортної мережі для визначення ефективності роботи розробленого алгоритму. Трафік був змодельований з урахуванням розподілу пакетів відео, голосу й даних залежно від пори доби і також бізнес чи спальних районів міста. Представлена топологія мережі являє собою подвійне кільце зі спільним телекомунікаційним хабом. Це дало змогу більш точно відтворити випадки перевантаження певних вузлів у певні моменти часу доби. Здійснено тренування графової нейронної мережі на базі змодельованого трафіку й відповідних характеристик вузла та ребер розглянутої топології мережі. Запропонований алгоритм дав змогу зменшити затримку в години пікового навантаження мережі на 18%.

**Ключові слова:** оптична транспортна мережа, графові нейронні мережі, штучний інтелект, інтелектуальне управління трафіком, маршрутизація, моделювання трафіку.

**Постановка проблеми.** Телекомунікаційні мережі зіткнулися з викликом великої кількості трафіку, які генерують різні сервіси. Загальнодоступність і низька ціна телекомунікаційних

послуг лише цьому сприяють. Отже, телекомунікаційні оператори повинні розробляти й підтримувати необхідну інфраструктуру оптичної транспортної мережі, яка є ядром, де передається

основна кількість трафіку. Власне технології та алгоритми каналного рівня є основним засобом ефективного передавання трафіку в транспортних мережах. Тому можна вважати доцільною задачу балансування трафіку в оптичній транспортній мережі з використанням площини управління.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Будь-яка технологія каналного рівня стикається з типовими проблемами оптичних транспортних мереж [1–2]:

- зростання мережевого трафіку;
- збільшення швидкості передачі даних оптичного каналу;
- еволюція WDM систем;
- масштабування мереж;
- зменшення енергоспоживання мереж;
- підтримка застарілого програмного й апаратного забезпечення;
- уніфікація сервісів тощо.

Відповідно, кожна з технологій каналного рівня використовує власні або перевикористовує наявні алгоритми, адаптовані під інші технології для оптимізації роботи мережі. Проте кожна технологія каналного рівня має свої особливості, які частково описані вище. Це призводить до того, що будь-який алгоритм оптимізації використання мережевих ресурсів буде обмежений конфігурацією мережі та їх технологій. Отже, є сенс розробляти більш уніфіковані алгоритми, які б були придатні до використання різними технологіями каналного рівня оптичних транспортних мереж. Для вирішення цієї задачі можна використати алгоритми на базі нейронних мереж, які будуть більш адаптивні до зміни параметрів мережі.

Останнім часом набуває популярність використання графових нейронних мереж (Graph neural networks – GNN). Особливістю цих нейронних мереж є використання графа як матриці суміжності й дані про нього для тренування. Оскільки телекомунікаційна мережа представляється графом і відомо велику кількість мережевих параметрів, які описують вузол і канал зв'язку, то раціонально використати дані нейронної мережі для вирішення певних телекомунікаційних задач.

Використання нейронних мереж, а також засобів машинного навчання в телекомунікаціях мають низку недоліків і переваг [3–4]. Одним із найбільшим недоліком таких систем є висока ціна розробки, розгортання й тестування системи. Крім того, велика ціна помилки, якщо алгоритм із використанням нейронних мереж прийме неправильне рішення, що може призвести до неправильної роботи або повністю зупинити роботу оптичної

транспортної мережі. Проте для цієї проблеми є фактор, який суттєво сприяє її вирішенню, – кількість зібраних даних. Оптична транспортна мережа передає гігабіти інформації по оптичних каналах за одну секунду. Наприклад, обладнання Cisco NCS 4000 [5], яке як універсальна лінійна карта видає оптичний потік із сумарною швидкістю 400 Гбіт/с. Тобто за 20 секунд роботи ми отримуємо переданий сумарний потік даних 1 тбайт. Типова національна оптична транспортна мережа телекомунікаційного оператора складається з 20–30 вузлів. Отже, збір і кількість даних не є проблемою, оскільки сам об'єкт дослідження може забезпечити дані як для тренування, так і для тестування нейронних мереж.

Іншою проблемою є відсутність контролю або слабка участь людини в прийнятті певних рішень щодо роботи транспортної мережі. Тобто це може бути вузьким місцем, оскільки буде конфлікт щодо прийняття рішення між людиною і статичними алгоритмами, з одного боку, й алгоритмами на базі нейронних мереж. З іншого боку, є певний час реакції статичного алгоритму чи людини на певний випадок транспортної мережі. Припустимо, що середній розмір блоку даних OLS становить 100 кбайт. Якщо ми використовуємо обладнання Cisco NCS 4000 [5], де швидкість оптичного каналу може становити 100 Гбіт/с, то при швидкості реакції в 1 секунду відбудеться втрата 1 000 000 блоків даних.

Використання машинного навчання без учителя дає змогу відловлювати нетипові випадки, які складно вилловлювати статичними алгоритмами [6]. Тобто такі алгоритми можуть вилловити набагато більше нетипових подій у мережі й можуть приносити користь у прийнятті рішення на мікрорівні з погляду використання оптичних, часових та енергетичних ресурсів мережі.

Важливим елементом будь-якої телекомунікаційної мережі є здатність до масштабування [7–8]. Збільшення кількості вхідного навантаження, підключення нових сервісів із різними параметрами QoS, збільшення кількості потокового відео на вимогу, додаткові пікові навантаження й інші випадки можуть призводити до нештатних ситуацій, тому що статичні алгоритми чи інженери не здатні з достатньою швидкістю і якістю вирішити термінову задачу. Алгоритми машинного навчання без нагляду, такі як k-means, isolation forest, автоенкодер, здатні допомогти таблицям комутації на проміжних вузлах та агрегації трафіку на граничних вузлах, щоб мережа максимально швидко змогла б адаптуватися до внесених змін мережі.





Рис. 1. Варіанти застосування алгоритмів на базі машинного навчання і штучного інтелекту

Фактично використання алгоритмів на базі машинного навчання і штучного інтелекту можна розділити на категорії рівня передачі даних та управління. Наприклад, алгоритми на базі нейронних мереж у вузлах мережі можуть здійснювати «рекомендації» щодо комутації й агрегації трафіку. Метою роботи площини управління оптичної транспортної мережі є забезпечення необхідного QoS для відповідних сервісів. З іншого боку, ця площина володіє всією необхідною інформацією про роботу мережі, «знає» про всі параметри системи, її навантаження в поточний момент часу, а також поточну конфігурацію й архітектуру мережі. Тобто можна припустити, що оптична транспортна мережа є самодостатньою системою, оскільки «володіє» необхідною інформацією й може управляти сама собою. ITU-T називає такі мережі самооптимізованими мережами (SON), які здатні реагувати на певні події та приймати необхідні рішення без людської взаємодії для забезпечення нормальної роботи мережі.

Інститут ITU-T вже випускає певні стандарти роботи алгоритмів машинного навчання й нейронних мереж у телекомунікаційних мережах. Стандарт Y.3172 [9] описує ще одну проблему машинного навчання – шлях еволюції алгоритмів машинного навчання разом із телекомунікаційними мережами. Проте інтеграція алгоритмів машинного навчання в телекомунікаційних мере-

жах тільки набирає своїх обертів, певне вирішення цієї проблеми описано в роботі нижче. Стандарт F.748.11 [10] описує метрики й методи оцінювання для алгоритмів із використанням глибокого навчання нейронних мереж для нетелефонних сервісів.

У попередніх роботах [11] розроблено алгоритм агрегації IP пакетів у транспортні модулі на граничних вузлах із використанням нейронних мереж, що дало змогу, на відміну від статичних алгоритмів [12], відійти від чітких умов агрегації та більш динамічно управляти трафіком. Крім того, запропоновано використовувати нейронні мережі для більш інтелектуальної комутації трафіку на проміжних вузлах оптичної транспортної мережі [13]. В іншій роботі запропоновано метод логічного розділення ресурсів мережі 5G на основі комбінованої архітектури глибоких нейронних мереж [14].

Загалом алгоритми на базі нейронних мереж мають відіграти не основну роль у керуванні мережею, а лише допоміжну, де статичні алгоритми або людина не здатна справитися з достатньою швидкістю та якістю.

На основі аналізу літературних джерел можна зробити такі висновки. У роботах представлено місце використання нейронних мереж, проте не представлено, як відбувається їх взаємодія з площиною управління і площиною передачі даних.

Також не розглянуто, які параметри використовуються для тренування нейронних мереж, а також як відбувається їх збір. Відсутні кінцеві мережеві метрики, що показують реальний виграш від використання алгоритмів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є зменшення мережевої затримки за рахунок балансування мережевого трафіку в час пікового навантаження.

Для досягнення мети розв'язуються такі наукові завдання:

- дослідження законів розподілу трафіку в різні частини доби з урахування житлових і бізнес районів міста;
- визначення характеристик вузлів та оптичних лінійних трактів для тренування графових нейронних мереж;
- тренування графових нейронних мереж на базі отриманих параметрів;
- балансування трафіку на базі розроблено алгоритму для зменшення затримки в години пікового навантаження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Інфраструктура оптичної транспортної мережі на базі технології OLS і нейронних мереж.** У попередній роботі [11] представлено архітектуру оптичної транспортної мережі на базі технології OLS. На рис. 2 представлено спрощену архітектуру оптичної транспортної мережі з інфраструктурою алгоритмів машинного навчання.

Запропонована архітектура, побудована згідно з рекомендаціями ITU-T Y.3172, містить такі елементи:

SRC (source) – вузол, який є джерелом інформації для алгоритмів машинного навчання. У запропонованій архітектурі джерелом інформації є граничні та проміжні вузли, власне обладнання каналного рівня;

C (collector) – цей вузол відповідальний за збір даних з одного або більше SRC вузлів. У даному випадку цю задачу виконує SDN контролер;

PP (preprocessor) – цей вузол відповідальний за очищення, агрегацію та виконання інших операцій попередньої обробки даних. У такому випадку роль цього вузла також виконує відповідне програмне забезпечення на SDN контролері;

M (model) – безпосередньо модель машинного навчання;

P (policy) – вузол чи програмне забезпечення, яке описує політику використання вихідних даних моделей;

D (distributor) – вузол, який визначає якому SRC надати вихідну інформацію з алгоритму машинного навчання. У цій архітектурі це також SDN контролер;

SINK – вузол, що є метою для вихідних даних алгоритму машинного навчання. У запропонованій архітектурі це обладнання каналного рівня технології OLS.

Запропонована архітектура відповідає за збір даних для відповідних нейронних мереж, які вже безпосередньо будуть займатися оптимізацією роботи мережі. Запропоновано зберігати мережеві параметри Feature Engineering (FE) для тренування в окремі бази даних (у хмарі). Крім того, ще один cloud розрахований під резервне збері-

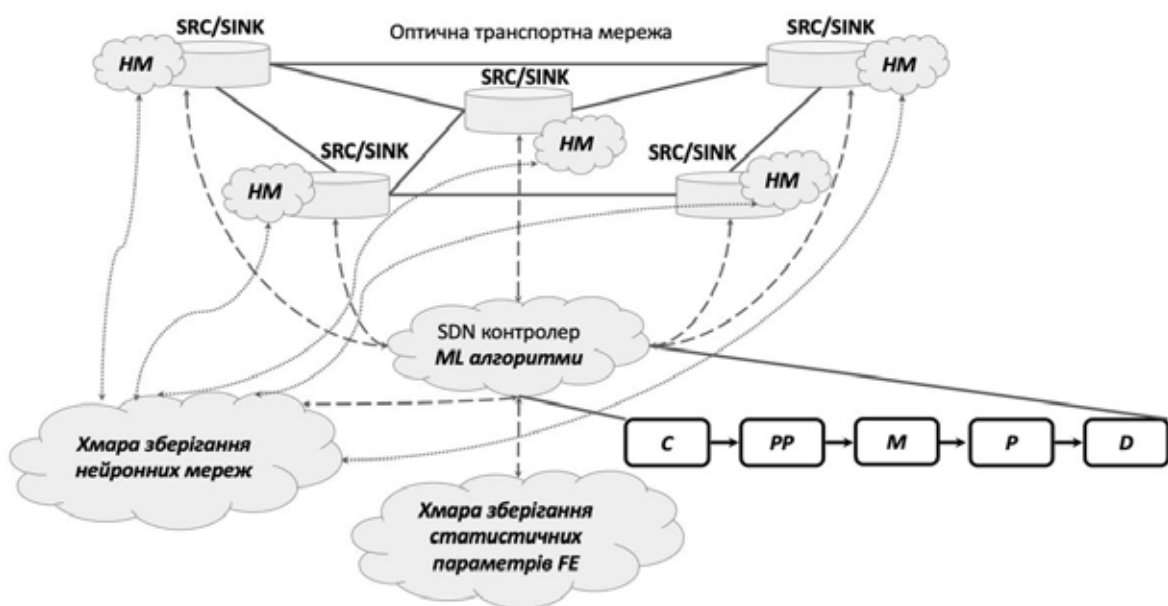


Рис. 2. Інфраструктура алгоритмів машинного навчання (HM – нейронна мережа)

гання нейронних мереж для випадків, коли необхідно повернути попередню версію. Алгоритми на базі нейронних мереж працюють як на рівні управління, як на SDN контролері, так і безпосередньо на вузлах мережі.

**Математичний апарат графових нейронних мереж.** Графові нейронні мережі (GNN) – це тип нейронних мереж, який безпосередньо працює зі структурою даних у вигляді графу. Такі мережі розширюють наявні нейронні мережі для обробки даних у домені типу даних графів. Ці нейронні мережі використовуються в основному для класифікації вузлів. Кожен вузол у графі асоціюється з міткою тренування, відповідно, мережа намагається на базі вхідних даних «спрогнозувати» потрібний вузол. Оскільки телекомунікаційна мережа представляється у вигляді графа для відображення логічних і фізичних зв'язків між вузлами, то цей тип нейронних мереж підходить для вирішення певних задач телекомунікаційних мереж.

Ціллю GNN є вивчення стану вузла  $h_v$  з урахуванням інформації про стан сусідніх вузлів [15]. У контексті GNN стан вузла  $v$  описується вектором даних розміру  $s$  для генерування вихідних даних  $o_v$ . Припустимо, що  $f$  є параметрична функція, яка передається через кожен вузол та оновлює стан вузла відповідно до вхідних даних. Припустимо, що  $g$  є локальною вихідною функцією, що описує генерацію вихідних даних. Відповідно,  $h_v$  та  $o_v$  визначаються так:

$$h_v = f(x_v, x_{co[v]}, h_{ne[v]}, x_{ne[v]}), \quad (1)$$

$$o_v = g(h_v, x_v), \quad (2)$$

де  $x_v$  – характеристики вузла,  $x_{co[v]}$  – характеристики ребра,  $h_{ne[v]}, x_{ne[v]}$  – стан і характеристики сусідніх вузлів відповідно.

Припустимо, що  $H, O, X, i X_N$  вектори, які побудовані складанням усіх станів, вихідних даних, характеристик і характеристик усіх вузлів відповідно, які можна також представити в такій формі:

$$H = F(H, X), \quad (3)$$

$$O = G(H, X_N), \quad (4)$$

де  $F$  – функція глобального переходу,  $G$  – глобальна вихідна функція, яка складається з групи функцій  $f$  і  $g$  для всіх вузлів графа відповідно.

Наступним етапом є тренування нейронних мереж, тобто навчання параметрів  $f$  і  $g$ . На базі цільової інформації ( $t_v$  для певного вузла) для навчання з наглядцем, втрати можуть бути описані так:

$$l = \sum_{i=1}^p (t_i - o_i), \quad (5)$$

де  $p$  – кількість вузлів.

Проте GNN мають низку недоліків. Одним із таких недоліків є неефективне оновлення збережених станів вузла для фіксованих точок. Це може бути поправлено шляхом додавання шарів до нейронної мережі, що призводить до надлишковості. По-друге, GNN використовує ті самі параметри під час тренування, коли інші нейронні мережі використовують різні параметри в різних шарах. По-третє, деякі характеристики ребер не можуть бути ефективно промодельовані в оригінальних GNN. Проте, незважаючи на низку недоліків, GNN має місце для вирішення певного роду задач у телекомунікаційних мережах.

На базі вищеописаної інформації алгоритми з використанням GNN можна використати для таких цілей:

- оптимізації глобальної маршрутизації в транспортній мережі;
- агрегації трафіку на граничних вузлах;
- комутації трафіку на проміжних вузлах;
- зменшення енергоспоживання мережі загалом.

Перевагами нейронних мереж над звичайними статичними алгоритмами є те, що можна змінювати необхідні характеристики мережі й вузлів  $x_v$ . Тобто зміни вносяться шляхом перетренування нейронної мережі, а не внесенням змін у необхідне програмне забезпечення. Такий підхід дає більшої гнучкості при управлінні мережі, а також швидше вносить зміни в необхідне програмне забезпечення.

**Алгоритм зменшення мережевого трафіку шляхом балансування мережевого навантаження в години найбільшого навантаження.** У роботі проведено моделювання трафіку оптичної транспортної мережі для топології, заданої на рис. 3.

Вузли 1–3 знаходяться в спальному районі міста, 5–6 – у бізнес частині міста, 4 – проміжний вузол між двома районами. Колір вузла визначає завантаженість вузла: темніший колір визначає завантаженість поточного вузла. Передача даних по кільцях може здійснюватися у двох напрямках.

Уявімо, що вузол 1 хоче передати інформацію до вузла 3 по маршруту 1–2–3, проте в цей момент часу вузол 2 перевантажений. Є можливість побудувати альтернативний маршрут 1–4–3. Проте вузол 1 має дізнатися певним чином про завантаженість цього вузла. У представленій

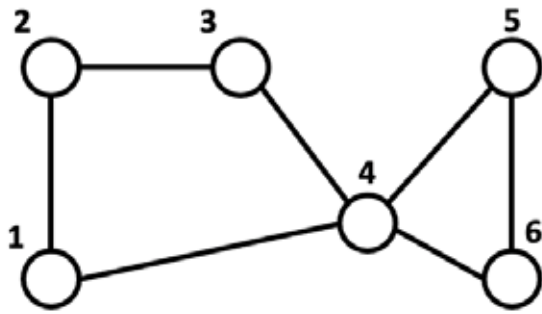


Рис. 3. Досліджувана топологія оптичної транспортної мережі

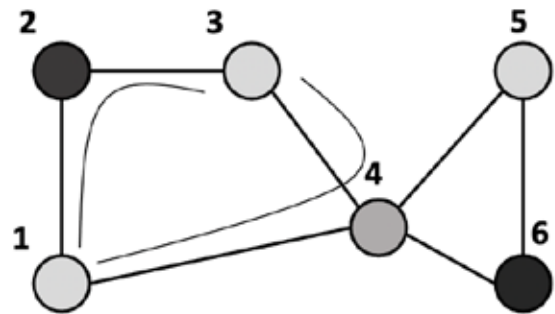


Рис. 4. Завантаженість вузлів і побудова альтернативних шляхів передачі даних

архітектурі (див. рис. 2) роль площини управління здійснює SDN контролер, який, власне, має повідомити, що певний вузол є перевантажений у певний момент часу. Отже, алгоритм на базі GNN має повідомити вузли про стан інших вузлів для корекції маршрутизації.

На рис. 5 представлено алгоритм модифікації маршрутів в оптичній транспортній мережі. До SDN контролера передається інформація про стан вузла з інтервалом  $dt$ . Коли SDN контролер здійснив збір даних від усіх вузлів, він здійснює обчислення необхідних параметрів FE для нейронної мережі. Отримавши необхідні параметри, GNN нейронна мережа повертає стани вузлів мережі. Якщо стани вузлів змінилися щодо останнього вектора станів, то SDN контролер відсилає змінений вектор станів до вузлів. Вузли на базі вектора станів вузлів здійснюють корекції побудови маршрутів передачі даних.

#### Розподіл трафіку

Трафік у мережі має поведінку змінюється протягом дня, а також залежить від розміщення вузлів у бізнес чи житлових районів. Наприклад, у бізнес районі вдень переважають відео й голосові дзвінки, притому спостерігається висока активність передачі даних. Уночі в такому районі переважають статичний трафік від відеокamer, дзвінків охорони тощо. Спостерігаються скачки трафіку під час перезмінки, а також під час обідньої перерви (див. рис. 6а). Для спального району трафік динамічно змінюється протягом доби, проте ввечері спостерігається великий скачок відеоконтенту (див. рис. 6б).

На рис 7. представлено розподіл трафіку згідно з трьома параметрами:

- години дня;
- завантаженості оптичного лінійного тракту (далі – ОЛТ);
- середнього розміру блоку даних;



Рис. 5. Алгоритм модифікації маршрутів в оптичній транспортній мережі

Ці графіки більш наглядно представляють зміну трафіку протягом дня в різних районах міста. Варто наголосити, що не тільки максимальне завантаження ОЛТ призводить до високої завантаженості вузла. Наприклад, велика кількість блоків OLS невеликого розміру можуть призвести до більшого завантаженості вузла, ніж велика завантаженість ОЛТ при великих блоках. Крім того, висока завантаженість центрального процесора вузла призводить до більш високого енергоспоживання вузла.

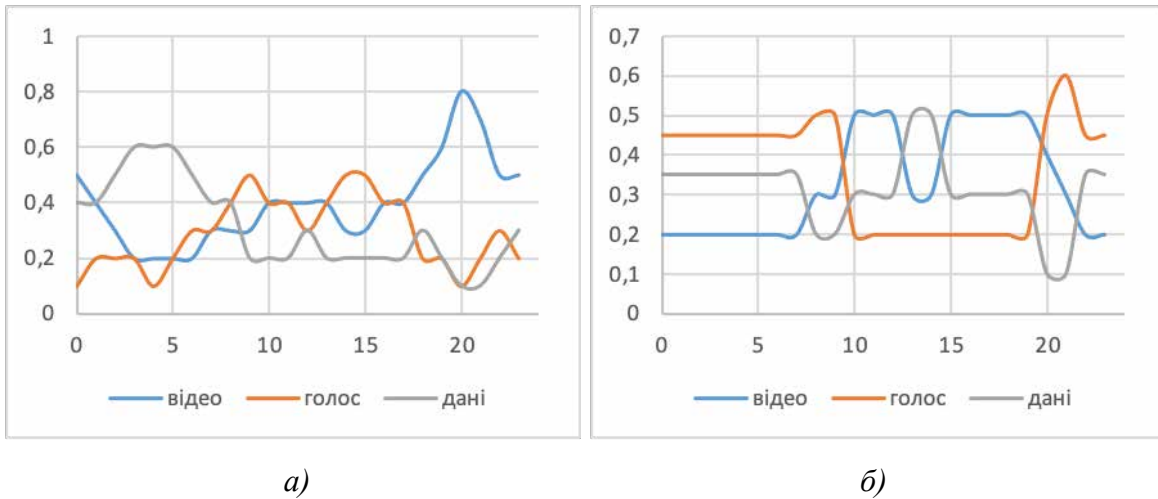


Рис. 6. Розподіл трафіку по годинах для а) – спального району, б) – бізнес району

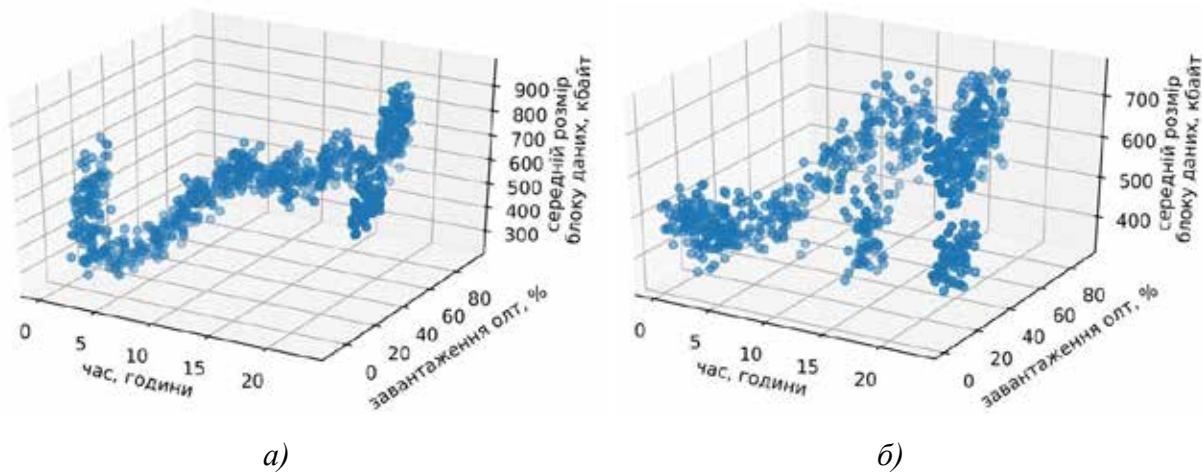


Рис. 7. Згенерований трафік оптичної транспортної мережі для а) – спального району, б) – бізнес району

*Дослідження характеристик вузлів та оптичного лінійного тракту*

У моделюванні для тренування GNN використано такі параметри в якості FE:

- час доби;
- завантаженість центрального процесора вузла;
- навантаження вхідного навантаження вузла;
- середній розмір блоку OLS за час dt;
- розподіл пакетів відео, голосу, даних для яких цей вузол є кінцевий;
- тощо.

Вхідні параметри GNN моделі представлено в таблиці 1. Як згадувалося вище, вхідними параметрами для кожної ітерації тренування є:

- матриця суміжностей на базі мережі, яка представлена на рис. 3;
- вектор характеристик вузла й ребер;
- вектор міток для розмічення тренуваних даних, що відповідають за відповідний стан вузла.

На базі змодельованих даних трафіку оптичної транспортної мережі точність натренованої GNN становить 0,956, що дає можливість правильно трактувати стани вузлів.

Проведено моделювання передачі даних між вузлами 1–3. У моделюванні розглядається два маршрути передачі даних 1–2–3 й 1–4–3. Між 14–19 годинами спостерігається вища затримка, ніж між 19–24 годинами. У моделі це відбувається через перенавантаження вузла 2. Запропонований алгоритм оптимізації на рис. 5 дає змогу здійснити перебудову логічних зв'язків між вузлами 1–3 і здійснити балансування трафіку через вузол 4. У результаті спостерігається зменшення затримки майже на 18% під час 14–19 годин.

**Висновки.** У роботі представлено алгоритм балансування навантаження на базі графових нейронних мереж. Здійснено порівняльний аналіз використання інших нейронних мереж у

## Вхідні параметри тренування нейронної мережі

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Швидкість навчання	0,01	Розмір вибірки тренування	24
Кількість епох	100	Кількість днів моделювання	30

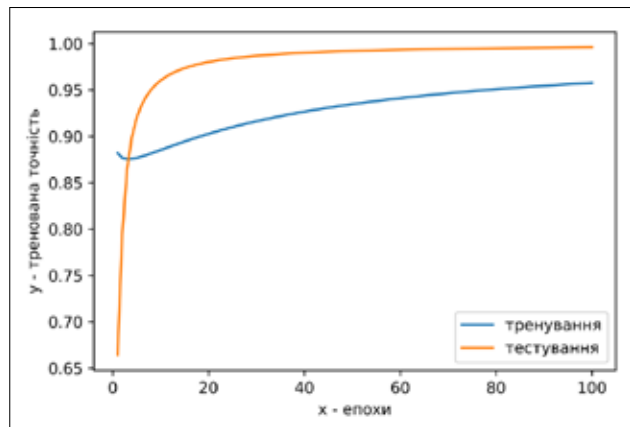


Рис. 8. Результати тренування

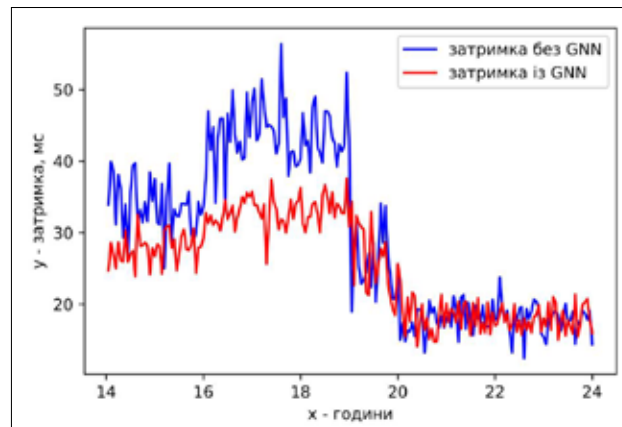


Рис. 9. Моделювання затримки маршрутів між вузлами 1–3

телекомунікаціях, а також наявність стандартів ITU-T для опису використання їх у телекомунікаційних мережах. Представлено архітектуру оптичної транспортної мережі з використанням інфраструктури нейронних мереж. У запропонованій архітектурі відображаються засоби тренування, зберігання й оновлення нейронних мереж. Здійснено моделювання трафіку оптичної транспортної мережі для топології подвійного кільця зі спільним телекомунікаційним вузлом для різних годин доби, а також спального та бізнес районів. Представлено закони розподілу трафіку для цих же районів. Представлено характеристики FE для тренування графових

нейронних мереж. Представлено результати тренування GNN у запропонованому алгоритмі оптимізації балансування трафіку. Переваги розробленого алгоритми є можливість урахувати будь-яку кількість характеристик вузлів чи оптичних лінійних трактів. Додавання чи видалення характеристик не вимагає внесення змін у програмне забезпечення, а лише перетренування й оновлення нейронної мережі. Такий спосіб більш гнучкий і більш дешевий для внесення модифікацій у площину управління мережі. Результати моделювання дало змогу зменшити затримку в години великого навантаження майже на 18%.

## Список літератури:

1. Winzer P.J. Challenges and evolution of optical transport networks 36th *European Conference and Exhibition on Optical Communication*. 2010. 19–23 Sept.
2. Lucent Technologies. A practical vision for optical transport networking. URL: [http://www.ece.ualberta.ca/~grover/mesh\\_networking/wp004%5B1%5D.pdf](http://www.ece.ualberta.ca/~grover/mesh_networking/wp004%5B1%5D.pdf).
3. Makridakis S. The forthcoming Artificial Intelligence (AI) revolution: Its impact on society and firms. *Futures*. 2017. Vol. 90. P. 46–60.
4. Cheatham B., Javanmardian K., Samandari H. Confronting the risks of artificial intelligence. *McKinsey Quarterly*. 2019. April.
5. Cisco. Cisco NCS 4000 400 Gbps DWDM/OTN/Packet Universal Line Card Data Sheet. Link. URL: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/optical-networking/network-convergence-system-4000-series/datasheet-c78-736495.html>.
6. An overview on application of machine learning techniques in optical networks / M. Musumeci, C. Rottondi, A. Nag, I. Masalico, D. Zibar, M. Ruffini, M. Tornatore. *IEEE Commun. Surv. Tut.* 2019. № 21 (2). P. 1383–1408.
7. Gringeri. Flexible architectures for optical transport nodes and networks / S. Gringeri, B. Basch, V. Shukla, R. Egorov, T. J. Xia. *IEEE Communications Magazine*. 2010. Vol. 48. Issue 7. July. P. 40–50.
8. Lee C., Rhee J. Efficient Design and Scalable Control for Store-and-Forward Capable. *Optical Transport Networks*. 2017. Vol. 9. Issue 8. P. 699–710.

9. ITU-T. Y.3172. Architectural framework for machine learning in future networks including IMT-2020.
10. ITU-T. F.748.11 Metrics and evaluation methods for a deep neural network processor benchmark.
11. Інтелектуальне управління інформаційними потоками в оптичних транспортних мережах / В.С. Андрущак, М.В. Кайдан, Т.А. Максимюк, С.С. Думич, Ю.В. Пиріг. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2019. № 97 (3). С. 4–16.
12. Study and Development of Next-Generation Optical Networks / Т. Maksymyuk, S. Dumych, O. Krasko, M. Kaidan and B. Strykhalyuk. *Smart Computing Review*. 2014. Vol. 4. № 6.
13. Scalability Parameter in All-Optical Switches For Optical Label Switching Network / М. Kaidan, V. Andrushchak, Т. Maksymyuk, М. Klymash. *CADSM-2019 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM-2019)* (26 February – 2 March, 2019, Lviv-Svaljava, Ukraine). 2019. P. 120–123.
14. Метод адаптивного логічного розділення мережі 5G на основі глибокого навчання / Т.А. Максимюк, Б.П. Шубин, Д.О. Мисаковець, В.С. Андрущак, С.С. Думич. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського*. 2020. Том 31 (70). № 5. С. 36–41
15. F. Scarselli. The graph neural network model / F. Scarselli, М. Gori, A. Tsoi, М. Hagenbuchner, G. Monfardini. *IEEE Transactions on Neural Networks*. Vol. 20. № 1. P. 61–80. 2009.

### **Andrushchak V.S., Andrukhiv T.V., Maksymiuk T.A., Beshlei M.I., Dumych S.S. INTELLIGENT ROUTING MANAGEMENT IN OPTICAL TRANSPORT NETWORK USING GRAPH NEURAL NETWORK**

*The algorithm of intelligent flow routing control in optical transport networks with the use of graph neural networks is presented in the work. The use of neural networks to solve problems in telecommunications networks is due to the fact that ITU-T already publishes standards for infrastructure and software such as F.748.11 and Y.3172. In addition, a large number of scientific papers are presented to improve the efficiency of networks from the network to the physical level using neural networks. The use of graph neural networks to solve telecommunications problems is due to the fact that the input parameters for training are the characteristics of the network itself. That is, the matrix of adjacencies, characteristics of nodes and edges at a certain point in time are the input parameters for training graph neural networks. Based on these data, you can predict the state in which the node is. This approach allows a more flexible approach to the process of determining the state of the node because it does not require rewriting the software but only administratively changing the parameters of the neural network. The infrastructure of the optical transport network with elements of training, storage and updating of the corresponding neural networks is offered. The traffic simulation of the optical transport network is carried out to determine the efficiency of the developed algorithm. Traffic was modelled based on the distribution of video, voice and data packets depending on the time of day and also the business or sleeping areas of the city. The presented network topology is a double ring with a common telecommunication hub. This allowed us to more accurately reproduce the cases of overload of certain nodes at certain times of the day. The graph neural network is trained on the basis of the simulated traffic and the corresponding characteristics of the node and edges of the considered network topology. The proposed algorithm allowed to reduce the delay during peak hours of the network by 18%.*

**Key words:** optical transport network, graph neural networks, artificial intelligence, intelligent traffic management, routing, traffic modelling.

**Лисенко О.І.**

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

**Романюк В.А.**

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації  
імені Героїв Крут

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Дворська С.В.**

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

**Осинський А.К.**

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

## **КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ЖИВУЧОСТІ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПЛАТФОРМ**

*У статті розглянуто концептуальний підхід до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ.*

*Сформульовано ключові складники для формування концептуальних підходів до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ.*

*Проведено аналіз вихідних даних стосовно наявних безпроводових сенсорних мереж, мобільних телекомунікаційних платформ, сенсорних вузлів, Центрив управління збором інформації з елементів безпроводових сенсорних мереж, Аналіз алгоритмів керування для безпроводових сенсорних мереж та показників оцінки ефективності процесу керування мобільними телекомунікаційними платформами.*

*Розглянутий концептуальний підхід дозволяє більш ефективно використовувати технічні можливості безпроводових сенсорних мереж шляхом парировання впливу зовнішніх та внутрішніх деструктивних факторів на можливість виконувати мережею її функції за призначенням завдяки використанню мобільних телекомунікаційних платформ.*

*Показано, що комплексне застосування алгоритмів кластеризації, способів збору даних, стратегій мобільності телекомунікаційних платформ, моделей обміну даними є тими керуючими операціями, які забезпечують функціональну живучість безпроводової сенсорної мережі.*

*Запропонований концептуальний підхід є базовим теоретичним положенням, яке дозволяє ефективно розвивати та впроваджувати у реальні моніторингові системи існуючі і перспективні технологічні рішення у вигляді інтегрованого застосування безпроводових сенсорних мереж та інтелектуальних мобільних інформаційно-телекомунікаційних роботизованих платформ.*

**Ключові слова:** *безпроводові сенсорні мережі, мобільні сенсори, телекомунікаційні платформи, концептуальний підхід, математичні методи та моделі.*

**Постановка проблеми.** Управління сталим розвитком як окремих регіонів окремих країн, так і регіонів розташування усіх країн світу загалом вимагає отримання повної своєчасної і достовір-

ної інформації про процеси, що відбуваються у цих регіонах.

Сучасні технології дозволяють отримати цю інформацію в узагальненому вигляді із викорис-



танням супутникових систем спостереження. Але конкретну і детальну інформацію можливо отримати лише завдяки сенсорним мережам, які розташовані безпосередньо на об'єкті спостереження і дають детальну і, в разі необхідності, мульти-сенсорну інформацію про ситуацію на об'єктах різного просторового масштабу і просторового впливу на людей та природне середовище.

Проблема глобальної сенсоризації людської діяльності може бути вирішена завдяки використанню стаціонарних та мобільних безпроводових сенсорних мереж (БСМ).

Прикладами таких мереж можуть бути мережі глобального спостереження за процесами, що відбуваються у світовому океані або мережі спостереження та попередження про землетруси та цунами, або мережі спостереження за станом природного середовища та екологічним станом промислових зон, або за розвитком фіто- та зооценозу в заповідних зонах, або за окремими видами тварин та рослин, які віднесені до червоної книги та мешкають у важкодоступних місцях.

Особливістю такого класу БСМ є той факт, що вони складаються із сотень і тисяч вузлів із обмеженим ресурсом за енергетикою акумуляторів, обчислюваними можливостями мікропроцесорів, потужністю передавача, пропускною спроможністю каналу зв'язку тощо.

Питання раціонального споживання електроенергії вузлами стає ключовим питанням для підтримки живучості БСМ. Найявні сьогодні методи використання мобільних телекомунікаційних платформ в інтересах БСМ не розглядали їх використання для підтримки живучості мережі.

Викладанню концептуального підходу до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ і присвячена ця стаття.

**Постановка завдання.** Структура аналізу живучості БСМ полягає в дослідженні [1]:

- критичних елементів БСМ, вихід з ладу яких призводить до розпаду мережі на незв'язані сукупності частини;
- зовнішніх та внутрішніх впливів, які призводять до загублення зв'язності;
- можливостей щодо відновлюваності раціональних показників функціонування мережі;
- кількісних показників, що характеризують живучість БСМ.

**Методологія та методи.** Загальнотеоретично живучість забезпечується технологіями розпізнавання, протидії, відновлення, адаптації (інва-

ріантності та квазіінваріантності), реконструкції, реконфігурації та реорганізації.

Технологія розпізнавання кібератаки у БСМ використовує методи:

- діагностики стану елементів мережі;
- ідентифікації взаємодіючих елементів;
- оповіщення центру управління мережею про наближення до критичного стану;
- реєстрації подій в мережі та умови їх виникнення;
- аналізу моделей поведінки елементів мережі.

Технологія протидії (технологія кризисного управління) БСМ спрямована на прогнозування моменту часу переходу БСМ на режим функціонування у нештатній ситуації і використовує методи:

- обґрунтування раціональної надмірності ресурсів у мережі;
- теорії ігрових рішень для мережі;
- авторизації елементів мережі.

Технології відновлення у БСМ використовують методи оперативного відновлення функціональної живучості для передбачуваних нештатних ситуацій (методи, які дозволяють заздалегідь розробити алгоритми, за якими потрібно парувати нештатну ситуацію, яка точно ідентифікована як передбачувана).

Технології адаптації, інваріантності та квазіінваріантності у БСМ використовують методи оперативного відновлення функціональної живучості для непередбачуваних нештатних ситуацій (тобто методи, які дозволяють заздалегідь розробити алгоритми підтримання та відновлення функціональної живучості в умовах різних типів поперечної невизначеності).

Технології реорганізації, реконфігурації та реконструкції у БСМ використовують методи, які дозволяють відповідно розробити алгоритми оперативного перерозподілу функцій між елементами БСМ, перебудови структури обміну службовою та прикладною інформацією в БСМ та спланувати плавну нехтовно малу деградацію системи протягом максимального часу, коли цілі функціонування БСМ ще виконуються.

Техніко-технологічним прототипом концептуального підходу до побудови технології забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ можливо вважати підхід, який використано в технології побудови Wireless Mesh Network (WMN). Mesh-мережі за своєю структурою складаються із декількох кластерів (в загальному випадку їх кількість не обмежена). В Mesh-мережі підтриму-

ється динамічна маршрутизація трафіку між точками доступу за оптимальним (за критерієм часу) маршрутом, забезпечується функціональна живучість мережі при відмовах деяких її елементів.

Стосовно БСМ можливо стверджувати, що, базуючись на техніко-технологічному прототипі та комбінованому використанні наведених вище технологій, є можливість розробляти конкретні методики, процедури та алгоритми забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі у вигляді:

- 1) методики формулювання кількісних показників живучості;
- 2) процедури попереднього ретроспективного аналізу ситуацій втрати живучості;
- 3) алгоритмів забезпечення зв'язності;
- 4) алгоритмів забезпечення якості передачі сигналу;
- 5) алгоритмів забезпечення пропускної здатності;
- 6) алгоритмів управління взаємодією елементів БСМ.

**Виклад основного матеріалу.** Глобальна (регіональна) БСМ складається із деякої кількості мультисенсорних мобільних, квазімобільних та стаціонарних датчиків первинної інформації, тобто сенсорних вузлів. Окрім чуттєвих елементів, до складу сенсорного вузла входить блок живлення, мікропроцесор, приймально-передавальний пристрій, система забезпечення мобільності (якщо вузол є мобільним або квазімобільним).

У мікропроцесорі запрограмовані алгоритми, які дозволяють:

- зменшити енергоспоживання підсистемами сенсорного вузла;
- визначити просторові координати вузла та керувати взаємодією окремого сенсорного вузла із іншими складниками мережі;
- ідентифікувати найближче оточення;
- виконати операції щодо самоорганізації у кластері або локальній мережі із спеціальними властивостями;
- перевіряти наявність глобальної зв'язності.

Підкреслимо, що сенсорні вузли (мобільні, квазімобільні і стаціонарні) можуть бути розташовані у різних середовищах: на дні водойм; під водою; на поверхні води; на твердій поверхні; у повітрі; у космічному просторі.

Розглядається БСМ із сенсорними вузлами, що розташовані у різних середовищах.

Вважається, що функціональна живучість БСМ забезпечена, якщо періодично, через інтервал часу, відбувається передача інформації, що

зібрана із усіх сенсорів, які ще не відмовили, у центр управління.

Під впливом внутрішніх та зовнішніх збурень мережа втрачає свою цілісність, тобто розпадається на деяку кількість сукупностей сенсорних вузлів, які зберігають зв'язність лише в цій сукупності (кластері). Підкреслимо, що щільність розташування сенсорних вузлів та запас енергетичного ресурсу кожного сенсорного вузла будуть різними. Необхідно підтримати спроможність вже не цілісної мережі, а набору сенсорних сукупностей, передати усю накопичену при кінці кожного інтервалу часу  $T_0$  до центру управління.

На відміну від БСМ неперервного часу (або, як кажуть, оперативних систем чи систем реального часу), в БСМ дискретного часу (або, як кажуть, Delay Tolerant Networks) можливо використати мобільні платформи (підводні, надводні, повітряні або навіть космічні, зрозуміло, залежно від середовища розташування сенсорних вузлів БСМ) для збирання інформації та (або) відновлення зв'язності мережі і підвищення її пропускної здатності із заданою якістю передавання інформації.

Ключовими складниками для формулювання концептуальних підходів до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ є [2; 3; 4]:

1. Ідентифікація та прогнозування на один чи декілька періодів спостереження вектору стану кожного елемента БСМ (сенсорних вузлів, маршрутизаторів, шлюзів контролерів): просторових координат; залишку енергії в акумуляторній батареї; результати самоконтролю внутрішніх параметрів елементів БСМ; об'єм та важливість даних моніторингу, які очікують на передавання у наступному циклі.

2. Призначення головного вузла (вузла, який займається збором інформації із закріплених за ним на поточний цикл сенсорних вузлів).

3. Розрахунок траєкторії руху мобільної телекомунікаційної платформи для зчитування інформації з головного вузла.

Концептуальний підхід до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ передбачає, що як вихідні дані повинні бути відомі: початкова просторова структура та якісний і кількісний склад БСМ (тобто із яких елементів складається БСМ та їх технічні характеристики, включаючи і показники мобільності); алгоритм самоорганізації, визначення просторових координат, управління радіо-

технічними та телекомунікаційними параметрами елементів БСМ; технічні характеристики мобільних телекомунікаційних платформ (як ті, що складають вектор телекомунікаційних параметрів, так і ті, що складають вектор, що описує динаміку руху платформи).

Припускаємо, що безпроводовий обмін інформацією із зануреними під воду елементами БСМ реалізується завдяки акустичним сигналам, а у повітряному та космічному просторі використовуються радіотехнічні та лазерні технології передачі та приймання телекомунікаційних сигналів.

Для прийняття рішення щодо забезпечення функціональної живучості БСМ необхідно сформулювати критерій цієї функціональної живучості. Зважаючи на те, що БСМ є елементом інформаційно-керуючої системи, в якій для прийняття управлінських рішень потрібно отримувати інформацію від БСМ із періодом не більше  $T_0$ , пропонується прийняти критерій функціональної живучості БСМ у вигляді

$$\tau_{\Sigma} \leq T_0,$$

де  $\tau_{\Sigma}$  – реальний час, який витрачається на збір інформації у БСМ.

Необхідно сформулювати складники концептуального підходу до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ.

Складниками концептуального підходу будемо вважати:

1. Підхід до визначення множини точок, біля яких бажано розташовувати мобільні телекомунікаційні платформи для збору інформації із сенсорних вузлів БСМ.

2. Підхід до визначення траєкторії переміщення мобільних телекомунікаційних платформ між точками, що визначені у підході 1.

3. Підхід до вибору моделі інформаційного обміну між мобільними телекомунікаційними платформами та елементами БСМ.

Обґрунтування складників концептуального підходу базується на наступних попередніх дослідженнях: аналізі вихідних даних; аналізі алгоритмів керування для БСМ та показників оцінки ефективності процесу керування мобільними телекомунікаційними платформами.

Розглянемо попередні дослідження, які необхідно виконати для обґрунтування складників концептуального підходу до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ.

### **1. Аналіз вихідних даних стосовно наявних БСМ, мобільних телекомунікаційних платформ, сенсорних вузлів, Центрів управління збором інформації з елементів БСМ**

Виконується аналіз параметрів БСМ, сенсорних вузлів, мобільних телекомунікаційних платформ, вимог до складу та якості інформації від БСМ, а також аналіз соціо-еколого-економічних показників функціонування БСМ.

До загальних параметрів БСМ слід віднести:

– просторові розміри фізичного середовища моніторингу та його рельєф, просторовий спектр фізичних величин, які підлягають моніторингу, максимальна та мінімальна кількість сенсорних вузлів та інших елементів БСМ, що можуть бути розгорнуті на території моніторингу;

– якісний та кількісний склад антропоморфних об'єктів, що розташовані на території моніторингу;

– періодичність отримання інформації від БСМ (часовий спектр фізичних величин, які підлягають моніторингу, тобто періодична фіксація значення фізичної величини у детерміновані моменти часу, або фіксація події у випадковий неперервний момент часу та її кількісної характеристики);

– дані про початкове реальне розміщення сенсорних вузлів та інших елементів БСМ на території моніторингу та запас енергії в акумуляторах (початковий вектор стану), а також інформація про спосіб отримання даних про вектор стану елементів мережі в процесі функціонування БСМ.

До параметрів мобільних телекомунікаційних платформ слід віднести:

– тип мобільності телекомунікаційної платформи, початковий вектор її стану та процедуру визначення цього вектору стану в процесі функціонування (тобто навігаційні параметри, енергетичні та телекомунікаційні характеристики);

– спосіб отримання інформації мобільною телекомунікаційною платформою від БСМ.

До параметрів сенсорних вузлів слід віднести:

– графік роботи (спостереження, передача інформації, прийом зовнішніх сигналів, первинна обробка результатів спостереження, режим енергозберігання);

– інтенсивність та обсяг надходження службової та прикладної інформації від зовнішніх об'єктів;

– просторові характеристики системи збору інформації сенсором;

– просторові характеристики системи передачі інформації сенсором;

- кількісні показники споживання енергії відповідно до графіку роботи сенсора;
- потужність передавача із урахуванням можливості керувати цією потужністю, чуттєвість приймача сигналів, протокол інформаційного обміну каналного рівня (тобто відомості про швидкість та дальність передачі інформації);
- технічні характеристики мікропроцесора;
- протоколи обміну інформацією для різних рівнів моделі OSI;
- методи та алгоритми обміну інформацією між елементами БСМ.

До параметрів Центру управління збором інформації слід віднести:

- параметри системи керування мобільністю телекомунікаційної платформи;
- кількість мобільних телекомунікаційних платформ, яка може бути задіяна для збору інформації з БСМ;
- телекомунікаційні параметри Центру управління збором інформації;
- періодичність отримання інформації від БСМ (тобто  $T_0$ ).

## **2. Аналіз алгоритмів керування для БСМ та показників оцінки ефективності процесу керування мобільними телекомунікаційними платформами**

Для забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ необхідно створити відповідну багаторівневу взаємопідпорядковану (тобто ієрархічну) інформаційно-керуючу систему.

Інформаційно-керуюча система забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ складається із системи керування мережею (Центр керування) і систем керування відповідно мобільними телекомунікаційними платформами та елементами БСМ.

Алгоритм роботи системи керування мережею складається із взаємодіючих алгоритмів:

- телекомунікаційного обміну інформацією (службовою та прикладною, тобто моніторинговою);
- обробки інформації про стан елементів мережі та самоконтролю;
- комплексної обробки прикладної інформації (тобто моніторингової інформації, заради якої і забезпечується функціональна живучість безпроводової сенсорної мережі);
- забезпечення інклюзивно раціонального використання енергетичних ресурсів елементів БСМ;

- синтезу траєкторії руху мобільних телекомунікаційних платформ;
- організації та координації.

Алгоритм роботи системи керування мобільними телекомунікаційними платформами складається із взаємодіючих алгоритмів:

- телекомунікаційного обміну інформацією (службовою та прикладною, тобто моніторинговою);
- забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів, що знаходяться на борту телекомунікаційної платформи;
- накопичення та попередньої обробки інформації про стан елементів мережі та самоконтролю;
- попередньої обробки прикладної інформації (тобто моніторингової інформації, заради якої і забезпечується функціональна живучість безпроводової сенсорної мережі);
- стабілізації на оптимальній траєкторії руху та адаптації до конкретних умов руху.

Алгоритм роботи системи керування елементами безпроводової сенсорної мережі складається із взаємодіючих алгоритмів:

- телекомунікаційного обміну інформацією (службовою та прикладною, тобто моніторинговою);
- забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів, що знаходяться на борту сенсорного вузла (або маршрутизатора, або шлюзу, або контролера);
- первинної обробки інформації та самоконтролю;
- керування рухом (якщо елемент БСМ є мобільним чи квазімобільним).

Оцінювати ефективність функціонування БСМ як загалом, так і за умови забезпечення функціональної живучості на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ можливо по векторному критерію, до якого входять критерії оцінки технічної, економічної та екологічної ефективності.

Зупинимось лише на розгляді пріоритетних технічних показників:

- 1)  $\tau_{\Sigma}$  – реальний час, який витрачається на збір інформації у БСМ;
- 2)  $M_{TP}$  – кількість мобільних телекомунікаційних платформ;
- 3)  $n \cdot T_0$ ,  $n \in N_0 = \{0, 1, 2, \dots\}$  час функціонування БСМ.

Якщо вектор керуючих змінних позначити  $U$ , множини обмежень на керуючі змінні побудовану із врахуванням обмеження  $\tau_{\Sigma} \in [0; T_0]$ , яке кількісно характеризує забезпечення функціональної

живучості безпроводової сенсорної мережі позначити  $\Omega$ , то задача багатокритеріальної оптимізації із урахуванням вимоги забезпечення функціональної живучості набуває вигляду

$$\left[ \begin{array}{l} \tau_{\Sigma} \rightarrow \min_{U \in \Omega} \\ M_{TP} \rightarrow \min_{U \in \Omega} \\ n \cdot T_0 \rightarrow \max_{U \in \Omega} \end{array} \right].$$

Звернемо увагу на те, що  $T_0 = const$ , тобто необхідно максимізувати дискретний час  $n$ .

Впливати на  $\tau_{\Sigma}$  можливо шляхом застосування різних техніко-технологічних рішень. У цій роботі пропонується застосувати мобільні телекомунікаційні платформи.

Вектор стану технічної системи, що складається із безпроводової сенсорної мережі та мобільних телекомунікаційних платформ, вектор керуючих змінних і множина обмежень в кожному конкретному випадку буде залежати від конструктивних характеристик апаратних засобів БСМ та алгоритмічно-програмного забезпечення її функціонування, а також від тактико-технічних характеристик мобільних телекомунікаційних платформ.

Наприклад: об'єму даних моніторингу; довжини маршруту пресування мобільних і квазімобільних елементів БСМ; траєкторії руху телекомунікаційних платформ та швидкості їх руху по цих траєкторіях; швидкості обміну інформацією між елементами БСМ та телекомунікаційною платформою (залежить від MAC-протоколу, відстані між вузлами БСМ та платформою); прийомів (стратегій) побудови кластерів у БСМ та пересування в них телекомунікаційної платформи; способів керування потужністю передавачів сенсорних вузлів; об'єму службового трафіка; алгоритмів, які забезпечують скорочення часу перебування елементів БСМ у активному стані та збільшення часу перебування у режимі економії енергії, розбиття на незалежні множини вузлів, що покривають певну область моніторингу, та складання графіків моніторингу по множинах, побудови та підтримання топології і маршру-

тів передачі інформації кластерах, використання енергозберігаючих метрик для вибору головних вузлів у кластерах, керування на всіх рівнях OSI, агрегації даних моніторингу, розподілення БСМ на декілька підмереж із подальшою оптимізацією їх взаємодії із мобільною телекомунікаційною платформою тощо.

Запропонований підхід було застосовано під час побудови математичної моделі та імітаційному комп'ютерному моделюванні процесу забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання телекомунікаційних аероплатформ [4].

Результати імітаційного експерименту показали, що час функціонування БСМ (час «життя» БСМ) було збільшено на 15–17% і при цьому на 15% та 20% відповідно вдалося зменшити необхідну кількість телекомунікаційних аероплатформ та час збору інформації у БСМ.

**Висновки.** У статті розглянуто концептуальний підхід до забезпечення функціональної живучості безпроводової сенсорної мережі на основі використання мобільних телекомунікаційних платформ.

Розглянутий концептуальний підхід дозволяє більш ефективно використовувати технічні можливості безпроводових сенсорних мереж шляхом парировання впливу зовнішніх та внутрішніх деструктивних факторів на можливість виконувати мережею її функцій за призначенням завдяки використанню мобільних телекомунікаційних платформ.

Показано, що комплексне застосування алгоритмів кластеризації, способів збору даних, стратегій мобільності телекомунікаційних платформ, моделей обміну даними є тими керуючими операціями, які забезпечують функціональну живучість безпроводової сенсорної мережі.

Запропонований концептуальний підхід є базовим теоретичним положенням, яке дозволяє ефективно розвивати та впроваджувати у реальні моніторингові системи існуючі і перспективні технологічні рішення у вигляді інтегрованого застосування безпроводових сенсорних мереж та інтелектуальних мобільних інформаційно-телекомунікаційних роботизованих платформ.

#### Список літератури:

1. Марченко В.С., Яковлев С.В., Горбатчик О.С. та ін. Забезпечення функціональної безпеки критичних інформаційно-керуючих систем6 монографія / за ред. В.С. Марченка, С.В. Яковлева. Харків : Константа, 2019. 272 с. ISBN 978-966-342-415-6
2. Romaniuk V., Lysenko O., Romaniuk A., Zhuk O. Increasing the efficiency of data gathering in clustered wireless sensor networks using UAV *Information and telecommunication sciences*. 2020. Vol. 11, no. 1. С. 102–107. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.102-107>.

3. Новіков В.І., Лисенко О.І., Валуйський С.В., Гуйда О.Г. Математичні моделі, методи та алгоритми оптимізації показників функціонування безпроводових сенсорних мереж із мобільними сенсорами й телекомунікаційними аероплатформами *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*. Том 31 (70) № 3. 2020. Частина 1. С. 54-64. DOI <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.3-1/09>

4. Anton Romaniuk, Valery Romaniuk, Myroslav Sparavalo. Olexandr Lysenko, Olexandr Zhuk Synthesis of data collection methods by telecommunication aerial platforms in wireless sensors networks. *Problematics. Information and telecommunication sciences*. 2020. Vol. 12, no. 2. URL: <http://infotelesc.kpi.ua/article/view/221266>

**Lysenko O.I., Romaniuk V.A., Guida O.G, Dvorskaya S.V., Osinskiy A.K. CONCEPTUAL APPROACH TO SURVIVABILITY FUNCTIONAL WIRELESS SENSOR NETWORKS THROUGH THE USE OF MOBILE TELECOMMUNICATION PLATFORM**

*The article considers a conceptual approach to ensuring the functional survivability of a wireless sensor network based on the use of mobile telecommunications platforms.*

*The key components for the formation of conceptual approaches to ensuring the functional survivability of the wireless sensor network based on the use of mobile telecommunications platforms are formulated.*

*The analysis of initial data concerning existing wireless sensor networks, mobile telecommunication platforms, sensor nodes, Control centers of information collection from elements of wireless sensor networks, Analysis of control algorithms for wireless sensor networks and indicators of efficiency of process of management of mobile telecommunication platforms is carried out.*

*The considered conceptual approach allows to use more effectively technical possibilities of wireless sensor networks by fending off influence of external and internal destructive factors on an opportunity to carry out a network of its functions on purpose thanks to use of mobile telecommunication platforms.*

*It is shown that the complex application of clustering algorithms, data collection methods, mobility strategies of telecommunication platforms, data exchange models are the control operations that ensure the functional survivability of the wireless sensor network.*

*The proposed conceptual approach is a basic theoretical position that allows to effectively develop and implement in real monitoring systems existing and promising technological solutions in the form of integrated application of wireless sensor networks and intelligent mobile information and telecommunication robotic platforms.*

**Key words:** *wireless sensor networks, mobile sensors, telecommunication platforms, conceptual approach, mathematical methods and models.*

УДК 621.396

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-1/03>**Літвінов Є.А.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Сайченко І.О.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНОГО РАДІО ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕДАННЯ СИГНАЛІВ У ВИДИМОМУ СВІТЛІ

У роботі розроблено пропозиції до побудови стенда з використанням GNU Radio для дослідження технології передавання даних із використанням технології видимого світла. Зв'язок у видимому світлі (VLC) може використовуватися для побудови мереж бездротового доступу з високою пропускну здатністю та швидкістю передавання даних. Основною перевагою зв'язку у видимому світлі є відсутність перешкод для радіочастотних сигналів. Це дає можливість використовувати зв'язок у видимому світлі в лікарнях, на космічних станціях, а також дає можливість зв'язку під водою. Безпека, прості процедури реалізації та характеристики діапазону, що не потребує ліцензії, також збільшують використання зв'язку у видимому світлі для різних додатків.

Метою роботи є надання інструкцій із проектування та реалізації випробувального стенду для зв'язку у видимому світлі з використанням програмно-конфігурованого радіо.

У статті описано архітектуру VLC, представлено можливість використання програмно-конфігурованого радіо як відправної точки для розроблення комерційних додатків VLC.

Технологія SDR забезпечує основу, яка може сприяти впровадженню програм на ринок, пробудити інтерес промислових гравців і скоротити час виведення на ринок продуктів, що відповідають стандартам, у майбутньому. Ключовими проблемами реалізації системи VLC є забезпечення можливості передавання даних для світлодіодного світильника з мінімальним зміною його характеристик освітлення і вартості виробництва. Таким чином, цю реалізацію можливо доопрацювати, скоротивши розрив між галуззю і дослідницьким співтовариством.

Було спроектовано прототип передавання даних у видимому світлі, який використовує програмно-конфігуроване радіо для взаємодії між аналоговими пристроями і комп'ютером, на якому виконується оброблення сигналу. Використання цієї концепції забезпечує системі достатню гнучкість і модульність для включення нових функцій у прототип, не вимагаючи тривалого часу на розроблення.

Проведено тестування цієї платформи, під час якого вдалося передати текстовий файл.

Надано висновок, що ця реалізація стенда передавання у видимому світлі може слугувати відправною точкою для розроблення комерційних додатків VLC із низькою і середньою швидкістю передавання даних.

**Ключові слова:** зв'язок із використанням видимого світла, VLC, IEEE 802.15.7, програмно-конфігуроване радіо, SDR, GNU Radio, USRP.

**Постановка проблеми.** Подальший розвиток радіосистем бездротового зв'язку пов'язаний із низкою проблем. Ними є нестача радіочастотного спектра, низька енергоефективність (безліч базових станцій споживають величезну кількість енергії для ретрансляції сигналів і охолодження обслуговувального обладнання), обмеження на використання радіозв'язку (в літаках, лікарнях та ін.), недостатня безпека (радіохвилі можуть про-

никати крізь стіни і надавати шкідливий вплив на біологічні та технічні об'єкти).

Одним із можливих напрямів вирішення цих проблем є застосування технології зв'язку за видимим світлом (VLC).

Visible light communication (VLC) – технологія, яка дозволяє джерелу світла (в додатку до освітлення) передавати інформацію, використовуючи той самий світловий сигнал. Причому можуть

використовуватися як світлові хвилі області інфрачервоного діапазону випромінювання, так і хвилі спектра видимого світла.

Зв'язок у видимому світлі (VLC) – це сфера досліджень у галузі оптичних комунікацій у вільному просторі, що розвивається. Розвиток потужних білих світлодіодів протягом останніх десятиліть призвів до розроблення недорогих освітлювальних пристроїв із кращими характеристиками як із точки зору енергоефективності, так і з точки зору очікуваного терміну служби. Очікується, що світлодіоди замінять лампи розжарювання і люмінесцентні лампи в системах освітлення нового покоління. Тим не менше, ці пристрої можуть використовуватися не тільки для освітлення. Використання світлодіодів для передавання даних як джерела освітлення привернуло увагу дослідницького співтовариства, а також глобальні зусилля зі стандартизації.

Використання технології VLC дає безліч переваг із точки зору доступної смуги пропускання, відсутності перешкод радіодіапазону, що особливо важливо через брак деяких смуг частот, потенційного просторового повторного використання, внутрішнього захисту від підслуховування і всього іншого. Цього можна домогтися за допомогою енергоефективних пристроїв і без високих витрат на розгортання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Інтерес, проявлений дослідним співнотою до галузі VLC в останні роки, привів до розроблення демонстраційних стендів, здатних довести можливість використання цієї нової технології для бездротових додатків. Грунтуючись на методі модуляції, що використовується для передавання інформації, ці демонстратори можна розділити на дві групи: одна використовує модуляцію двоїчного рівня, а друга – схему багаторівневої модуляції.

Модуляція двоїчного рівня належить до методів модуляції, в яких інформація відправляється в кожному періоді символу за допомогою зміни двох рівнів інтенсивності. Ці методи є популярними схемами, які використовуються для дротового зв'язку, їх головна перевага полягає в тому, що вони прості й недорогі в реалізації. У [1] повідомлялося про реалізацію, засновану на безповоротному переході до нуля (NRZ) on-off-keying (ООК), що пропонує швидкість передавання даних 40 Мбіт/с. Основне обмеження в разі схем модуляції двоїчного рівня пов'язане з невеликою пропускну здатністю, пропонувано пристроями з білими світлодіодами. Щоб подолати цю проблему, рішення, засноване на пост-корекції, було

запропоноване в [2], де повідомляється про швидкість передавання даних 100 Мбіт/с для NRZ-ООК. Попередні демонстрації проводилися з використанням оптоелектронних приймачів на основі фотодіода PIN. Кращі результати можуть бути отримані під час використання лавинних фотодіодів (APD) у конструкції оптоелектронного приймача. У [3] повідомляється про швидкість передавання даних 230 Мбіт/с. Ця продуктивність досягається за рахунок використання модуляції ООК і приймача VLC на основі APD.

Багаторівнева модуляція належить до методів модуляції, в яких інформація направляєтся шляхом зміни значень інтенсивності в безперервному діапазоні або з використанням набору зумовлених значень [4]. Оскільки вони забезпечують краще використання доступної смуги пропускання, системи, засновані на цих схемах модуляції, можуть досягати більш високих швидкостей передавання даних. Фактично, про швидкості передавання даних у Гбіт/с повідомляється в літературі з використанням дискретної багатотональної модуляції (DMT). Наприклад, у [5] представлено системи VLC на основі білих світлодіодів, які забезпечують швидкість передавання даних 1,1 Гбіт/с. Використовуючи багатобарвні світлодіодні пристрої, такі як світлодіоди RGB, можна отримати більш високу швидкість передавання даних, оскільки можна використовувати кілька каналів зв'язку. У [6] повідомляється про швидкість передавання даних 3,4 Гбіт/с з використанням RGB-світлодіодів і схеми модуляції DMT.

Аналізуючи публікації, пов'язані з VLC, стає зрозуміло, що високі швидкості передавання даних досяжні, що робить цю технологію потенційною альтернативою технології, заснованої на радіозв'язку. За умов більш уважного розгляду експериментальної установки, представленої в цих статтях, можна побачити, що результати отримані в особливих умовах і що радіус дії бездротового зв'язку становить близько десяти сантиметрів. Тим не менш, вони представляють значні досягнення і важливий доказ того, що VLC може слугувати додатковою технологією для бездротового зв'язку.

**Постановка завдання.** Надання інструкцій із проектування та реалізації випробувального стенда для зв'язку у видимому світлі з використанням програмно-конфігурованого радіо та програмного забезпечення GNU Radio.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**VLC система зв'язку.** Основні блоки системи VLC представлено на рис. 1.



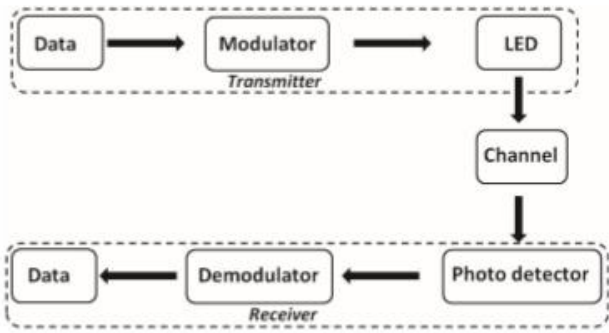


Рис. 1. Основні блоки передавання в системах VLC

Технологія VLC є частиною набору оптичних бездротових комунікацій (OWC). Отже, фізичні оптичні принципи можуть бути застосовані до систем VLC. Фактично, носієм у VLC є видимі промені, які використовуються для освітлення. VLC зазвичай характеризується передаванням невід’ємних і некогерентних сигналів. Він дотримується принципу зв’язку, в якому розглядаються три основні частини: передавач, канал і приймач. На рис. 1 показано основні блоки системи передавання VLC. Він складається з передавача, каналу і приймача, а для системи, спотвореної адитивним білим гаусовим шумом (AWGN), передавання завжди визначається

$$r_i = Hs_i + \omega_i$$

де  $r_i$  і  $s_i$  є прийнятим і переданим наборами символів відповідно,  $H$  є відповіддю каналу і  $\omega_i$  шум каналу. Відповідну модель для систем зв’язку VLC зображено на рис. 2. Вона показує два електричних домени та один оптичний домен. Модульований сигнал, який додається до напруги постійного струму, використовується для живлення світлодіоду, що становить передавач. Світлодіод у своїй роботі випромінює світло і одночасно передає інформацію каналом. Приймач виконаний із фотоприймача (PD) і демодулятора. PD виявляє світло і виробляє електричний сигнал, що складається з повідомлення плюс шум. Частина шуму тут створюється каналом, хоча в моделі ми представляємо загальний шум в електричній сфері. Це пов’язано з тим, що PD перетворює і повідомлення, і оптичний шум в електричний струм.

ВLC-передавач. У системах VLC передавач групує в одному модулі джерело даних, модуль модуляції і світлодіод. Останні два елементи є дуже важливими в передавачі VLC. У системах VLC використовуються два типи світлодіодів: одноколірні і багатоколірні. Барвисті світлодіоди об’єднують в одному пакеті кілька одноколірних світлодіодів. Найбільш використовуваний багатобарвний світлодіод – це червоно-зелено-синій (RGB). У системах із декількома несучими кожен із кольорових світлодіодів, включених у комплект, є антеною, що відповідає одному каналу. У системі стільки каналів, скільки світлодіодів в упаковці. Отже, ця кількість кольорових світлодіодів буде забезпечувати однакову кількість окремих каналів. Отже, передавач RGB-LED розглядається як спеціальний багатоканальний передавач, який можна використовувати для розгортання методів модуляції на декількох несучих. Наприклад,  $(3 \times 3)$  MIMO метод можна застосовувати для каналу VLC [7; 8]. На рис. 3 зображено два поширених типи передавачів VLC: на рис. 3-а – один передавач VLC і на рис. 3-б – 3-канальний передавач VLC.

Канал VLC. У комунікації канал є простором між передавачем і приймачем. У цьому просторі на сигнал впливає багато факторів, таких як загасання, перешкоди і шум. У технології VLC канал – це простір між світлодіодом і фотодетектором. Два основних типи каналів, які розглядаються в системах зв’язку VLC: один канал VLC, що включає один світлодіод і один фотодетектор, а також багатоканальні системи VLC, у яких передавач складається з різнокольорових світлодіодів. У другому випадку фотодетектор складається з більше ніж одного детектора, кожен із яких чутливий до кольору від передавача.

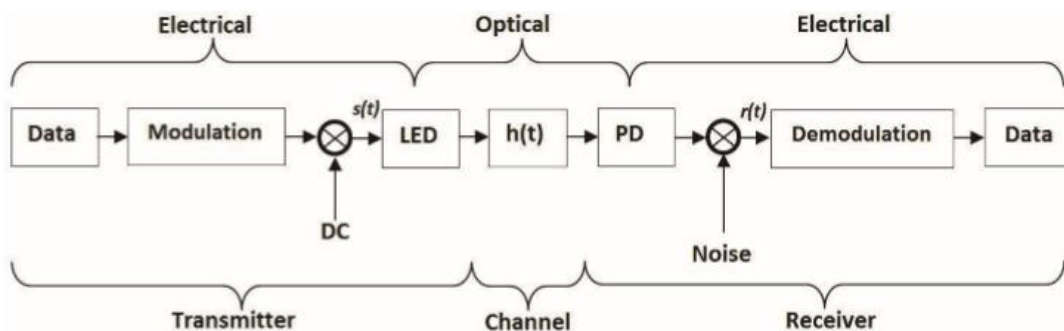


Рис. 2. Модель системи зв’язку VLC

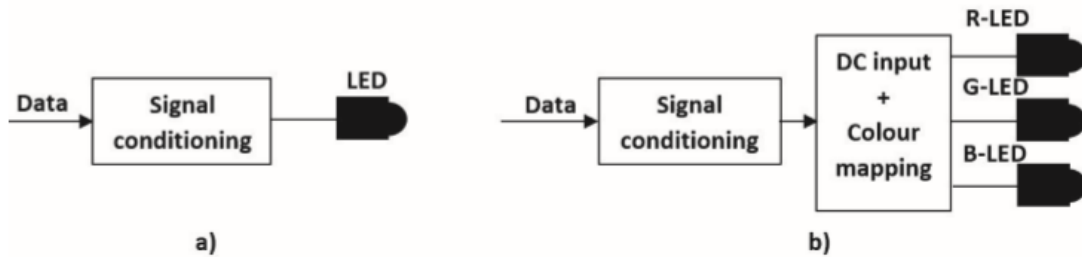


Рис. 3. Передавачі VLC: а) одиночний світлодіодний передавач, б) трьох каналний передавач VLC

**Приймач VLC.** Основним елементом у приймачу VLC є фотодетектор, який використовується для збирання світлового випромінювання [10]. У приймачах VLC використовуються два основні типи фотоприймачів: фотодіод і фототранзистори. Цифрова камера, що складається з масиву фототранзисторів, є гарним пристроєм для прийому сигналу VLC в інтелектуальних пристроях, таких як смартфони і ноутбуки [11]. Як описано в [9], повна система приймача складається з таких компонентів, як концентратор, оптичний фільтр, підсилювач та еквалайзер, необхідних для захоплення максимального світла, необхідного для перетворення прийнятого сигналу в повідомлення. Промені проходять через концентратор і оптичний фільтр, перш ніж вони досягнуть належного ядра детектора. Архітектуру приймача VLC представлено на рис. 4.

**Системний дизайн програмного забезпечення системи VLC.** Найпростіший спосіб реалізації передавання даних за видимими світлом – використовувати програмно-конфігуроване

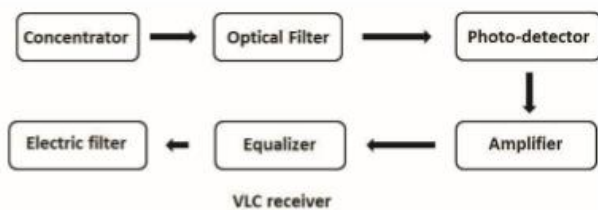


Рис. 4. Архітектура приймача VLC

радіо (SDR). Основною перевагою SDR є легкий апгрейд обладнання. Достатньо всього лише оновити програмне забезпечення, при цьому апаратні засоби залишаються без змін. Також SDR може бути легко адаптована під будь-які функції різних додатків.

Архітектуру запропонованого прототипу показано на рис. 5. Факт використання підходу SDR ділить прототип на 2 підсистеми: апаратну і програмну. Підсистема апаратного забезпечення складається з оптоелектронних пристроїв, аналогових пристроїв, необхідних для управління і оброблення сигналу, що виходить або направляється на оптоелектронні пристрої та модулі перетворення даних.

Основна відмінність цієї концепції в тому, що радіомодуль замінений оптико-електронним модулем.

**Апаратна частина.** Як правило, в програмно-конфігурованих системах інтерфейс між підсистемами апаратного і програмного забезпечення здійснюється за допомогою спеціалізованих пристроїв, які забезпечують такі функції, як перетворення і буферизація даних. У [12] можна знайти список доступних комерційних платформ. У цьому списку автори виділяють сімейство пристроїв Universal Software Radio Peripheral (USRP) від Ettus Research. Ці платформи побудовані на основі програмованої вентильної матриці (ПЛІС), яка включає в себе потужні аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі і можливість

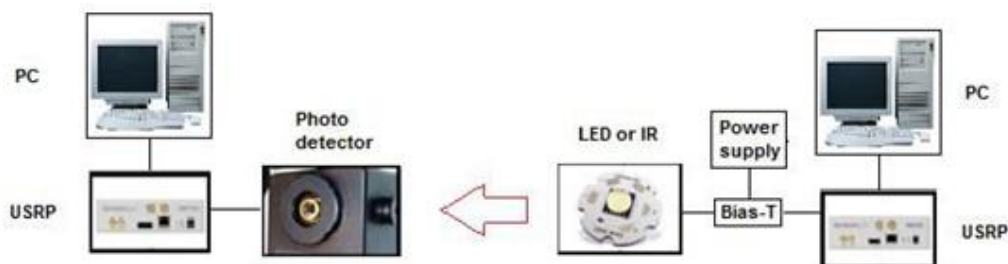


Рис. 5. Архітектура стенду VLC

додавання додаткових схем кондиціонування за допомогою плат розширення.

**Програмна частина.** Модуляція і демодуляція бітів, що надходять на платформи/від платформ перетворення даних (USRP), виконуються в GPP за допомогою бібліотеки з відкритим вихідним кодом для оброблення сигналів. Прикладом бібліотеки з відкритим вихідним кодом для оброблення сигналів є GNU Radio. Gnu Radio є вільним і відкритим джерелом програмного забезпечення, що розширює інструментарій та забезпечує можливості програмного радіомовлення. Він використовується як програма управління SDR пристроями, готує дані для оброблення сигналу. Операція оброблення сигналу закінчується пізніше спеціалізованим модулем. GNU Radio пропонує легко перенастроювати радіосистему, що дозволяє користувачам створювати різні пристрої без необхідності покупки декількох дорогих радіостанцій. Його можна використовувати для створення додатків, отримання даних із цифрових потоків або передавати дані в цифрові потоки. Потім ці потоки передаються з використанням апаратних засобів.

Gnu Radio має фільтри, каналні кодери, елементи синхронізації, еквалайзери, демодулятори, кодери, декодери і багато інших елементів (блоків). Також Gnu Radio включає в себе спосіб підключення цих блоків і управління переданням даних від одного блоку до іншого

**Взаємодії програмної й апаратної частин.** Підключення з програмного забезпечення GNU Radio, представлено на рис. 2. Підключення до пристроїв USRP забезпечується за допомогою апаратних драйверів UHD. Драйвери встановлюються на платформи Linux, Mac OSX і Windows, які забезпечують універсальне підключення пристроїв. Підключення програмного забезпечення до пристроїв SDR зображено на рис. 6.

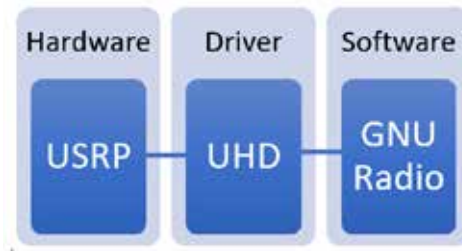


Рис. 6. Підключення програмного забезпечення до пристроїв USRP

**Опис роботи системи.** Сигнальний ланцюжок VLC зображено на рис. 7.

Текстовий файл, відео і голос передаються в програмне забезпечення GNU Radio, яке використовується для оброблення протоколів, оброблення рівня MAC. Наприклад, текстові дані пакуються, а потім дискредитуються в цифровому вигляді з використанням блоків оброблення сигналів GNURadio. Різні параметри, такі як частота дискретизації, швидкість передавання даних, схема модуляції тощо, можна налаштувати, змінивши блоки оброблення сигналів усередині GNURadio. Потім цифрові зразки пересилаються в USRP з використанням інтерфейсу апаратного драйвера USRP (UHD) через USB-порт. Потім сигнал передається на дочірню плату LFTX для модуляції смуги пропускання. Вихідний сигнал драйвера передається оптичним каналом. Потім інтенсивність прийнятого світла виявляється приймачем і перетворюється в електричний струм на основі прямого виявлення з використанням комерційного фотодетектора. Дочірня плата LFRX в приймачі використовується для демодуляції прийнятого сигналу несучої, тоді як USRP приймач виконує перетворення з аналогового в цифровий. Цифрова вибірка з USRP пересилається на персональний комп'ютер, що приймає, через USB-порт

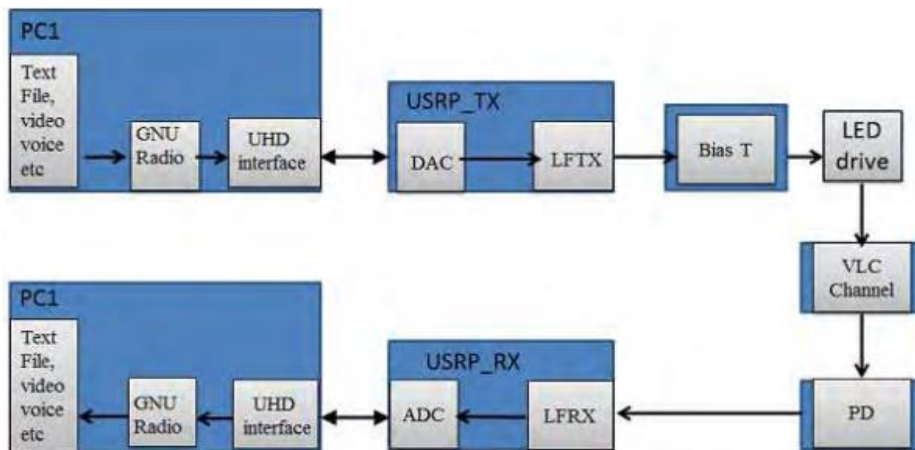


Рис. 7. Сигнальний ланцюжок VLC

з використанням інтерфейсу (UHD). На стороні, що приймає, програмне забезпечення GNURadio використовується для оброблення отриманих сигналів через блоки оброблення сигналів. Потім вихідні дані відправляються в текстовий файл, медіаплеєр та інші елементи.

**Тестування. Вибір модуляції.** Обраною модуляцією стала частотна модуляція Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK) за шістьма причинами, зазначеними нижче:

- 1) простота впровадження в програмне забезпечення;
- 2) спектральна ефективність;
- 3) нелінійність сигналу;
- 4) можливість самосинхронізації;
- 5) широке використання в бездротовому зв'язку як у стандарті GSM;
- 6) несприйнятливості до амплітудної дисперсії і шуму.

Першою причиною вибору GMSK модуляції був час і вартість впровадження, модуляція закодована в програмах GNU Radio і Python, що дозволяє легко впровадити її в систему [8]. Другою причиною була спектральна ефективність модуляції, яка дозволяла додавати більше даних у канал зв'язку з обмеженою пропускною спроможністю світлодіодів. Третя причина полягала в тому, що вимога лінійності сигналу не було жорстким, що означає, що нелінійність світлодіода не зашкодила зв'язку. Четвертою перевагою GMSK була можливість самосинхронізації, яка дозво-

ляла варіювати час обміну даними. П'ята перевага полягала в тому, що GMSK широко використовується в різних стандартах RF.

**Програмування передавача та приймача в програмному середовищі GNU Radio.** Для програмування передавача необхідно зібрати таку схему (рис 8) в програмному забезпеченні GNU Radio.

Як можна бачити з рис. 4, ми читаємо дані з файла TX.txt, вміст файла зображений на рис. 9, який записаний на жорсткому диску комп'ютера, шлях до файла вказується в блоці File Source, потім сигнал потрапляє на вхід пакетного енкодера (Packet Encoder) пакетів, який перетворює потік у 2-бітний код. Цей потік надходить на Частотний модулятор Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK mode), після чого потрапляє на блок управління трансивером, USRP (USRP2 Sink).

Для програмування приймача необхідно зібрати таку схему (рис. 10) в програмному забезпеченні GNU Radio.

Схема приймача складається з таких блоків: блок вхідних даних, які приймає трансивер (USRP2 source), після нього сигнал потрапляє на фільтр нижніх частот (Low Pass Filter), де виділяється частота 10кГц, далі – на Частотний демодулятор Гауса з мінімальним зрушенням (GMSK Demod) і після на декодер пакетів (Packet Decoder), останній блок, на який потрапляє сигнал – це блок File Sink, який використовується для запису прийнятого повідомлення в файл на жорсткий диск комп'ютера.

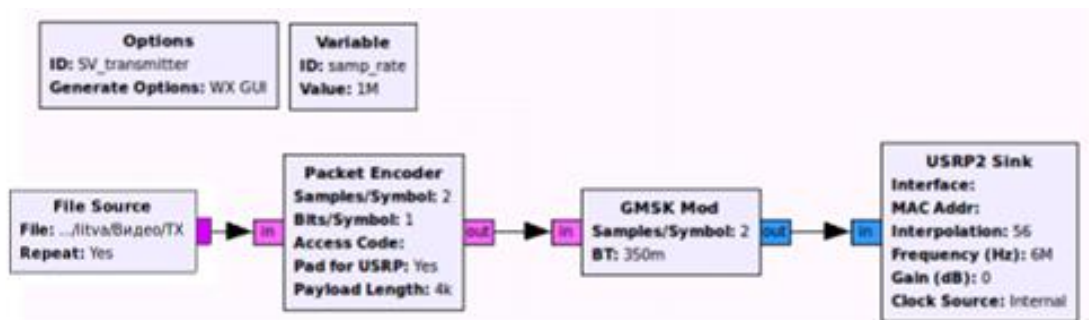


Рис. 8. Блок схема передавача в програмному середовищі GNU Radio

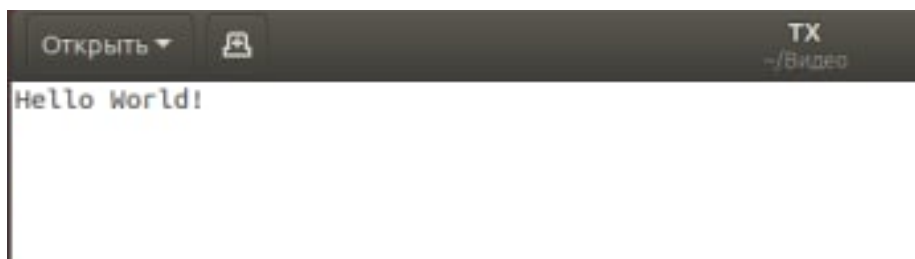


Рис. 9. Вміст файлу TX.txt

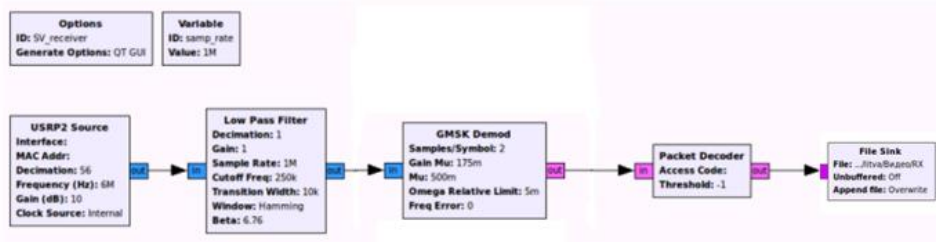


Рис. 10. Блок-схема приймача в програмному середовищі GNU Radio



Рис. 11. Відображення форми сигналу в часовій області

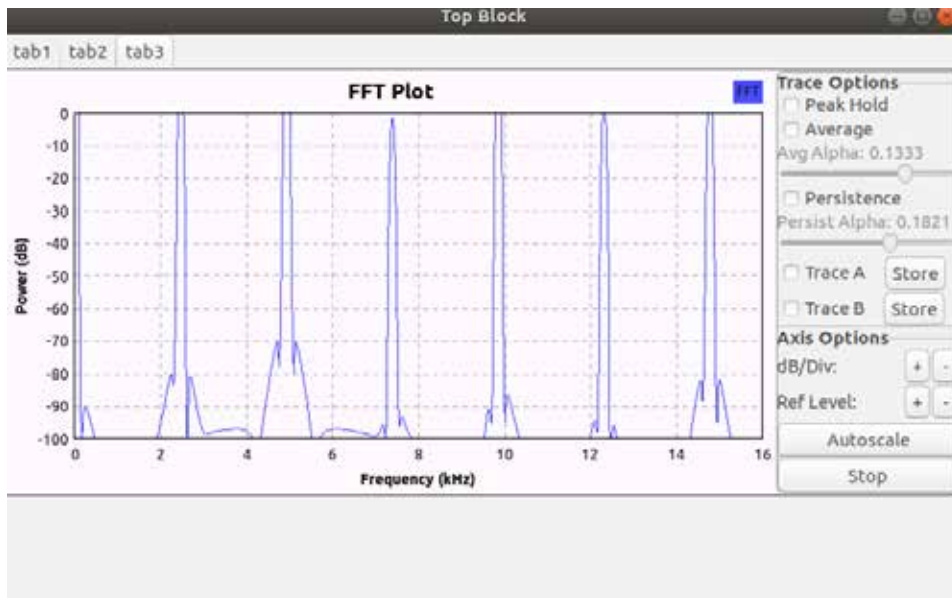


Рис. 12. Спектр сигналу

Запустивши блок-схему, ми отримали такі результати. На виході блоку file source, графік спектра сигналу, відображення форми сигналу в часовій області виглядали так, рис. 11, 12.

Відображення сигналу в часовій області і спектр сигналу після проходження частотного модулятора Гаусса з мінімальним зрушенням представлені на рисунках 13, 14.

Графік спектра сигналу, і відображення форми сигналу в часовій області на виході модулятора GMSK представлено на рис. 13.

Прийнятий сигнал зображено на рис. 15, 16.

Після демодуляції і декодування вихідний сигнал показаний на рис. 17, 18.

На рис. 19 представлено прийняте повідомлення, як бачимо, воно збігається з відправленим.

**Висновки.** Технології зв'язку у видимому світлі мають великі можливості в майбутньому. Ця технологія дозволить вирішити проблему інтеграції технології зв'язку у видимому світлі з наявною інфраструктурою без внесення в неї серйозних змін. У галузі зв'язку нею сегмент, що

швидко зростає, і його можна легко впровадити з мінімальними витратами.

У цій роботі представлено можливість використання програмно-конфігурованого радіо як відправної точки для розроблення комерційних додатків VLC із низькою та середньою швидкістю передання даних. Представлений прототип стенду VLC – об'єднання програмних та апаратних елементів. Ця реалізація пропонує гнучку платформу, на якій можна провести дослідження впровадження нових функцій, не вимагаючи тривалого часу на розроблення.

Передання через відео світла показує, що сценарій із використанням пристроїв SDR актуалізований з точки зору не лише затрат, а й простоти, гнучкості та продуктивності.

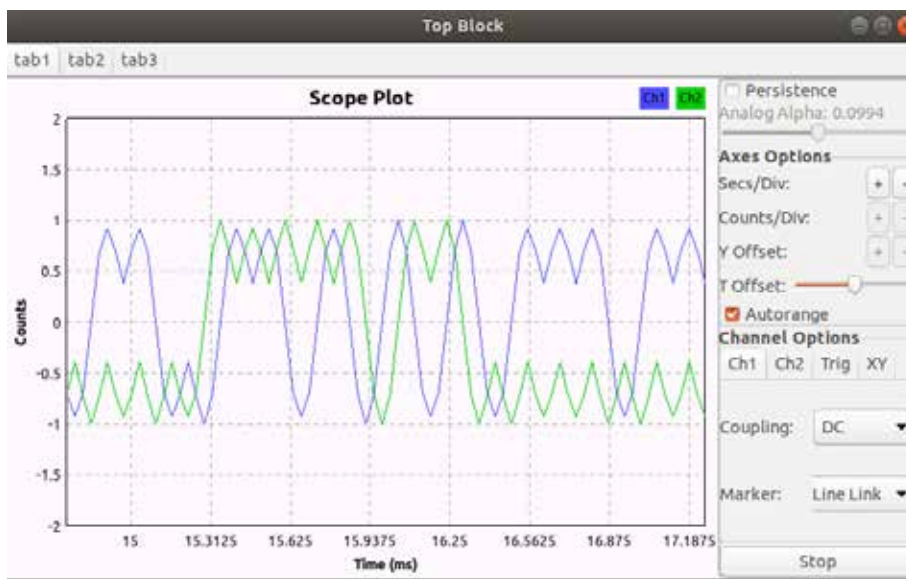


Рис. 13. Відображення форми сигналу в часовій області після модуляції



Рис. 14. Спектр сигналу після модуляції

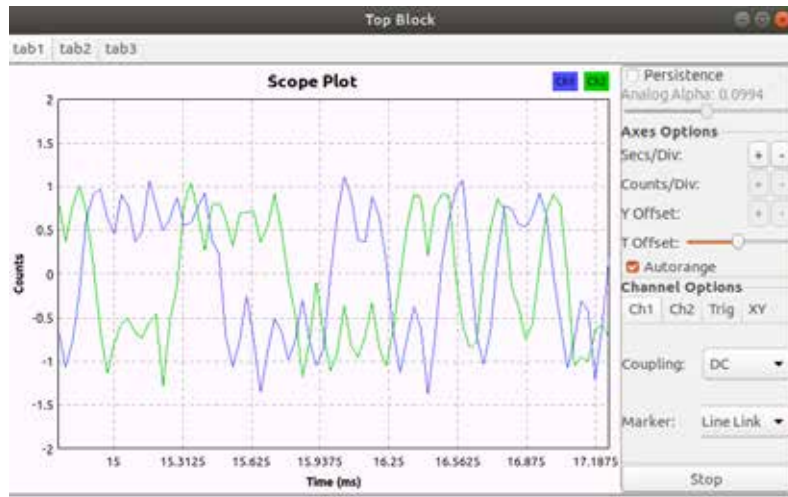


Рис. 15. Форма сигналу в часовій області після проходження каналу зв'язку

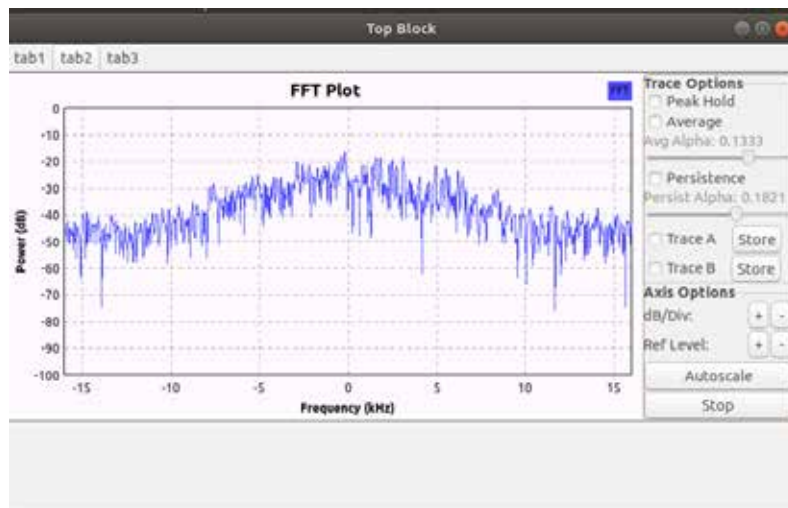


Рис. 16. Спектр сигналу після проходження каналу зв'язку

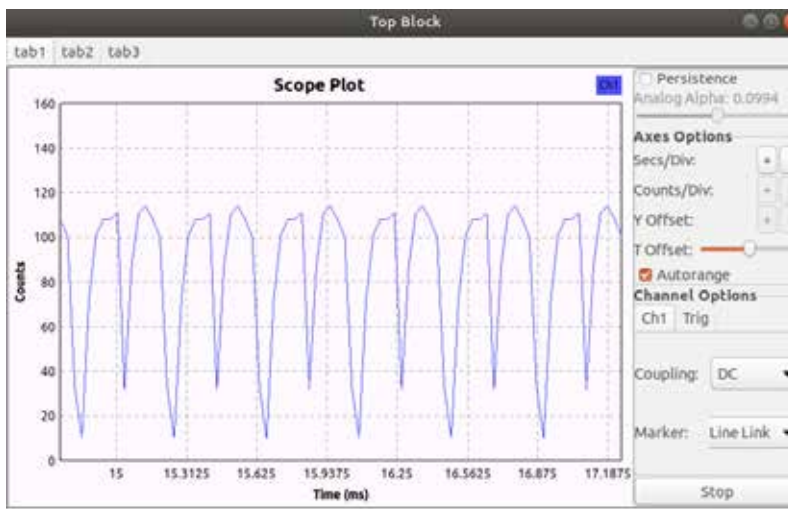


Рис. 17. Форма модульованого і декодованого сигналу в часовій області

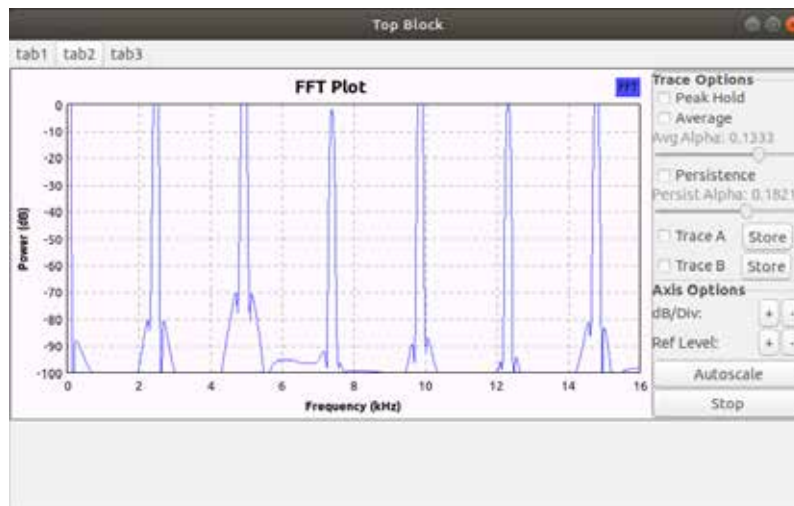


Рис. 18. Спектр сигналу після декодування і демодуляції

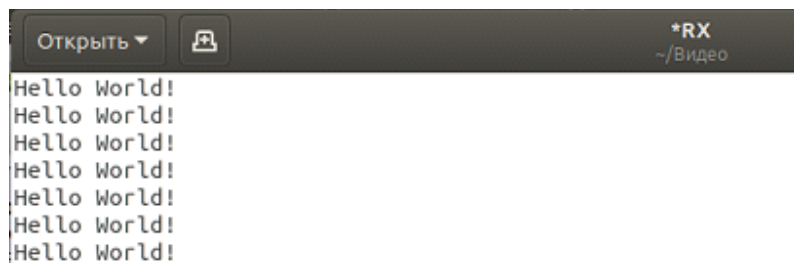


Рис. 19. Прийняте повідомлення

#### Список літератури:

1. Romanov O.I, Fediushyna D.M., Dong T.T. Model and method of Li-Fi network calculation with multipath Light Signals/2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 10–14 Sept. 2018, Date Added to IEEE Xplore: 26 March 2020, Conference Kyiv, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMiCo43733.2018.9047550, (e)ISBN: 978-1-5386-5264-0
2. O.I. Romanov, M.M. Nesterenko, L.A. Veres. Integration Of Modern Protocols Ip-Telephony In IMS Architecture/2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo), 10-14 Sept. 2018, Date Added to IEEE Xplore: 26 March 2020, Conference Kyiv, Ukraine. DOI: 10.1109 / UkrMiCo43733.2018.9047587, (e)ISBN: 978-1-5386-5264-0
3. Romanov O., Dong Tho, Nesterenko M. The Possibilities for Deployment Eco-Friendly Indoor Wireless Networks Based on LiFi Technology/ 8th International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAИТ), 2020. <http://dx.doi.org/10.25673/32747>
4. Romanov O., Nesterenko M., Veres L., Kamarali R., Saychenko I. (2021) Methods for Calculating the Performance Indicators of IP Multimedia Subsystem (IMS). In: Ilchenko M., Uryvsky L., Globa L. (eds) Advances in Information and Communication Technology and Systems. MCT 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 152. Springer, Cham. [http://doi-org-443.webynp.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-58359-0\\_13](http://doi-org-443.webynp.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-58359-0_13)
5. F. M. Wu, C. T. Lin, et al. "1.1-Gb/s White-LED-Based Visible Light Communication Employing Carrier-Less Amplitude and Phase Modulation", IEEE Photonics Technology Letters, 2012.
6. G. Cossu, A. M. Khalid, P. Choudhury, R. Corsini, and E. Ciaramella, "3.4-Gb/s visible optical wireless transmission based on RGB LED," Optics Express, 2012.
7. Y. Hong, J. Chen, Z. Wang, and C. Yu Photonics Journal, IEEE, vol. 5, pp. 7800211–7800211, 2013.
8. M. Biagi, A. Vegni, and T. D. C. Little, "Lat indoor mimo-vlc localize, access and transmit," in Optical Wireless Communications (IWOW), 2012 International Workshop on, pp. 1–3, Oct 2012.
9. M. Saadi, L. Wattisuttikulij, Y. Zhao, and P. Sangwongngam International Journal of Electronics & Informatics, vol. 2, 2013.
10. S. il Choi, "Analysis of vlc channel based on the shapes of white-light led lighting," in Ubiquitous and Future Networks (ICUFN), 2012 Fourth International Conference on, pp. 1–5, July 2012.



11. F. Porikli, "Inter-camera color calibration by correlation model function," in Image Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on, vol. 2, pp. II-133, IEEE, 2003.
12. Klemettila P., Oulun yliopistossa tutkitaan tiedonsiirtoa valolla, Kaleva, p. 3, 18 10 2014.

**Litvinov Ye.A., Saichenko I.O. USING SOFTWARE DEFINED RADIO TO STUDY SIGNAL TRANSMISSION IN VISIBLE LIGHT**

*In the work, proposals have been developed for building a stand using GNU Radio for researching data transmission technology using visible light technology. Visible light communication (VLC) can be used to build high-bandwidth, high-speed wireless access networks. The main advantage of visible light communication is that RF signals are not obstructed. This makes it possible to use visible light communication in hospitals, on space stations, and so it makes it possible to communicate underwater. Security, simple implementation procedures and range characteristics, license-free, also increase the use of visible light communication for a variety of applications.*

*The aim of this work is to provide guidance on the design and implementation of a visible light communication test bench using software-defined radio.*

*The article describes the architecture of VLC, presents the possibilities of using Software Defined Radio as a starting point for developing commercial VLC applications*

*SDR technology provides a framework that can help drive programs to market, generate interest from industry players, and shorten the time to market for future compliant products. The key issues in the implementation of the VLC system is to ensure the ability to transmit data for an LED luminaire with minimal changes in its lighting characteristics and production costs. Thus, this implementation can be improved by narrowing the gap between the industry and the research community.*

*A prototype for visible light transmission was designed using software-defined radios to communicate between analog devices and the computer on which the signal is processed. Using this concept provides the system with sufficient flexibility and modularity to incorporate new features into a prototype without requiring a long development time.*

*Conducted testing of this platform, during which it was possible to transfer a text file.*

*It is concluded that this implementation of the visible light transmission stand can serve as a starting point for the development of low to medium bit rate commercial VLC applications.*

**Key words:** *visible light communication, VLC, IEEE 802.15.7, software-defined radio, SDR, GNU Radio, USRP.*

**Ольшевський С.В.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

**Танасійчук Я.В.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## СИНТЕЗ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ ТЕСТОВОГО ДІАГНОСТУВАННЯ РЕЗОНАТОРНИХ БЛОКІВ МАГНЕТРОНІВ, НАПРАВЛЕНИХ НА РЕГЕНЕРАЦІЮ

*Науково-технічною проблемою дослідження авторами обрано проблему відсутності неруйнівних методів діагностики ЕВП НВЧ, направлених на регенерацію.*

*Проведено огляд і аналіз науково-технічних джерел інформації за тематикою дослідження. Результати аналізу відображені у статті.*

*Керуючись результатами проведеного аналізу і результатами раніше виконаних авторами робіт, для вирішення обраної проблеми авторами прийнято рішення про розробку системи тестового діагностування резонаторних блоків магнетронів, направлених на регенерацію.*

*З метою реалізації описаної системи тестового діагностування і проведення натурного експерименту авторами була поставлена мета скласти специфікацію необхідних засобів діагностування та синтезувати структурну схему вказаної системи.*

*Для досягнення цієї мети було виділено функціональне призначення розроблюваної системи тестового діагностування, проаналізовано способи реалізації функціонального призначення системи.*

*Результатами виконання роботи є структурна схема системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону, направленої на регенерацію, та специфікація засобів діагностування, необхідних для реалізації цієї системи.*

**Ключові слова:** *регенерація НВЧ приладів, магнетрон, прихований дефект, дефект конструкції, неруйнівні методи діагностики, система тестового діагностування магнетрону, технічна діагностика, структурна схема, специфікація засобів діагностування.*

**Постановка проблеми.** Огляд і аналіз робіт [1, с. 1; 5; 6; 8] пов'язаних зі створенням технологій регенерації потужних електровакуумних НВЧ приладів, вказує [6] на сильну залежність рішення про придатність приладу до регенерації від досвіду виконавців робіт, а оцінка стану його окремих частин має якісний характер.

Однак промислові об'єми робіт по регенерації потужних електровакуумних НВЧ приладів вимагають переходу до кількісних оцінок стану окремих конструктивних елементів потужних електровакуумних НВЧ приладів і подальшої детальної формалізації процесу технічної діагностики потужних електровакуумних НВЧ приладів, направлених на регенерацію, та прийняття рішення про придатність до регенерації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [8, с. 135; 9, с. 17] авторами передбачено необхідність розробки та застосування методів діагностики й аналізу потужних електровакуумних НВЧ приладів, направлених на регенерацію, на предмет визначення їхньої придатності

до повторного використання. Для цього пропонується використовувати «холодні вимірювання» електродинамічних параметрів резонаторних блоків [8, с. 136] або метод скануючої зондової мікроскопії для контролю поверхонь [9, с. 18].

Однак пошук у науково-технічних джерелах інформації показав практичну відсутність як стандартних методів діагностики й аналізу потужних електровакуумних НВЧ приладів, направлених на регенерацію, на предмет визначення їхньої придатності до повторного використання, так і робіт, направлених на розробку методів діагностики таких приладів на предмет їхньої подальшої регенерації. Водночас автори наголошують [5, с. 11–46; 6, с. 37–67] на повній залежності рішення про придатність приладу до регенерації від досвіду особи або колективу, котрі виконують регенерацію.

Авторами сформульовано [3] проблему відсутності неруйнівних методів діагностики ЕВП НВЧ, направлених на регенерацію, та виділено критичні дефекти конструкції – проплавлення і напилення.

**Постановка завдання.** Дотримуючись теорії технічної діагностики [10], реалізація системи тестового діагностування технічного стану об'єкта передбачає виділення об'єкта діагнозу (ОД), встановлення контрольних точок, через які поступають тестові впливи від засобів діагностування і знімаються реакції ОД.

При роботі в окресленій предметній сфері авторами було виділено об'єкт тестового діагностування (резонаторний блок магнетрону), тестові впливи на нього і відгуки від об'єкта діагностування в роботі [3, с. 43].

Однак для реалізації системи тестового діагностування технічного стану [7], передбаченої теорією технічної діагностики, функціональна схема якої зображена на рис. 1, невирішеним завданням залишається створення специфікації засобів діагностування та структурної схеми системи тестового діагностування резонаторних блоків магнетронів, направлених на регенерацію.

Метою роботи є створення структурної схеми системи тестового діагностування резонаторних блоків магнетронів, направлених на регенерацію, котра дозволить експериментально отримати множину реакцій на тестові впливи (збудження електромагнітних коливань у резонаторній системі) від об'єкта **діагностування** (резонаторної системи магнетрона) внаслідок виконання елементарних перевірок, описаних у [3, с. 43], і побудувати специфікацію засобів діагностування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Функціональним призначенням розроблюваної системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрона є виявлення дефекту у вигляді напilenня на ламелях резонаторної системи зі сторони простору взаємодії.

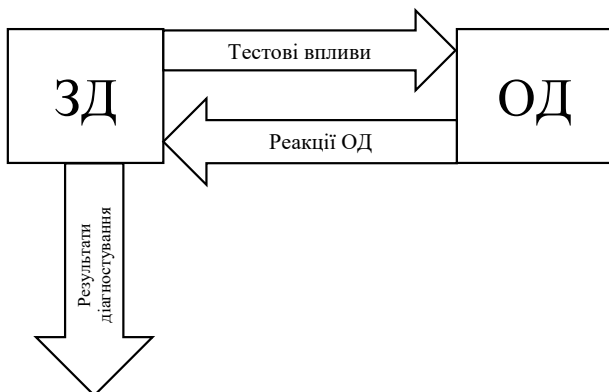


Рис. 1. Узагальнена функціональна схема системи тестового діагностування технічного стану: ЗД – засоби діагностування, ОД – об'єкт діагностування

На основі якісного аналізу фізико-хімічних процесів, що протікають у просторі взаємодії магнетрона, авторами [3, с. 43] було висунуто і гіпотезу про зміну просторового розподілу електромагнітного поля в резонаторній системі магнетрону після внесення в конструкцію приладу дефекту у вигляді напilenня продуктів деградаційних процесів на поверхні катода на сегмент ламелі резонаторної системи. Висунуто гіпотезу було підтверджено авторами в роботах [3, с. 43] шляхом побудови імітаційної моделі системи тестового діагностування резонаторної системи магнетрону. Внаслідок експерименту виділено смуги частот із найбільш вираженим ефектом та отримана кількісна оцінка у вигляді різниці набігу фази сигналу. Результатом виконання множини елементарних перевірок є інтроскопія різниці фаз вхідного сигналу і сигналу, знятого із зонду, наведена на рис. 2 у вигляді кругової діаграми.

Очікуваним результатом роботи розроблюваної системи є візуалізація (одержання видимих зображень) розподілу фізичних величин, що характеризують електромагнітне НВЧ-поле резонаторного блоку магнетрону, необхідна для дослідження стану внутрішніх поверхонь приладу (інтроскопія) і для високої якості виробничої дефектоскопії об'єктів великих розмірів (порівняно з довжиною хвилі та розкриттям антен). Унаслідок візуалізації отримують видиме радіозображення, аналіз якого дає можливість збільшити швидкість контролю, полегшує розшифрування результатів для виробів різної форми [15, с. 198].

Дослідження розподілу височастотного поля необхідне для визначення видів коливань і для дослідження впливу асиметрії в магнетроні на розподіл поля у просторі взаємодії. Для визначення розподілу поля в резонаторній системі магнетрону

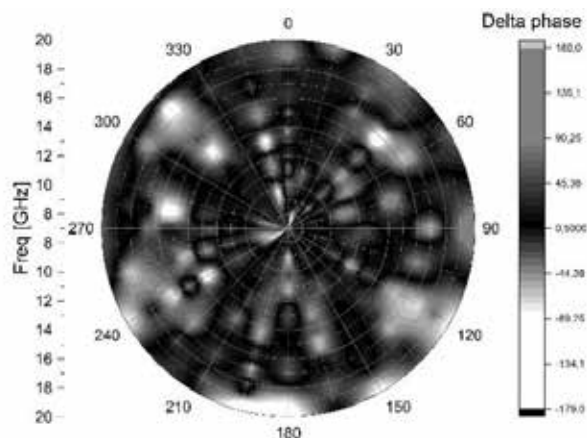


Рис. 2. Різниці набігу фаз між нормальною і дефектною резонаторними системами

нетрона найзручніше використовувати зонд, що обертається [2, с. 312]. Останній є ємнісним зондом невеликих розмірів, закріпленим на циліндрі, котрий розміщений у просторі взаємодії магнетрона. Зонд розташовується перпендикулярно до силових ліній електричного поля біля катоду. При обертанні циліндра струм у зонді змінюється таким чином, що дає можливість отримувати картину інтенсивності електричного поля в різних точках простору взаємодії залежно від кута повороту зонду. Картина поля спостерігається на екрані осцилографа, у якого напруга горизонтальної розгортки синхронізована зі швидкістю обертання зонда, а на вертикальні пластини прикладено напругу, пропорційну детектованому струму зонда. Зонд описаного типу схематично зображений на рис. 3.

Як інформаційний параметр НВЧ поля у просторі взаємодії магнетрону було обрано різницю фаз коливань [3, с. 43], що виникає в одній і тій самій точці простору взаємодії в околі шуканого дефекту конструкції.

Фаза характеризує гармонічне коливання в деякий момент часу. Математично фаза визначається аргументом функції, яка описує гармонічне коливання:

$$U = U_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

Де  $\omega t + \varphi = \psi$  – фаза гармонічного коливання.

У загальному випадку різниця фаз двох порівнюваних когерентних сигналів:

$$\Delta\varphi_{\text{заз}} = \omega t + \varphi_2 + \varphi_x - \omega t + \varphi_1 = \varphi_x + \Delta\varphi, \quad (2)$$

де  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  – відома різниця фазових зсувів у каналах вимірюваних сигналів;  $\varphi_x$  – фазовий зсув у вимірюваному пристрої.

Одним зі способів вимірювання різниці фаз двох когерентних НВЧ сигналів є підсумовування фаз. У цьому способі [16, с. 153] інформація про

різницю фаз переноситься на амплітуду сигналу несучої частоти шляхом простого підсумовування векторів досліджуваних сигналів:

$$U_1 = U_{01} \sin(\omega t + \varphi_x + \varphi_1), \quad (3)$$

$$U_2 = U_{02} \sin(\omega t + \varphi_2). \quad (4)$$

Результат підсумовування визначається як:

$$U_{\Sigma} = U_{0\Sigma} \sin(\omega t + \varphi_{\Sigma}), \quad (5)$$

де

$$U_{0\Sigma} = \sqrt{U_{01}^2 + U_{02}^2 + 2U_{01}U_{02} \cos(\varphi_x + \Delta\varphi)} \quad (6)$$

$$\varphi_{\Sigma} = \arctg \frac{U_{01} \sin(\varphi_x + \varphi_1) + U_{02} \sin \varphi_2}{U_{01} \cos(\varphi_x + \varphi_1) + U_{02} \cos \varphi_2} \quad (7)$$

Типовою технічною реалізацією фазометра є схема [16, с. 154] на рис. 4 з одним суматором, у якій використовується залежність (6) суми двох когерентних сигналів від фазових зсувів між ними.

Із викладеного вище можна скласти таку специфікацію засобів діагностування, з використанням яких буде реалізовуватися система тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону:

- генератор НВЧ коливань;
- зонд;
- фазометр.

Керуючись ціллю роботи, функціональним призначенням системи тестового діагностування та розглянутими схемами, на основі яких технічно реалізують засоби діагностування, необхідні для проведення дослідження, для реалізації системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону пропонується структурна схема системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону, наведена на рис. 5.

У цій схемі НВЧ генератор збуджує коливання, які поступають на вхід об'єкта діагностування і

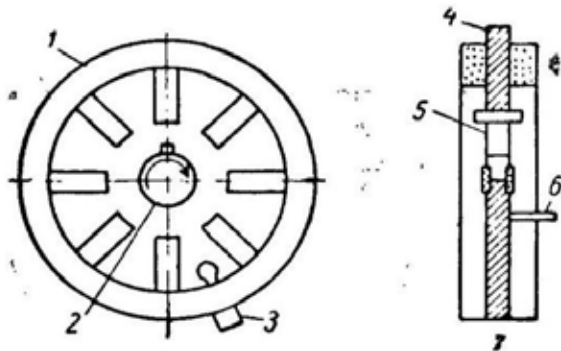


Рис. 3. Схематичний вид зонда, що обертається, в області взаємодії магнетрону: 1 – магнетрон, 2 – зонд, 3 – вхідний сигнал, 4 – ковзний сигнал, 5 – детектор, 6 – зонд, 7 – деталі зонду в зібраному стані

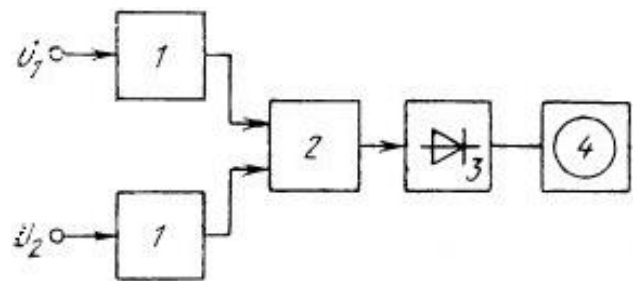
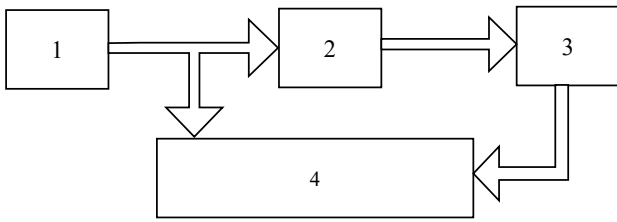


Рис. 4. Функціональна схема фазометра з підсумовуванням сигналів зі стабілізацією амплітуди: 1 – стабілізатор амплітуди; 2 – суматор; 3 – амплітудний детектор; 4 – індикатор; 5 – фазообертач



**Рис. 5. Структурна схема системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону:**  
 1 – генератор НВЧ коливань, 2 – об’єкт діагностування, 3 – зонд, 4 – засіб вимірювання різниці фаз

вхід фазометра. Прийнятий фазометром від генератора сигнал є опорним. Зонд приймає сигнал у просторі взаємодії магнетрону. Прийнятий зондом сигнал надходить на другий вхід фазометра. Різниця між фазами опорного та прийнятого від зонда сигналів і буде результатом елементарної перевірки. Множина таких експериментальних резуль-

татів дозволить побудувати діаграму, зображену на рис. 2 для реального об’єкту діагностування.

**Висновки.** У раніше виконаних роботах [3, с. 43] авторами було виділено об’єкт тестового діагностування (резонаторний блок магнетрону), тестові впливи на нього і відгуки від об’єкта діагностування в роботі.

На основі раніше отриманих даних та аналізу способів і засобів проведення необхідних вимірювань, проведеного в роботі, синтезовано структурну схему системи тестового діагностування резонаторного блоку магнетрону та створено специфікацію засобів діагностування.

Реалізація розробленої системи дозволить провести натурний експеримент, реалізований засобами імітаційного моделювання, й отримати множину реакції на зовнішні впливи від об’єкта діагностування після виконання елементарних перевірок [3, с. 43].

#### Список літератури:

- Екезлі А.І., Чурюмов Г.І., Дзюба В.П., Іванченко В.О. Відновлення і регенерація потужних НВЧ вакуумних приладів та їх застосування в сучасних системах озброєння. Ч. 1. Загальні питання регенерації потужних магнетронів МІ-29 та МІ-285. *Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки* : VI Міжнародна науково-практична конференція. Тези доповідей.
- Зусмановский С.А. Магнетроны сантиметрового диапазона. Москва : Советское радио, 1951. 472 с.
- Ольшевський С.В., Танасійчук Я.В. Дослідження впливу напilenня на поверхні резонаторної системи потужного магнетрона на розподіл електромагнітного поля резонаторної системи. *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2020. Т. 31 (70) № 5. 43 с.
- Панин И.С., Панченко Л.В. Импульсные магнетроны. Элементы радиоэлектронной аппаратуры. Москва : Советское радио, 1966.
- Семенов А.В. Регенерация мощных электровакуумных приборов : дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 2000.
- Бакуменко А.В. Научно-технические и производственно-экономические основы реставрации мощных СВЧ приборов : дисс. ... докт. техн. наук. Москва, 2006.
- Карибский В.В., Пархоменко И.П., Согомоян Е.С., Халчев В.Ф. Основы технической диагностики. Кн. 1 : Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза.
- Семенов А.С. Технология регенерации анодных блоков ЭВП. *Сборник научных трудов 4 научного семинара IEEE Saratov-Penza Chapter «Машинное проектирование в прикладной электродинамике и электронике»*. Саратов : Изд СГТУ, 2000. С. 134–136.
- Байбурун В.В., Семенов А.С. Проблемы и опыт регенерации мощных электронных приборов. *Сборник научных трудов 4 научного семинара IEEE Saratov-Penza Chapter «Машинное проектирование в прикладной электродинамике и электронике»*. Саратов : Изд СГТУ, 2000. С. 15–19.
- Карибский В.В., Пархоменко П.П. Основы технической диагностики : в 2 кн. Кн. 1 : Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. Москва : «Энергия», 1976.
- Черепнин Н.В. Сорбционные явления в вакуумной технике. Москва : Издательство «Советское радио», 1973.
- Gomer R., Swanson I.W. Theory of field desorption. *J. Chem. Phys.* 1963. V. 38. № 7. P. 1613.
- Пошехонов П.В. и др. Нитевидные монокристаллы в высоковольтных лампах с оксидным катодом. *Радиотехника и электроника*. 1967. Т. 12. № 12. С. 21–92.
- Лебедев И.В. Техника и приборы СВЧ : учебник. Т. II / под ред. Н.Д. Девяткова. Москва : Высш. школа, 1970. 376 с.
- Радіофізичні методи діагностики матеріалів і середовищ : підручник / Г.С. Воробйов, Г.О. Пономарьова, О.О. Рибалко та ін. Суми : Сумський державний університет, 2014. 13 с.
- Чернушенко А.М. Измерение параметров электронных приборов Дц См диапазонов. Москва, 1986.

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

*As a scientific and technical problem of the study, the authors chose the problem of the absence of non-destructive methods of diagnosing microwave electrovacuum devices aimed at regeneration.*

*A review and analysis of scientific and technical sources of information on the subject of the study. The results of the analysis are reflected in the article.*

*Guided by the results of the analysis and the results of previous work performed by the authors, to solve the selected problem, the authors decided to develop a system of test diagnostics of resonator blocks of magnetrons aimed at regeneration.*

*Based on the analysis, it was decided to search for methods and tools for studying the microwave field in the field of interaction of the resonator system of the magnetron. A typical method for conducting such studies and a description of the installation with a movable probe for the study, as a means of conducting basic tests of the object of diagnosis.*

*In order to implement the described system of test diagnostics and conduct a field experiment, the authors set a goal to make a specification of the necessary diagnostic tools and synthesize a block diagram of this system.*

*To achieve this goal, the functional purpose of the developed system of test diagnostics was identified, the ways of realization of the functional purpose of the system were analyzed.*

*The results of the work are the block diagram of the system of diagnostics of the resonator unit of the magnetron, aimed at regeneration, and the specification of the diagnostic tools required for the implementation of this system.*

**Key words:** *regeneration of microwave devices, magnetron, latent defect, structural defect, non-destructive diagnostic methods, magnetron test diagnostics system, technical diagnostics, block diagram, specification of diagnostic tools.*

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

UDC 621.396.74

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-1/05>*Aliiev H.A.*

Azerbaijan Technical University

## THE CALCULATING METHOD OF NGN ACCESS NODE CHARACTERISTICS WHEN SERVICING VOICE AND DATA TRAFFIC

*Access nodes of NGN networks provide traffic aggregation to various network services and its transfer to the transport layer, which allows calling such networks multiservice. These networks are used to simultaneously transmit voice, video, and data presented in the form of standard packets. Network services provide an unlimited set of telecommunication services with specified characteristics of quality of service. The selected technology of information distribution in the NGN determines the degree of complexity of access nodes and, of course, affects the quality of information exchange service between user terminals. One of the ways to ensure a given level of quality of service for each of the services is the introduction of priority service for certain traffic flows. Introducing priorities for packets is an effective way to manage the size of queues and the time spent in it. When a high-priority packet is received, a packet with a lower priority is either interrupted (absolute priority) or a high priority packet becomes the beginning of the packets queue (relative priority). The NGN's access nodes provide aggregation of traffic to various services directed by the Public Switched Telephone Network (PSTN) and its transportation to a higher level, which allows you to call such networks multiservice ones. The new generation networks allow simultaneous transmission of mixed streams (voice, video, and data) represented in the form of standard packets. One of the ways to ensure the specified quality of service is to introduce a priority method for servicing traffic flows. In this paper, we study the characteristics of NGN access nodes as a two priority queuing system with a limited expectation. Formulas for calculating the probability of loss of speech packets, as well as data packets, and other characteristics of the access node have been proposed.*

**Key words:** access node, data flow, priority service mode, probability of loss, limited waiting.

**Introduction. The actuality of the subject.** Currently, there is an intense interest of the NGN operators in the Public Switched Telephone Network (PSTN) in order to provide various communication services to the inhabitants of cities and suburbs. This interest is caused by the desire of operators to create convenient to use and maintain new communication services. From this point of view, terminal multi-service nodes of the NGN network are at the access layer in the network architecture [1, p. 3]. This layer provides aggregation of a mixed type of traffic and switching between the access layer (channel layer) and the transport layer. With this in mind, the effective functioning of the NGN network largely depends on the quality of its end access nodes. Characteristics of the performance of the NGN endpoint with priority methods for maintaining the interfaces used, connected from the access network side at the physical network layer for the transmission of mixed traffic.

**Scientific novelty of research.** It is known that speech information traffic coming from channel

switching networks is first converted to a packet form. After that, it is encapsulated in IP packets [1]. In this case, RTP and UDP protocol headers of 12 and 8 bytes respectively are added to the new packet. Additional 20 bytes are required for voice IP packeting and 4 bytes per packet addressing for the MPLS network. Thus, the total length of the packet address field (header) is 44 bytes, which is transmitted each time when a packet containing speech information is sent. Since the length of the RTR protocol information field is 160 bytes, the total length of the RTR protocol packet is 204 bytes. It is known that the data flow in packet networks is transmitted over the IP/MPLS network, which is switched at LSP addresses to the transport network.

**Purpose and tasks of the research.** The aim is to develop engineering formulas for calculating the quality of service characteristics of multiservice access nodes of NGN networks.

**Methods and sources of research.** The issues raised in advance determine the methods of their reso-

lution and verification. analysis, synthesis, induction, deduction, comparative analysis methods are used.

**A review of recent research and publications.** As one of the most important areas of calculating method, terminology has always played a very important role. Various terminology fields have been widely studied in Azerbaijan at different periods. NGN access node characteristics is not very wide analyzed, recent research has been conducted in this regard both in Azerbaijan and abroad. In connection with this topic, A.V. Roslyakov “Next Generation Networks NGN” (А.В. Росляков «Сети следующего поколения NGN»), B.S. Goldstein “IP Telephony” (Б.С. Гольдштейн «IP телефония»), A.G. Lozhkovsky “Theory of queuing in telecommunications” (А.Г. Ложковский «Теория массового обслуживания в телекоммуникациях»), A.N. Hasanov “Analysis of telecommunication networks” (А.Н. Гасанов «Анализ телекоммуникационных сетей»), N.N. Bulgakov “Multichannel system with limited queue and absolute priority” (Н.Н. Булгаков «Многоканальная система с ограниченной очередью и абсолютным приоритетом»), B.S. Livshis, A.P. Pshenichnikov, A.D. Kharkevich “Theory of Teletraffic” (Б.С. Лившис, А.П. Пшеничников, А.Д. Харкевич «Теория телетрафика») and other researches have been conducted.

**Presentation of the main material.** The intensities of speech and data packet flows that arrive simultaneously at the NGN endpoints can be regulated by setting the probability of service failure rate. The specified rates of failure (loss) of an NGN node shall be determined by the characteristics of mixed packets that have not been accepted for servicing by the network immediately and have been waiting in its buffer memory (in the queue). In NGN networks, the rate of loss of service quality for its endpoints is set based on the purpose, flows, their structure, and the technical means used to receive, process, and deliver information to their end users.

Let's consider the process of functioning of a multiservice terminal node of the NGN network, which receives two Poisson information flows different in intensity. With the receipt intensity of  $\lambda_1$  when servicing, it has an absolute priority, and others with the intensity of  $\lambda_2$  – have no priority (relative priority). In this case, the average total intensity of the information flow entering the j terminal node is determined by the formula of [3, p. 4]:

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \tag{1}$$

It is assumed that the mixed traffic at the terminal node servicing in the stationary mode is equal to the incoming traffic. In this case, the time distribution function for both types of packets (speech and data) is exponential with the parameter of  $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ . The discipline (algorithm) for servicing the packet stream is such that the first type of the stream has absolute priority over the second type of the stream. Packets that arrive within each priority are served in the order of the service algorithm used. During the receipt of the packet stream, when all V servicing devices (servers) have been busy, the first priority packets shall be interrupted and the second priority packets shall be serviced, taking into account its further return from the buffer memory (queue). If an incoming packet of the second priority is caught in the queue, it is to be queued on after the last packet of the first priority, and one packet of the second priority is to be lost. If other first-priority packets are already in the queue when the next first-priority packet arrives, it is to be lost as well, i.e. a limited service queue is allowed on each endpoint (fig. 1). With this in mind, in stationary mode the operations of terminal multiservice nodes in the NGN network, and the probabilistic states of nodes can be described by a system of linear homogeneous algebraic equations [3, p. 4].

$$\begin{aligned} -[\lambda_1 + \lambda_2]p_0 &= 0 \\ -[\lambda_1 + \lambda_2 + k\mu_j]p_k + [\lambda_1 + \lambda_2]p_{k+1} + (k+1)\mu_j p_{k+1} &= 0 \quad 1 \leq k \leq V \\ -[\lambda_1 + \lambda_2 + V\mu_j]p_k + [\lambda_1 + \lambda_2]p_{k-1} + V\mu_j p_{k+1} &= 0 \quad V \leq k \leq V+r-1 \end{aligned} \tag{2}$$

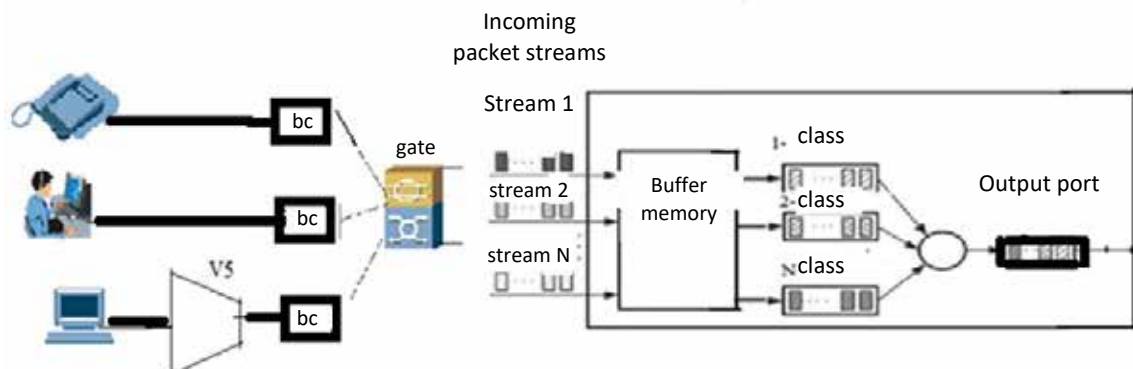


Fig. 1. Algorithm for serving the mixed packet queue in the buffer memory



Based on the system of algebraic equations (2), the probabilities of states of a classical multichannel system with a limited queue and absolute priority are determined. Using the normalization condition:

$$\sum_{k=0}^{v+1} P_{S+r} = 1$$

simultaneous equations (2) are solved in the form of (3) [6].

$$P_0 = \left( \sum_{i=0}^{s-1} \frac{Y^i}{i!} + \frac{Y^V}{V!} \sum_{i=1}^{V+r-1} S_i \right)^{-1} \quad (3)$$

For values of  $b_1=1$ ,  $q=y/v$ , and  $n=r+1$ , using the formula for the sum of the terms of the decreasing geometric progression, we get:

$$\begin{aligned} \sum_i^{V+r-1} S_i &= \frac{b_n - b_1}{q - 1} = \frac{b_1 q - b_1}{q - 1} = \frac{b_1(1 - q^n)}{q - 1} = \\ &= \frac{1 - q}{q - 1} = \frac{1 - \left(\frac{y}{V}\right)^n}{1 - \frac{Y}{V}} = \frac{V}{V - Y} \left(1 - \left(\frac{Y}{V}\right)^{r+1}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

where “r” is the number of waiting spaces (buffer memory duration) in buffer memory v- is the number of serving servers.

$$\text{Here, } Y = Y_1 + Y_2 = (\lambda_1 + \lambda_2) / \mu \quad (\rho_1 + \rho_2) = \rho = y/v \quad (5)$$

$\rho$  is the bandwidth of the multiservice access node(server) of the NGN network.

Expression (5) specifies that using criteria  $\rho \leq 1$ , calculations can be made for the interval  $\rho_1 = 0 \div 1$  ( $\rho_2 = \text{const}$ ). Characteristics of the functioning quality of a multiservice terminal node (server) of the NGN

network with a limited waiting queue and absolute priority are evaluated by such characteristics as the probability of failure to service a speech packet, the probability of failure to service servers, and others. Taking into account (5) the formulas (3) and (4), it can be rewritten as follows:

$$P_{V+r} = \frac{(\rho V)^{V+r}}{V! V^r} P_0 \quad (1 \leq \rho \leq V) \quad (6)$$

$$P_0 = \left( \sum_{i=0}^{V-1} \frac{(\rho V)^i}{i!} + \frac{(\rho V)^V}{V!} \frac{1}{1 - \rho} [1 - \rho^{r+1}] \right)^{-1} \quad (7)$$

The average waiting time for a data packet to start processing (relative-second priority packets) is determined by the formula:

$$\begin{aligned} T &= \rho V / (\lambda_1 + \lambda_2) \quad T = L / B \\ T &= \rho V (\lambda_1 + \lambda_2) = L / B \end{aligned} \quad (8)$$

The probability that the server will be in a pending state (pending greater than zero packets) is calculated as follows:

$$P(< 0) = \frac{(\rho V)^V}{V! V (V \rho)} (1 - \rho^{r+1}) \quad (9)$$

Based on the results of programming a family of characteristics, two of which are shown in fig. 2 and fig. 3 are obtained.

1. Taking into account the one-time multiservice nodes, the NGN network architecture is presented for review and for further calculation of analytical expressions.

2. An NGN network functioning under a system with a limited waiting time under the condition  $V=3$ ,

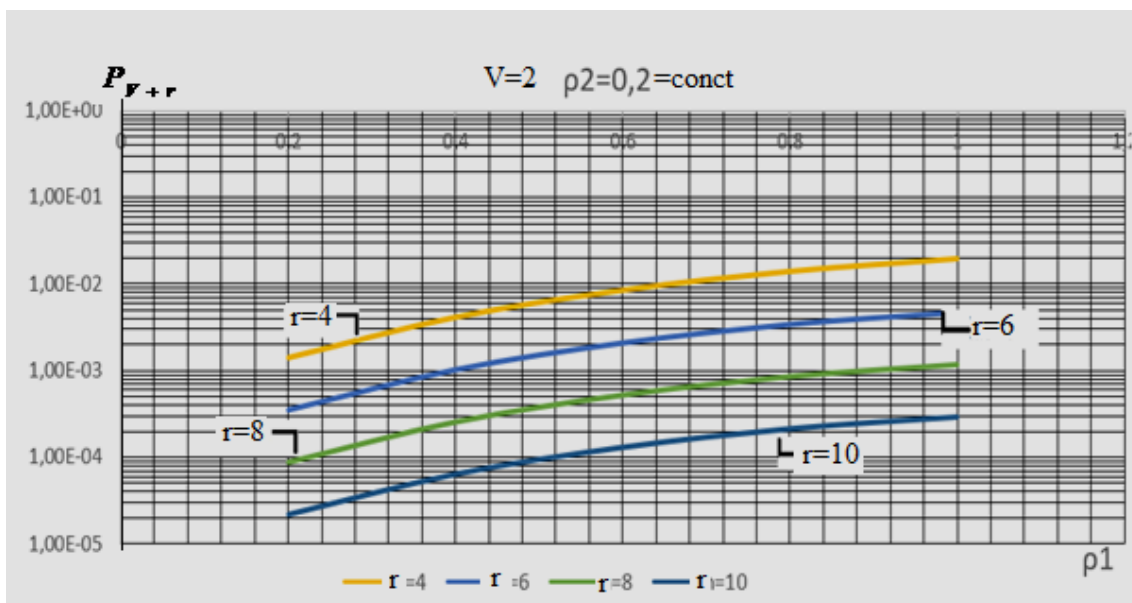


Fig. 2. Characteristics of quality of service  $\rho_1=0 \div 1$  ( $\lambda=200$  package,  $\mu=125-4000$ )

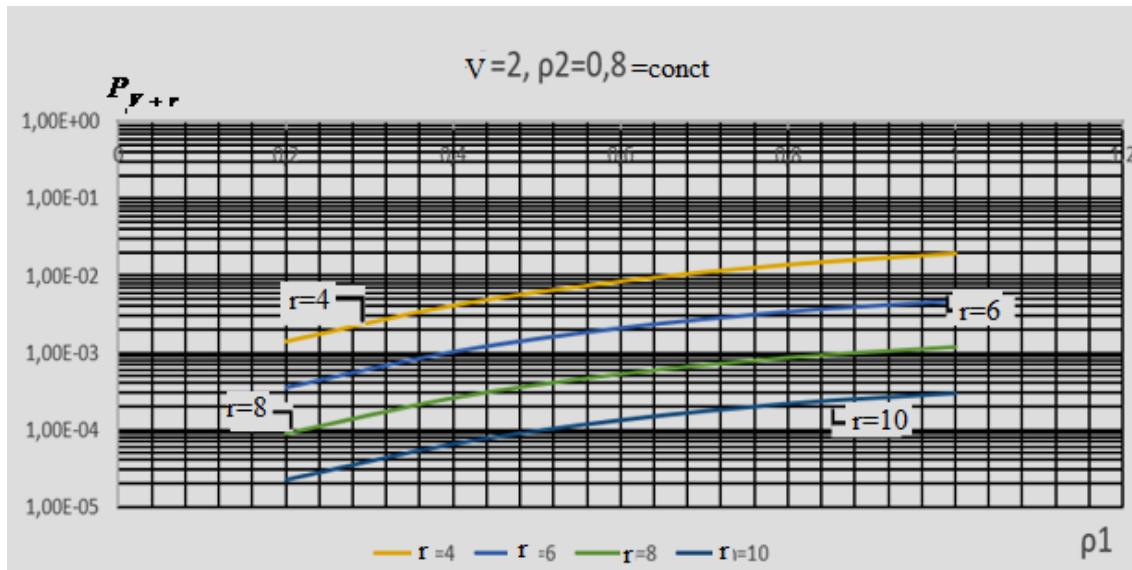


Fig. 3. Characteristics of quality of service  $\rho_1=0\div 1$  ( $\lambda=200$  package,  $\mu=125-4000$ )

$r = 2; 4; 6; 8; 10$   $\rho_2=0.2$  const,  $\rho_1=0\div 1$  analytical engineering expressions are proposed.

3. Based on newly defined analytic expressions for priority service methods and throughput characteristics of the quality service of terminal multiservice nodes (Numerous families of characteristics were obtained and two of them are presented in the proposed article.

**Conclusions.** To conclude, analytical relations that describe different States of the NGN network's multiservice nodes (servers) have been obtained. They allow calculating various performance characteristics, as well as bandwidth for priority packet servicing biased information flows. A method for

calculating the quality of service characteristics of NGN network endpoints multiservice nodes (servers) that serve mixed packet streams with a limited queue and absolute priority has been proposed. The obtained analytical formulas and the method for calculating the terminal multiservice nodes (servers) with a limited waiting queue and absolute priority are more generalized. From these, in particular cases, analytical formulas are obtained for calculating characteristics when using two ( $V=2$ ) communication servers with and without bandwidth priority  $\rho_1=0\div 1$ ,  $\rho_2=0,2=const$ ,  $V=2$ ;  $V=3$  With the developed program, for example, two qualitative characteristics are proposed using the proposed formulas.

#### References:

1. Goldstein V.S. IP telephony. Goldstein V.S., Pinchuk A.V. Sukhovisky A.L. Radio and communication, 2006. 334 p.
2. Hasanov A.N. Analysis of telecommunication networks. Baku : Elm, 1995. 160 p.
3. Livshis B.S., Pshenichnikov A.P., Kharkevich A.D. Teletraffic theory. M. : Connection, 1973.
4. Lozhkovsky A.G. Queuing theory in telecommunications. Odessa ONAT them. O.S. Popova, 2010. 112 p.
5. Roslyakov A.V., Vanyashin S.V., Samsonov M. Yu. et al. Next generation networks NGN. M. : Eco-Trends, 2008. 464 p.
6. Stoyanov M.N. Signaling system on a common channel (OKS System) M. : SVYAZ, 1980. 97 p.

#### Алієв Х.А. МЕТОД РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК ВУЗЛА ДОСТУПУ NGN ЗА ОБСЛУГОВУВАННЯ ПЕРЕДАЧІ ГОЛОСУ Й ДАНИХ

*Вузли доступу мереж NGN забезпечують агрегування трафіку до різних мережевих служб і його передачу на транспортний рівень, що дає змогу викликати такі мережі мультисервісними. Ці мережі використовуються для одночасної передачі голосу, відео та даних, представлених із стандартних пакетів. Водночас мережеві послуги надають необмежений набір телекомунікаційних послуг із заданими характеристиками якості обслуговування. Обрана технологія розповсюдження інформації в СПП визначає ступінь складності вузлів доступу і, звичайно, впливає якість послуги обміну інформацією між користувачькими терміналами. Одним зі способів забезпечення заданого рівня якості обслуговування для кожної з послуг є запровадження пріоритетного обслуговування для певних потоків транспорту. Уведення пріоритетів для пакетів – це ефективний спосіб керувати розміром*

черг і часом, проведеним у них. Коли приймається пакет із високим пріоритетом, пакет із нижчим пріоритетом або переривається (абсолютний пріоритет), або пакет із високим пріоритетом стає початком черги пакетів (відносний пріоритет). Вузли доступу NGN забезпечують агрегування трафіку до різних служб, спрямованих на комунальну телефонну мережу загального користування (PSTN), і його транспортування на більш високий рівень, що дає змогу називати такі мережі мультисервісними. Мережі нового покоління дають можливість водночас передавати змішані потоки (голос, відео та дані), представлені у вигляді стандартних пакетів. Одним зі способів забезпечення заданої якості послуги є запровадження пріоритетного методу обслуговування потоків транспорту. У роботі ми вивчаємо характеристики вузлів доступу NGN як двопріоритетної системи обслуговування з обмеженими очікуваннями. Запропоновано формули для розрахунку ймовірності втрати мовних пакетів, а також пакетів даних та інших характеристик вузла доступу.

**Ключові слова:** вузол доступу, потік даних, пріоритетний режим обслуговування, ймовірність утрати, обмежене очікування.

**Баган Т.Г.**

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

**Бунь В.П.**

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

**Ремінна А.А.**

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

## СИНТЕЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПАРИ ПРЯМОТОЧНОГО КОТЛОАГРЕГАТУ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЙРОКОНТРОЛЕРА

*У статті досліджено синтез системи автоматичного регулювання температури перегрітої пари прямооточного котлоагрегату. Мета роботи полягає в розробці нейронної мережі для врахування основних зв'язків і регулювання контурів котла за допомогою нейронної мережі.*

*Ця автоматична система керування є складною нестационарною системою з перехресними зв'язками. До того ж положення точки початку перегріву може змінюватися залежно від багатьох факторів, зокрема паропроодуктивності, кількості тепла, що надходить, витрати живильної води. Для покращення якості функціонування запропоновано структуру контролера, побудованого з використанням нейронної мережі. Установлено, що саме рекурентна нейронна мережа з одним зворотнім зв'язком дає найкращу якість регулювання, а необхідна кількість нейронів дорівнює шести. Моделювання роботи цієї системи керування здійснювалося в середовищі Matlab Simulink, використовуючи пакет прикладних програм Neural Network Toolbox. Для реалізації нейроконтролера застосовувався регулятор на основі авторегресії з ковзним середнім. За заданими параметрами навчальної послідовності здійснювалось навчання системи. Після цього проводилися тестування системи та валідація даних.*

*Аналіз результатів моделювання засвідчив, що запропонований підхід керування температурою перегрітої пари дає покращення якості функціонування системи за основними показниками якості порівняно з використанням класичних структур із ПІД-регуляторами. Це пов'язано з тим, що в структурі нейронної мережі наявні зворотні зв'язки, які істотно покращують якість регулювання. Нейроконтролер у силу своїх особливостей може мати множину входів і виходів. Тому доцільною є перспектива використання нейронних мереж як регулятора для подібних систем. Інтелектуальні методи є корисними в моделюванні та прогнозуванні складних систем, що мають нелінійність і невизначеність у своїх моделях.*

**Ключові слова:** прямооточний котлоагрегат, система керування, нейронна мережа, нейроконтролер.

**Постановка проблеми.** Сучасні прямооточні котли є високоавтоматизованими установками. Надійна експлуатація котельних агрегатів таких потужних енергетичних блоків на критичні параметри технічно можлива лише на базі комплексної автоматизації котельних агрегатів, оптимальної налашки систем автоматизації та кваліфікованого обслуговування.

У роботі розглянута можливість синтезу автоматичної системи керування (АСК) температури перегрітої пари, яка встановлена на прямооточному котлоагрегаті ТПП-312А.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосування ПІД-регуляторів для об'єктів про-

мислової автоматизації триває вже протягом значного часу. Це зумовлено мінімальною кількістю їх параметрів, відносною простотою їх налаштування й високою ефективністю такого підходу [1]. Проте при зміні параметрів об'єкта якість керування погіршується або потрібне нове налаштування параметрів регулятора. Такий підхід не є ефективним для об'єктів з істотно нестационарними параметрами. Виходом зі становища є застосування нових принципів: адаптивне керування, предикативне керування чи нейронні мережі. Вони передбачають підлаштування параметрів регулятора залежно від зміни навколишніх умов.

Для побудови нейромережевої системи в роботі [6] досліджується регулятор NN Predictive Controller, в основу побудови якого покладено принцип нелінійного предиктивного регулювання. Такий регулятор отримує модель нелінійного об'єкта керування у вигляді нейронної мережі, щоб передбачати його майбутню поведінку. До того ж регулятор розраховує сигнал керування, який оптимізує вихід об'єкта протягом заданого інтервалу часу. Однак зазначений регулятор вимагає великих обчислювальних витрат і складний для практичної реалізації.

Супервізорне керування передбачає безпервну зміну коефіцієнтів залежно від поточної помилки, її похідної чи інтеграла помилки. Більшість відомих варіантів супервізорів використовують для опису законів зміни коефіцієнтів нечіткі логічні правила [8]. Однак ці правила часто мають емпіричний характер, їх кількість виявляється досить великою, при цьому вони не завжди можуть бути логічно обгрунтовані.

Ще одним варіантом використання нейронної мережі може бути використання нейроконтролера як коректора для основного ПІД-регулятора [5]. Проте завдання навчання нейронної мережі в таких умовах є складним і багатовекторним.

**Постановка завдання.** Мета роботи полягає в розробці нейронної мережі для врахування основних зв'язків і регулювання контурів котла за допомогою нейронної мережі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**  
**Постановка задачі керування.** Принцип дії прямооточного котла заснований на повному випаруванні води, яке відбувається під час її прямооточного проходження через випарну поверхню. Живильний насос подає воду в економайзер і далі в підйомні труби та змійовики, які знаходяться в топці. Ці змійовики і труби і є випарувальною поверхнею. У них вода випаровується й відбувається перегрівання пари.

Послідовно з'єднані поверхні нагрівання прямооточного парогенератора можна представити у вигляді змійовика, в один кінець якого надходить живильна вода, а з іншого кінця виходить пере-

грітий пар. Пароводяний тракт може бути розділений на три частини: водяну, пароводяну і парову. Межі цих зон у загальному випадку не є фіксованими й можуть зміщуватися при перехідних процесах. Положення точки початку перегріву може змінюватися залежно від паропродуктивності, кількості тепла, що надходить, і витрати живильної води. Зазвичай її приймають відповідною до умовної температури фазового переходу  $T_{\phi}$ , що визначається максимальним значенням теплоємності пари [2].

Класична система автоматичного регулювання температури первинної пари побудована за двохімпульсною схемою зі зникаючим сигналом із проміжної точки, котра розташовується одразу після пароохолоджувача. Витрата охолоджувальної води в пароохолоджувачі регулюється клапаном з трифазним електроприводом.

Оптимальний синтез розглянутих систем регулювання виконаний для АСК температури перегрітої пари котла ТПП-312А. Динаміка основної та допоміжної змінних представлена передавальними функціями:

$$W_{\mu y}(s) = 0.08 \cdot \frac{e^{-23 \cdot s}}{(54.7 \cdot s + 1) \cdot (9.1 \cdot s + 1)},$$

$$W_{\mu z}(s) = 0.1 \cdot \frac{e^{-10 \cdot s}}{(48.9 \cdot s + 1) \cdot (11.5 \cdot s + 1)}.$$

В автоматичній системі керування з нейронною мережею необхідний всього один нейроконтролер [3], на вхід якого подаються похибки по основному та допоміжних каналах, а на виході формується необхідний регульований вплив  $\mu$  (рис. 1).

**Дослідження залежності якості регулювання від топології мережі.** Для дослідження залежності якості регулювання від топології мережі розглянуто такі нейронні мережі, як прямонаправлена (персептрон), рекурентна з 1-ю, 2-ма та 3-ма зворотними зв'язками та повнозв'язна. Число шарів і нейронів варіювалося [7].

У ході експерименту встановлено, що саме рекурентна нейронна мережа з одним зворотнім зв'язком дає найкращу якість регулювання, а необ-

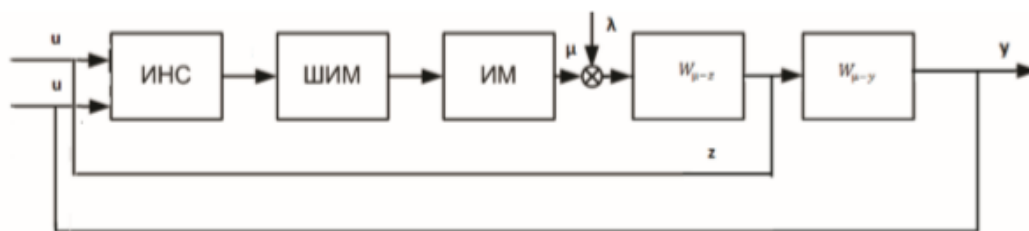


Рис. 1. Структурна схема АСК з нейроконтролером

хідна кількість нейронів дорівнює шести. Тобто один прихований шар із трьома нейронами (рис. 2).

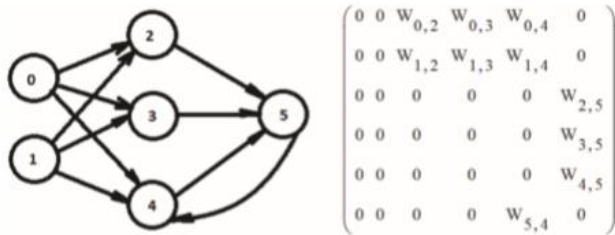


Рис. 2. Структурна схема нейроконтролера температури перегрітої пари і її матриця суміжності

Найкращих результатів вдалося домогтися з блоками у вигляді логарифмічної функції, яка має вигляд:

$$\varphi(b) = \ln(b + \sqrt{b^2 + 1}),$$

де  $b$  – сумарний сигнал на вході нейрона.

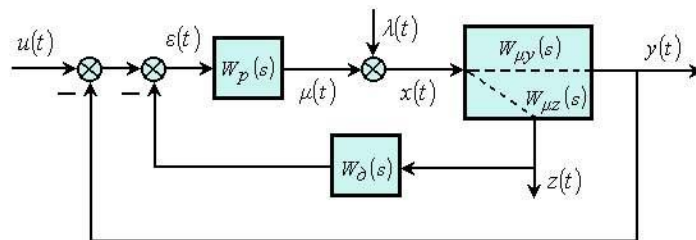
Інструментом для налаштувань нейронної мережі був вірогідний еволюційний алгоритм оптимізації багатоекстремальних задач. Алгоритм складається з вірогідної процедури Монте-Карло для створення множини початкових точок для пошуку оптимального рішення.

На рис. 3 (а) показана класична схема регулювання температури перегрітої пари з ПІ-контролером і вводом випереджаючого сиг-

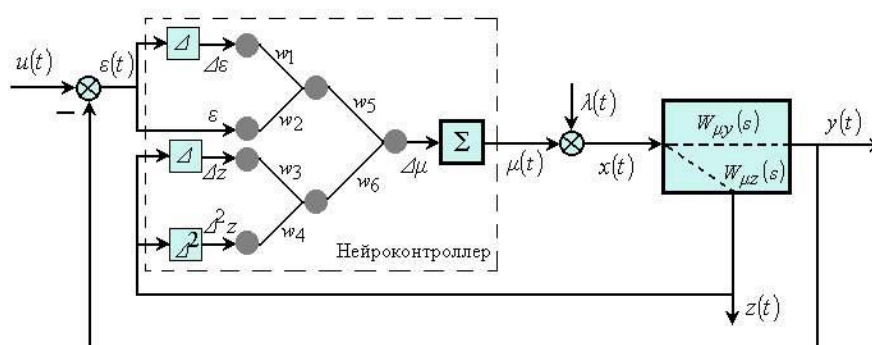
налу через диференціатор. На рис. 3 (б) представлена схема з нейроконтролером, який має вихідний сигнал для виконуючого механізму постійної швидкості у вигляді приросту положення регулюючого органу на кожному кроці рішення  $\Delta\mu$ , у результаті інтегрування якого реалізується регулюючий вплив  $\mu(t)$ . Сигналами на вході нейроконтролера є відхилення  $\varepsilon$  основної регульованої величини  $y(t)$  від заданого значення  $u(t)$  та його перша похідна  $\Delta\varepsilon$ , а також перша  $\Delta z$  і друга  $\Delta^2 z$  похідні допоміжної величини  $z(t)$ . У першому наближенні така структура відповідає ПІ-алгоритму по основній змінній  $y(t)$  та ПД – алгоритму по допоміжній змінній  $z(t)$ .

Нейроконтролер в аналізованій системі реалізований у вигляді трьохшарової нейронної мережі з двома нейронами в прихованому шарі та шістьма синаптичними ваговими коефіцієнтами  $W(w_1, w_2, \dots, w_6)$ , які є налаштовувальними параметрами.

Розрахунок налаштувань параметрів традиційної АСК з диференціатором у випадку малої інертності допоміжного каналу  $W_{\mu z}(s)$  може бути виконаний відомим аналітичним методом. Диференціатор  $W_{\delta}(s)$  розраховується на заданий запас стійкості щодо передавальних функцій основного та допоміжного каналів  $W_{\mu y}(s)/W_{\mu z}(s)$ , а регулятор  $W_p(s)$  – по передавальній функції еквівалентного об'єкта:



а)



б)

Рис. 3. Структурні схеми АСК: а) з диференціатором; б) з нейроконтролером

$$W_s^p(s) = W_{\text{цв}}(s) + W_{\text{цз}}(s) \cdot W_{\text{д}}(s).$$

Коли інерційність допоміжного каналу  $W_{\text{цз}}(s)$  порівнюється з інертністю основного  $W_{\text{цв}}(s)$ , рекомендується ітераційна процедура виконання умов збіжності [4].

При такому підході в еквівалентному об'єкті для уточнення налаштувань диференціатора  $W_{\text{д}}(s)$  з'являється замкнутий контур і необхідність урахування налаштувань диференціатора на попередньому кроці ітераційної процедури, що позначається на збіжності й помітно ускладнює рішення задачі за рахунок збільшення числа розрахункових циклів.

У схемі з нейроконтролером розрахунок синаптичних коефіцієнтів аналітичними методами практично неможливий.

Необхідність пошуку глобального екстремуму за наявності великого числа локальних у подібних системах зростає зі збільшенням числа налаштувальних параметрів. Складність обчислювальних процедур робить рішення подібних задач можливим лише із застосуванням алгоритмів числової оптимізації з використанням прийомів імітаційного моделювання.

**Моделювання котла за допомогою нейронної мережі та ПІД-регулятора.** Моделювання роботи АСК здійснювалося в середовищі Matlab Simulink, використовуючи пакет прикладних програм Neural Network Toolbox. Для реалізації нейроконтролера застосовувався регулятор на основі авторегресії з ковзним середнім.

Проектування нейроконтролера складається з двох етапів: етап ідентифікації керуючого об'єкта й етап синтезу закону керування. На етапі ідентифікації розробляється модель об'єкта у вигляді нейронної мережі, яка на другому етапі використовується для синтезу контролера.

Побудована модель котлоагрегату з використанням ПІД-регулятора та нейронної мережі в середовищі Matlab Simulink (рис. 4).

Процедура ідентифікації потребує задання таких параметрів, як розмір прихованого шару, що визначається кількістю використаних нейронів; такт дискретності в секундах, визначає інтервал між двома послідовними моментами зняття даних; кількість елементів запізнення на вході моделі; кількість елементів запізнення на виході моделі; нормування навчальних даних до діапазону [0 1].

За заданими параметрами навчальної послідовності здійснювалося навчання системи. Після чого проводиться тестування системи та валідація даних. Результати подано на рис. 5 і 6 відповідно.

**Результати синтезу.** Результати розрахунку оптимальних налаштувань параметрів для двох варіантів АСК представлені в таблиці 1.

Параметри нейроконтролера й регуляторів, використовувани в порівняннях, отримані виходячи з таких показників якості роботи алгоритмічної системи регулювання по кожному каналу:

- модульний інтегральний показник якості;
- ступінь затухання;
- динамічне відхилення;
- час регулювання.

Отримані перехідні процеси для АСК з різними регуляторами представлені на рис. 7.

Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що у випадку роботи АСК з нейроконтролером якість набагато краща, ніж в АСК з диференціатором. Це пов'язано з тим, що в структурі нейронної мережі присутні зворотні зв'язки, які істотно покращують якість регулювання.

Поєднання двох або більше інтелектуальних методів дає потужну систему високої ефек-

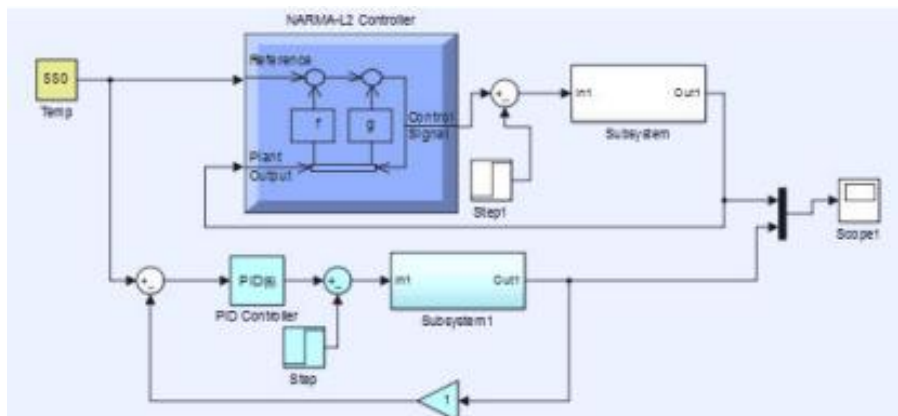


Рис. 4. Модель АСК котлоагрегату з використанням ПІД-регулятора та нейроконтролера

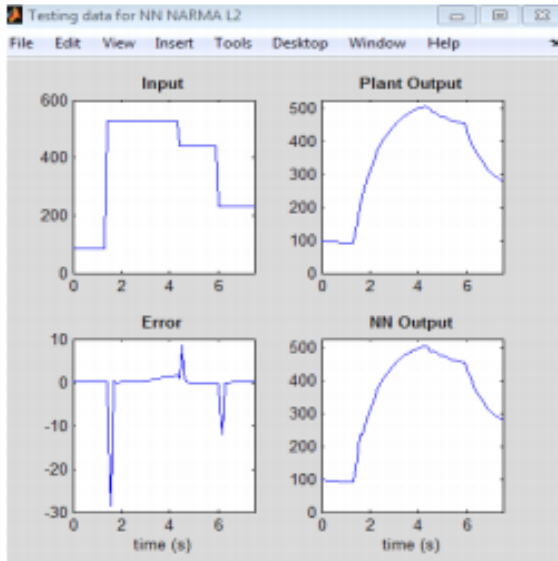


Рис. 5. Графік тестування даних

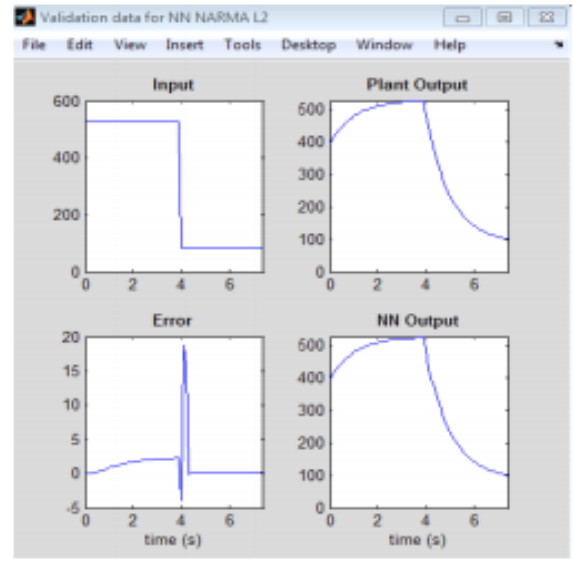


Рис. 6. Графік валідації даних

Таблиця 1

Результати розрахунку налаштувань параметрів АСК

Метод налаштування	Налаштовувальні параметри АСК з диференціатором				Інтегральні критерії для вхідного впливу $\lambda(t)=1$			
	$W_p(s)$		$W_\partial(s)$		$I_{M,\lambda}$	$I_{L,\lambda}$		
	$K_p$	$K_{II}$	$K_\partial$	$T_\partial$				
Третій метод	169.9	0.133	39.8	3.560	0.321	0.281		
Перший метод	3.5	3.000	29.4	0.927	1.582	1.079		
Другий метод	13.0	1.500	44.6	2.165	0.479	0.462		
Метод налаштування	Налаштовувальні параметри АСК з нейроконтролем						Інтегральні критерії для вхідного впливу $\lambda(t)=1$	
	$w_1$	$w_2$	$w_3$	$w_4$	$w_5$	$w_6$	$I_{M,\lambda}$	$I_{L,\lambda}$
Третій метод	-1.226	-0.172	0.185	0.022	-3.221	-4.510	0.301	0.253

тивності. Інтелектуальні методи дуже корисні в моделюванні та прогнозуванні складних систем, що мають нелінійність і невизначеність у своїх моделях.

**Висновки.** У статті розглянуто процеси регулювання температури пари прямооточного котлоагрегату з використанням новітніх способів керування. Запропоновано побудову АСК температури пари за допомогою нейроконтролера, який є перспективним регулятором за рахунок своєї легкості

в навчанні, більш кращими показниками якості регулювання порівняно зі стандартними АСК. Для підвищення якості регулювання варто розглядати додавання інформаційних входів нейронної мережі й додавання зворотних зв'язків у структурі нейронної мережі. Нейроконтролер у силу своїх особливостей може мати множину входів і виходів. Тому доцільною є перспектива використання нейронних мереж як регулятора для подібних систем.



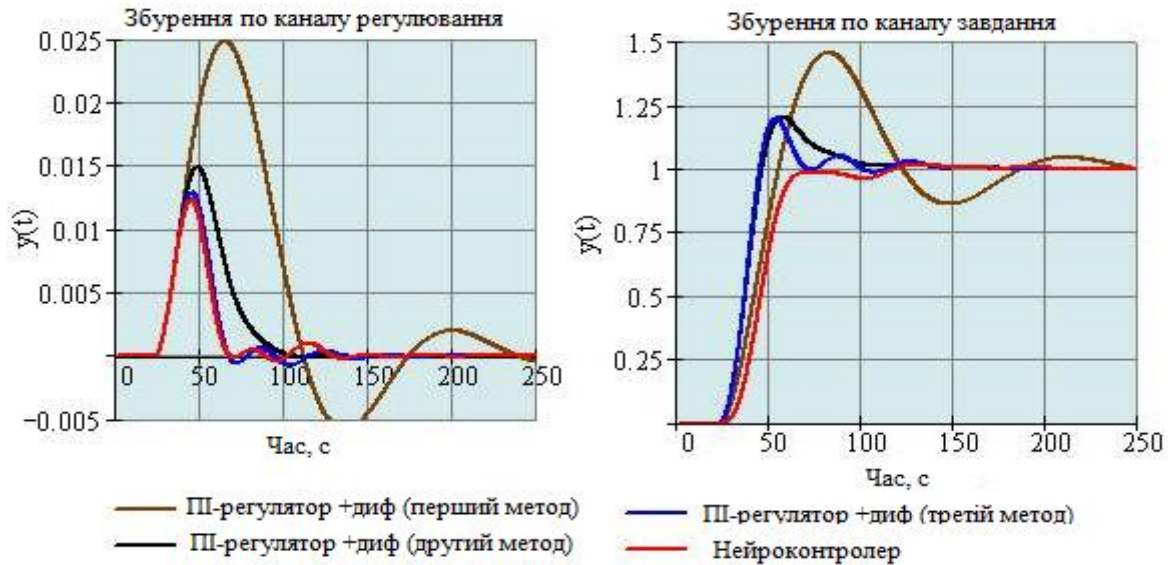


Рис. 7. Порівняння перехідних процесів з різними контролерами

#### Список літератури:

1. Vilanova R., Visioli A. PID Control in the Third Millennium. Lessons Learned and New Approaches. Springer. 2012. 599 p.
2. Коновалов М.А. Проблемы автоматизации инерционных теплоэнергетических объектов. Киев, 2009. 309 с.
3. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. Київ, 2008. 470 с.
4. Ковриго Ю., Баган Т., Бунке А. Обеспечение робастного управления в системах регулирования инерционными теплоэнергетическими объектами. *Теплоэнергетика*. 2014. № 3. С. 9–14.
5. Mamchur D., Yatsiuk R. Development of the pid-neurocontroller to compensate for the impact of damages and degradation of induction motor on operation of the electric drive system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5. № 2 (95). P. 66–77.
6. Кузнецов Б.І., Василець Т.Ю., Варфоломійєв О.О. Синтез нейрорегулятора Model Reference Controller для системи наведення і стабілізації. *Електротехніка і електромеханіка*. 2015. № 5. С. 47–54.
7. Баган Т.Г., Ремінна А.А. Використання нейронних мереж в автоматизації процесів. *Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів*. 2020. С. 27.
8. Баган Т.Г., Кузін М.Ю. Нечіткий динамічний коректор для об'єктів із параметричною нестационарністю. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*. 2020. № 1. С. 61–67.

#### **Bahan T.H., Boun V.P., Reminna A.A. DESIGN OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF DIRECT-FLOW BOILER STEAM TEMPERATURE USING A NEUROCONTROLLER**

*The article deals with the synthesis of the system of automatic control of superheated steam temperature of a direct – flow boiler unit. The aim of the work is to develop a neural network to take into account the basic connections and control the boiler circuits using a neural network.*

*This automatic control system is a complex non-stationary system with cross-links. In addition, the position of the starting point of overheating can vary depending on many factors, in particular, steam productivity, the amount of incoming heat, the consumption of feed water. Controller's structure built using a neural network to improve the quality of operation. It is found that it is a recurrent neural network with one feedback that gives the best quality of regulation, and the required number of neurons is equal to six. Simulation of this control system was performed in the Matlab Simulink environment, using the application package Neural Network Toolbox. To implement the neurocontroller, a regulator based on autoregression with a moving average. According to the set parameters of the training sequence, the system was trained. After that, system testing and data validation were performed.*

*The analysis of the simulation results showed that the proposed approach to superheated steam temperature control improves the quality of the system functioning according to the main quality indicators in comparison with the use of classical structures with PID controllers. This is because there is feedback in the structure of the neural network, which significantly improves the quality of regulation. Due to its features, the neurocontroller can have multiple inputs and outputs. Therefore, it is advisable to use neural networks as a regulator for such systems. Intelligent methods are useful in modeling and predicting complex systems that have nonlinearity and uncertainty in their models.*

**Key words:** *direct-flow boiler, control system, neural network, neurocontroller.*

**Бараненко Р.В.**

Уманський національний університет садівництва

**КІБЕРАТАКИ ЯК ОДНА З ФОРМ КІБЕРТЕРОРИЗМУ**

*У статті зосереджено увагу на питаннях протидії кібератакам як актам кібертероризму в контексті забезпечення національної та міжнародної системи кібербезпеки. Зроблено акцент, що проникнення до інформаційної сфери та її використання кримінальними, у тому числі й терористичними, елементами породило явища, які називаються кіберзлочинністю й кібертероризмом.*

*Наголошується, що кібертерорист може становити небезпеку для значно більшої кількості людей, безпосередньо не беручи участі в терористичному акті, а перебуваючи в безпечному для себе місці.*

*Наведено визначення заходів забезпечення кібернетичної безпеки держави в кіберпросторі, аналіз змісту кібертероризму, його складників і методів реалізації актів кібертероризму.*

*Наведено перелік цілей, для реалізації яких терористичні організації широко використовують Інтернет і новітні інформаційні технології.*

*За своїми можливостями акти кібертероризму розподілено на три рівні.*

*Особливий акцент зроблено на тому, що однією з найяскравіших форм кібертероризму є проведення кібератак. Наведено поняття кібератак типу «убивчий ланцюжок» (Kill Chain) та етапів її реалізації. Проаналізовано кожен з етапів. Оскільки особливою формою кібератаки, яка фокусується на перериванні мережного сервісу, є DoS-атака, то розглянуто схеми таких атак, класифікаційні ознаки кібератак і варіанти організації DDoS-атак: ботнет, флешмоб і HTTP-флуд.*

*Зазважено, що особливою проблемою для фахівців з кібербезпеки є визначення комп'ютера користувача мережі, з якого здійснено кібератаку.*

*У підсумку наведено перелік факторів, які рекомендовано враховувати для протидії кібератакам.*

**Ключові слова:** кібератака, кібербезпека, кіберпростір, кібертероризм, протидія кібератакам.

**Постановка проблеми.** Швидкий розвиток інформаційних і телекомунікаційних технологій сягає з кожним днем усе нових і нових рівнів, про що вказує їх активне впровадження до всіх без винятку сфер життєдіяльності людини. Інформаційні мережі, мережа Інтернет, хмарні сервіси дають змогу обмінюватися інформацією за лічені секунди, крім цього, упровадження комп'ютерних систем управління стало причиною автоматизації різноманітних виробничих та інших процесів.

Становлення інформаційного суспільства не лише дає змогу зводити більш ефективно й успішно суспільство, а й надає нових імпульсів традиційним загрозам безпеці держави і створює принципово нові складнощі для системи національної безпеки. У таких умовах особливого значення набуває пошук нових можливостей гарантування безпеки держави з огляду на формування нового поля протиборства – кіберпростору.

Проникнення до інформаційної сфери та її використання кримінальними, у тому числі й терористичними, елементами породило явища, які називаються кіберзлочинністю і кібертероризмом.

Комп'ютерна техніка використовуються в різних сферах суспільного життя, від бібліотек до

атомних електростанцій і військових об'єктів. Якщо терорист, який використовує у своїх цілях звичайне озброєння, небезпечний для десятків або сотень людей, то кібертерорист може становити небезпеку для значно більшої кількості людей, безпосередньо не беручи участі в терористичному акті, а перебуваючи в безпечному для себе місці. Зважаючи на той факт, що проти України вже сьомий рік ведеться гібридна війна з боку Російської Федерації, для нашої держави є дуже важливим забезпечення безпеки комп'ютерної техніки й телекомунікаційних мереж у сферах, які критично впливають на життєзабезпечення українського народу. Такий стан справ дає підстави стверджувати, що відсутність надійної системи кібернетичної безпеки (стан захищеності кіберпростору загалом або окремих об'єктів його інфраструктури та засобів їх взаємодії від ризику стороннього кібернетичного впливу) може призвести до втрати політичної незалежності будь-якої держави світу, тобто до фактичного програшу нею війни невійськовими засобами та підпорядкування її національних інтересів інтересам іншої (протиборчої) сторони [1].

У зв'язку з цим постає питання визначення самого поняття «кібертероризм» і його змісту,

аналіз його складників і методів реалізації актів кібертероризму; розробки рекомендацій і заходів протидії кібертероризму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Окремі аспекти протидії кібертероризму й забезпечення кібернетичної безпеки держави розглядали В.Л. Бурячок, В.М. Бутузов, В.Д. Гавловський, В.О. Голубєв, І.В. Діордіца, О.Д. Довгань, Д.В. Дубов, Н.В. Коваленко, В.В. Марков, В.А. Ліпкан, В.В. Носов, О.В. Манжай, М.А. Ожеван, М.А. Погорєцький, К.В. Тітуніна, В.Г. Хлань, В.О. Хорошко, В.П. Шеломенцев; зарубіжні науковці: Л. Вентц, Д. Деннінг, Ф. Крамер, М. Лібіцькі, Дж. Ліпман, Дж. Льюїс, Дж. Най, Г. Раттрей, Д. Фахренкурт, Дж. Шелдон та інші.

Проте низка важливих питань у сфері протидії кібертероризму залишилася без достатньої уваги дослідників.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення заходів забезпечення кібернетичної безпеки держави в кіберпросторі, аналіз змісту кібертероризму, його складників і методів реалізації актів кібертероризму; розробка рекомендацій і заходів протидії кібертероризму.

Об'єктом дослідження є система протидії кібертероризму як сукупність явищ і процесів. Предметом дослідження є характеристика методів і засобів реалізації кібератак як актів кібертероризму та механізмів їх протидії.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Кібертероризм – це багатогранний феномен, зумовлений багато в чому безконтрольним використанням глобальних мереж, недостатньою увагою з боку держави, громадянського суспільства і спецслужб до цього сегменту інформаційного простору, що виявляється в атаках на комп'ютери, комп'ютерні програми й мережі або розміщену в них інформацію, з метою створення атмосфери страху та безвиході в суспільстві в ім'я досягнення цілей та інтересів суб'єктів терористичної діяльності, що вимагає об'єднання зусиль світової спільноти для ефективної протидії йому [2, с. 15].

Відомо, що терористичні організації широко користуються Інтернетом і новітніми інформаційними технологіями для реалізації таких цілей:

- налагодження конфіденційного зв'язку (наприклад, через чати онлайн-ігор або кодовані повідомлення);
- планування атак за допомогою таких сервісів, як Google Maps або Earth;
- координація атак за допомогою VoIP-телефонії та інших інформаційних технологій, що забезпечують анонімність і конфіденційність;

- визначення потенційних цілей (наприклад, використання соціальних мереж для визначення «прибуткових» жертв з метою отримання викупу за їх викрадення);

- підвищення обізнаності у сфері військової тактики і створення вибухових пристроїв;

- фінансування терористичної діяльності через анонімні онлайн-пожертвування з усього світу, що здійснюються за допомогою електронних платіжних систем;

- залучення нових членів і поширення терористичної ідеології завдяки створенню високоякісних медіа-ресурсів та активній вербувальній роботі у соціальних мережах [3, с. 340].

Групою Monterey визначено три рівні кібертерору за своїми можливостями:

- простий неструктурований: можливість проводити основні атаки проти окремих систем, що використовують інструменти, створені кимось іншим. Організація має невеликий цільовий аналіз, управління й контроль;

- просунуто-структурований: можливість проводити більш складні атаки проти декількох систем або мереж і, можливо, модифікувати або створювати базові інструменти злову. Організація має елементарний об'єкт аналізу, управління й контролю;

- комплексно-координований: можливість до скоординованих атак, здатних викликати масове руйнування інтегрованих гетерогенних систем захисту (у тому числі криптографічних). Можливість створювати складні інструменти злову. Організація має дуже ефективний цільовий аналіз, управління й контроль [4].

Науковці І.В. Владленова, Е.А. Кальницький розрізняють різні прийоми кібертероризму в кіберпросторі:

- нанесення шкоди окремим фізичним елементам інформаційного простору, наприклад, руйнування мереж електроживлення, здійснення перешкод;

- використання спеціальних програм, що стиmulюють руйнування апаратних засобів;

- крадіжка або знищення інформаційного, програмного й технічного ресурсів, що мають суспільну значимість, шляхом подолання систем захисту, упродовження вірусів тощо;

- вплив на програмне забезпечення та інформацію з метою їх спотворення або модифікації в інформаційних системах і системах управління;

- розкриття й загроза опублікування або самоопублікування закритої інформації про функціонування інформаційної інфраструктури держави,

суспільно значущих і військових інформаційних систем, коди шифрування, принципи роботи систем шифрування;

– захоплення каналів ЗМІ з метою поширення дезінформації, чуток, демонстрації потужності терористичної організації та оголошення своїх вимог тощо [5].

Сьогодні вже ні для кого не є секретом, що особливий інтерес для терористів становлять саме державні інформаційні системи, об'єктами їх діяльності стають важливі елементи державної інфраструктури, наприклад, системи управління та функціонування атомних об'єктів, електростанцій, залізні дороги, аеропорти тощо [6, с. 57].

Однією з найяскравіших форм кібертероризму є проведення кібератак. Наприклад, тільки в листопаді та грудні 2016 року Україна піддавалася кібератакам 6500 разів. Крім інформаційної пропаганди й викрадення важливої інформації, російські кібервійська добралися й до електрики в столиці України. 17 грудня 2016 року в Києві ненадовго вимкнулося світло. Після проведеного розслідування підприємство «Укренерго» заявило, що ця атака пов'язана з іншими: зломом системи «Укрзалізниця», Міністерства фінансів і Пенсійного фонду України. Це не перше втручання до українських енергосистем. У грудні 2015 року без світла ненадовго залишилися 230 тисяч киян. Фахівці з кібербезпеки з Information Systems Securit Partners (ISSP), які проводили розслідування для «Укренерго», пов'язують ці два зломи. Наслідки цих атак вдалося легко усунути. Експерти висловили припущення, що ці атаки проводилися лише з метою демонстрації своїх можливостей. Україна перетворилася на тестовий полігон для російських хакерів. BugDrop – ще одна кібератака, яка відбулася в Україні в лютому 2017 року. Ініціатори цього злому досі невідомі. Кібератаку виявила міжнародна компанія у сфері безпеки CyberX, яка на своєму сайті опублікувала офіційне розслідування [7].

Проте найбільш вразливою виявилася масштабна хвиля кібератак у червні 2017 року. 27 червня в Україні вірус-вимагач «Petya.A» зупинив роботу платіжних терміналів у «Київському метрополітені» й призвів до масових збоїв в українських торговельних мережах, енергокомпаніях, ЗМІ, банках, поштових сервісах. За дві доби до Національної поліції звернулися понад 1,5 тис. юридичних і фізичних осіб як жертв зазначеної кібератаки. При цьому тільки 178 із них написали офіційні заяви, з яких 152 заяви – від представників приватного сектору, 26 – від державних структур [8].

Відомим українським дослідником з питань кібербезпеки професором В.Л. Бурячком сформульоване таке визначення поняття «кібератака» – це сукупність узгоджених щодо мети, змісту й часу дій або заходів, так званих кіберакцій, спрямованих на певний об'єкт впливу з метою порушення конфіденційності, цілісності, доступності, спостережуваності або авторства інформації, що циркулює в ньому, з урахуванням її уразливості, а також порушення роботи ІТ-систем і мереж зазначеного об'єкта [9].

Кібератаки можуть бути таргетованими, тобто спрямованими проти конкретної цілі з прихованням слідів активності на всіх її етапах. Таргетована (цільова) кібератака (від англ. target) є безперервним тривалим процесом несанкціонованої активності кіберзлочинців в умовах конкретного об'єкта критичної інфраструктури, покликаним здолати конкретні механізми забезпечення безпеки й завдати конкретного збитку (фізичного, інформаційного, морального тощо). Цей процес віддалено керований у реальному часі організованою професійною групою кіберпорушників, озброєних потужними апаратно-програмними засобами. Інструментарієм таргетованих кібератак є засоби АРТ (Advanced Persistent Threat – атакуюча безперервна загроза) – комбінація спеціальних утиліт віддаленого доступу, шкідливого програмного забезпечення, механізмів використання вразливостей «нульового дня», а також інших компонентів, спеціально розроблених для реалізації конкретної атаки [10, с. 79].

У кібербезпеці існує поняття «убивчий ланцюжок» (Kill Chain), яке позначає етапи кібератаки на інформаційні системи – об'єкти атаки.

До компрометації об'єкта атаки передують такі етапи:

– *розвідка* – збір інформації про об'єкт атаки за допомогою відкритих джерел;

– *озброєння* – створення шкідливого ПЗ та експлоїтів для відправки до об'єкта атаки;

– *доставка* – відправка до об'єкта атаки експлоїтів і шкідливого ПЗ електронною поштою, з використанням web-сайтів тощо.

Під час компрометації об'єкта атаки виконуються такі 2 етапи:

– *реалізація (зараження)* – виконання експлоїтів;

– *установлення* – на об'єкт атаки встановлюється шкідливе ПЗ та бекдори.

Після компрометації об'єкта атаки вже можлива реалізація таких етапів:

– керування й контроль – віддалене керування об'єктом атаки, що здійснюється за допомогою командного сервера або каналу;

– виконання дій – зловмисник здійснює шкідливі дії, наприклад, викрадає інформацію, шифрує файли, перехоплює керування, виконує підміну даних, виводить пристрої системи з ладу або проводить додаткові атаки на інші пристрої в мережі, знову реалізуючи етапи «убивчого ланцюжка».

Щоб захиститися від «убивчого ланцюжка», засоби мережного захисту створюються для протистояння кібератаці на кожному етапі цього ланцюжка. При побудові системи захисту організації від подібних кібератак, на думку фахівців компанії Lockheed Martin, потрібно відповісти на такі питання:

Що є індикаторами атаки на кожному етапі «убивчого ланцюжка»?

Які інструменти безпеки необхідні для виявлення індикаторів атаки на кожному з етапів?

Чи є проблеми з виявлення атаки в системі кібербезпеки організації?

Особливою формою кібератаки, яка фокусується на перериванні мережного сервісу, є DoS-атака, що досягається відправленням зловмисниками великих обсягів трафіку або даних через цільову мережу, поки мережа не перевантажується («відмова в обслуговуванні»). Як правило, DoS-атака здійснюється одним комп'ютером або одним центральним розташуванням комп'ютерів. Популярна категорія DoS-атак – розподілена атака на відмову в обслуговуванні (DDoS), що відрізняється від звичайної DoS атаки кількістю комп'ютерів, що беруть у ній участь. Ці комп'ютери працюють разом за допомогою Інтернету для передачі трафіку до цільової мережі [11, с. 153].

В.А. Світличний виділяє такі атаки на відмову залежно від схеми атаки, тобто шляхів, якими здійснюється доставка шкідливого трафіку від атакуючого комп'ютера до атакованої інформаційної системи:

– пряма, під час якої пересилка трафіку здійснюється безпосередньо з одного або багатьох хостів;

– віддзеркалена, під час якої пересилка трафіку здійснюється через третіх осіб;

– прихована, під час якої зловмисний трафік ховається в «законному» трафіку [12, с. 89].

В.Л. Бурячок, В.Б. Толубко та інші наводять такі класифікаційні ознаки кібератак:

1. За метою впливу на об'єкт атаки розрізняють спрямований, наприклад, на порушення ціліс-

ності або конфіденційності інформації, її захищеності від несанкціонованого доступу, а також на порушення живучості системи та надійності її функціонування.

2. За принципом впливу на об'єкт атаки:

– використання прихованих каналів (шляхів передавання інформації, що дають змогу двом процесам обмінюватися нею у спосіб, який порушує політику безпеки);

– застосування прав суб'єкта системи (користувача, процесу) до об'єкта (файлів даних, каналів зв'язку тощо).

3. За характером впливу на об'єкт атаки:

– активний вплив (користувач виконує деякі дії, що виходять за рамки його обов'язків і порушують наявну політику безпеки, наприклад, розкриття пароля);

– пасивний вплив (користувач прослуховує лінії зв'язку між двома вузлами мережі).

4. За способом впливу на об'єкт атаки, зокрема на систему дозволів (захоплення привілеїв), а також безпосередній доступ до даних, програм, служб, каналів зв'язку з використанням привілеїв.

5. За засобами впливу на об'єкт атаки, що передбачають використання або стандартного програмного забезпечення, або спеціально розроблених програм.

6. За об'єктом атаки: напад може здійснюватися на систему загалом; на дані та програми, що містяться на зовнішніх (дисківоди, мережні пристрої, термінали) або внутрішніх (оперативна пам'ять, процесор) пристроях системи, а також у каналах передавання даних; на процеси й підпроцеси системи за участю користувачів. Метою таких атак є або прямий вплив на роботу процесу (його припинення, зміна привілеїв і характеристик), або зворотний вплив (використання зловмисником привілеїв, характеристик тощо іншого процесу у своїх цілях).

7. За станом об'єкта: безпосередньо під час атаки інформація в ньому може зберігатися, передаватися або оброблятися.

8. За використовуваною системою захисту; за кількістю атакуювальників; за джерелами атак; за розміщенням атакуючого об'єкта стосовно атакованого; за наявністю зв'язку з атакованим об'єктом; за рівнем еталонної моделі OSI об'єкта, на який здійснюється вплив. При цьому помилки системи захисту інформації можуть бути зумовлені, наприклад, помилками адміністративного управління, помилками в алгоритмах програм, а також у зв'язках між ними, помилками кодування тощо [13, с. 45–46].

У більшості випадків результат DDoS-атаки – це непрацюючий або повільно працюючий веб-сервер, але останнім часом DDoS-атаки орієнтовані не тільки на веб-сервери. Основними цілями сучасних DDoS-атак усе частіше стають інтернет-канал і міжмережний екран [14, с. 22].

Є два варіанти організації DDoS-атак:

– ботнет – зараження певного числа комп'ютерів програмами, які в певний момент починають здійснювати запити до атакованого сервера;

– флешмоб – домовленість великого числа користувачів інтернету почати здійснювати певні типи запитів до атакованого сервера [15, с. 53].

Ще однією особливістю сучасних DDoS-атак є атаки типу HTTP-флуд. Вони починаються, коли атакуючий направляє велику кількість HTTP GET/POST запитів, підриваючи ресурси сервера. При цьому, хоча HTTP-атаки залишаються найбільш розповсюдженими, SSL-шифровані атаки залишаються небезпечними, оскільки їм важко протидіяти. Зловмисники використовують цю функцію зашифрованих повідомлень як засіб обходу рішень безпеки (анти-DoS/DDoS, брандмауера й IPS/IDS), які, урешті, не фіксують атаку [14, с. 22].

Додатковою проблемою для фахівців з кібербезпеки є визначення комп'ютера користувача мережі, з якого здійснено кібератаку. Погрішність ідентифікації, заснованої на IP-адресі (до недавнього часу облік був основним методом ідентифікації), складається з погрішностей передачі й погрішностей користування комп'ютером. Так, наприклад, при роботі користувачів через проху-сервер уся підмережа, яка за ним ховається, у більшості випадків матиме єдину IP-адресу. З іншого боку, працюючи через комутоване з'єднання, користувач при кожному підключенні отримуватиме від провайдера нову IP-адресу тощо [16, с. 151].

Завдання ідентифікації пристрою зазвичай вирішується за допомогою унікальних кодів,

таких як MAC або IP-адреса в мережах Ethernet або IMEI в мережах GSM. Проте використання унікального коду дає відповідь лише на питання, це той самий пристрій чи ні, але не повідомляє точний тип пристрою та спосіб його використання конкретним користувачем [16, с. 152].

**Висновки.** Кібератаки на інформаційні системи держустанов, організацій та об'єкти критичної інфраструктури як акти кібертероризму становлять значну загрозу як для системи міжнародної кібербезпеки, так і для української національної безпеки як її невід'ємного складника, наносячи непоправну шкоду нормальній життєдіяльності українського суспільства особливо в умовах ведення гібридної війни з Російською Федерацією. Засоби сучасного інформаційного суспільства дають змогу кібертерористам легко пропагувати свої ідеї, розширювати лави своїх учасників і досягати своєї мети, використовуючи кіберпростір.

Тому для виявлення слідів кібератак і як заходи їх протидії рекомендуємо враховувати такі фактори, запропоновані в дослідженні Н.С. Козак:

1) контроль цілісності програм, файлів даних та інших інформаційних ресурсів, які підлягають захисту;

2) аналіз діяльності користувачів і процесів, а також мережного трафіку в комп'ютерній мережі, над якою здійснюється контроль;

3) контроль фізичних форм нападу на елементи інформаційної системи, у тому числі й на відчужувані джерела збереження інформації;

4) аналіз дій адміністраторів з перевірки попередніх інцидентів [17].

Звісно, що жодні превентивні заходи не дають 100% захисту інформаційної системи – об'єкта атаки від руйнівного впливу кібератак. Проте їх запровадження до чинної системи кіберзахисту об'єкта атаки дасть змогу зменшити нанесену кібертерористами шкоду.

### Список літератури:

1. Бурячок В.Л. Кібернетична безпека – головний фактор сталого розвитку сучасного інформаційного суспільства. *Сучасна спеціальна техніка*. 2011. № 3 (26). С. 104–114.
2. Молодчая Е.Н. Политика противодействия кибертероризму в современной России: политологический аспект : автореф. дисс. ... канд. полит. наук : 23.00.02. Москва, 2011. 30 с.
3. Ткачук Н. Кібертероризм як новий виклик національній безпеці. *Протидія терористичній діяльності: міжнародний досвід і його актуальність для України* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (30 вересня 2016 року). Київ : Національна академія прокуратури України, 2016. С. 340–342.
4. Dorothy E. Denning (May 23, 2000). "Cyberterrorism". cs.georgetown.edu. Archived from the original on March 10, 2014. Retrieved June 19, 2016.
5. Владленова І.В., Кальницький Е.А. Кіберзлочинність як виклик інформаційному суспільству. *Гілея: науковий вісник* : збірник наукових праць. 2013. Вип. 77. С. 142–146.

6. Бойченко О.В., Ончурова О.О. Кібертероризм у складі сучасних проблем національної безпеки. *Фортеця права*. 2010. № 2. С. 57.
7. Всесвітній огляд економічних злочинів. Кіберзлочини в центрі уваги. URL: [http://www.pwc.com/ua/en/services/forensic/assets/gecs\\_2011\\_report\\_ukraine\\_ukr.pdf](http://www.pwc.com/ua/en/services/forensic/assets/gecs_2011_report_ukraine_ukr.pdf).
8. Питання місяців: стало відомо, хто допоможе Україні у протистоянні кібератакам. URL: <https://www.obozrevatel.com/ukr/crime/61395-pitannya-misyatsiv-stalo-vidomo-hto-dopomozhe-ukraini-v-vidobrazhenni-kiberatak.htm>.
9. Бурячок В.Л. Основи формування державної системи кібернетичної безпеки : монографія. Київ : НАУ, 2013. 432 с.
10. Козюра В.Д., Хорошко В.О. Як протистояти реальним кіберзагрозам об'єктам критичної інфраструктури України. *Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Одеса, 17 листопада 2017 р. Одеса : ОДУВС, 2017. С. 79–80.
11. Бараненко Р.В., Задорожна А.Ю. Аналіз методів протидії кібератакам. *Юридичний бюлетень*. 2018. № 6. С. 148–161.
12. Світличний В.А. Дослідження атак на відмову в обслуговуванні інформаційно-телекомунікаційних систем. *Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання* : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Одеса, 30 листопада 2018 р. Одеса : ОДУВС, 2018. С. 88–89.
13. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект : підручник / В.Л. Бурячок, В.Б. Толубко, В.О. Хорошко, С.В. Толюпа. Київ : ДУТ, 2015. 288 с.
14. Гнусов Ю.В., Кійков В.М. Сучасні тенденції розвитку DDoS-атак. *Актуальні питання діяльності правоохоронних органів у сфері протидії кіберзлочинності* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 12 листоп. 2014 р. / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ. Харків : Права людини, 2014. 200 с.
15. Торяник В.В., Чмирь А.Ю. Актуальність проблеми атаки на відмову в обслуговуванні. *Актуальні питання діяльності правоохоронних органів у сфері протидії кіберзлочинності* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 12 листоп. 2014 р. / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ. Харків : Права людини, 2014. 200 с.
16. Світличний В.А., Петров К.Е. Від ідентифікації комп'ютера до ідентифікації користувача у мережі Інтернет. *Актуальні питання діяльності правоохоронних органів у сфері протидії кіберзлочинності* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 12 листоп. 2014 р. / МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ. Харків : Права людини, 2014. 200 с.
17. Козак Н.С. Криміналістичні прийоми, способи і засоби виявлення, розкриття та розслідування комп'ютерних злочинів : дис. ... канд. юрид. наук : 12.00.09. Ірпінь, 2011. 229 с.

### **Baranenko R.V. CYBER ATTACKS AS A FORM OF CYBER TERRORISM**

*The article focuses on the issues of countering cyber attacks as acts of cyber terrorism in the context of ensuring the national and international cyber security system. The emphasis is made that the penetration into the information sphere and its use by criminal, including terrorist elements, has given rise to phenomena called cybercrime and cyber terrorism.*

*It is noted that a cyber terrorist can pose a danger to a significantly larger number of people, not directly participating in a terrorist act, but being in a safe place for himself.*

*The paper provides definitions of measures to ensure the cyber security of the state in cyberspace, analysis of the content of cyber terrorism, its components and methods of implementing acts of cyber terrorism.*

*A list of goals for the realization of which terrorist organizations widely use the Internet and the latest information technologies are given.*

*According to their capabilities, acts of cyber terrorism are divided into three levels.*

*Particular emphasis is placed on the fact that one of the most prominent forms of cyber terrorism is the conduct of cyber attacks. The concepts of cyber attacks such as "Kill Chain" and the stages of its implementation are given. Each of the stages is analyzed. Since a special form of cyber attack, which focuses on interrupting a network service, is a DoS attack, the paper considers schemes of such attacks, classification signs of cyber attacks and options for organizing DDoS attacks: botnet, flash mob, and HTTP flood.*

*It was noted that a special problem for cyber security specialists is the identification of the computer of the network user from which the cyber attack was carried out.*

*As a result, a list of factors that are recommended to be taken into account in countering cyber attacks is provided.*

**Key words:** *cyber attack, cyber security, cyberspace, cyber terrorism, countering cyber attacks.*



**Виганяйло С.М.**

Сумська філія

Харківського національного університету внутрішніх справ

**В'юненко О.Б.**

Сумський національний аграрний університет

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У БІЗНЕС-АНАЛІТИЦІ

Статтю присвячено виявленню тенденції розвитку інформаційних технологій у напрямі бізнес-аналітики. Основним завданням бізнес-аналізу є аналіз інформації для ухвалення бізнес-рішень, що реалізується шляхом упровадження різних методів збирання та оброблення інформації, оцінки ризиків, побудови моделей та прогнозів. Базою для бізнес-аналізу може стати впровадження компанії елементів електронної комерції, що можливо завдяки використанню інтернет-технологій у вигляді інтернет-магазинів. Технологія дозволяє накопичувати інформаційну базу клієнтів та здійснювати досконалий бізнес-аналіз та маркетингові дослідження. Мета цього дослідження – проаналізувати взаємозв'язок між інформаційними технологіями та бізнес-аналізом. Розглянуто поняття бізнес-аналітики. Бізнес-аналітику можна розглядати як процес аналізу інформації для ухвалення бізнес-рішень, що включає: методи збирання та оброблення інформації, оцінку ризиків, моделювання та прогнозування. Визначається, з яких етапів складається бізнес-аналіз, які методи аналізу бізнесу використовуються. Проаналізовано основні етапи бізнес-аналізу. Запропоновано класифікацію програмного забезпечення для бізнес-аналізу. Проведено класифікацію інформаційно-аналітичних систем, яка базується на методі функціональних завдань, де програмні продукти кожного класу виконують певний набір функцій або операцій із використанням спеціальних технологій. Вивчено зв'язок між інформаційними технологіями та бізнес-аналізом. Дослідження показало, що основною метою бізнес-аналізу є надання бізнес-консалтингових послуг із використанням сучасних інформаційних технологій. Розглянуті основні напрямки використання ІТ-технологій для сучасних методів бізнес-аналізу. У процесі підвищення ефективності системи управління бізнесом було визначено перспективні напрями розвитку інформаційних технологій.

**Ключові слова:** інформаційні технології, бізнес-аналіз, бізнес, аналіз, інформація.

**Постановка проблеми.** Однією з перспективних сфер застосування інформаційних систем та комп'ютерних технологій на підприємствах є економічний бізнес-аналіз. Обчислювальна техніка істотно підвищує якість оброблення облікової інформації, змінює зміст та організацію праці облікового персоналу (зменшується кількість ручних операцій з оброблення первинних документів, систематизації облікових показників, заповнення регістрів та звітних форм). Удосконалення облікової роботи безпосередньо позитивно впливає на якість та оперативність інформаційної бази економічного аналізу.

Історично склалося так, що бізнес-аналіз був затребуваний і довгий час розвивався у сфері інформаційних технологій. Бізнес-аналіз полягає у виявленні можливостей проведення змін в економічних процесах шляхом виявлення потреб і обґрунтування рішень, що описують можливі

шляхи реалізації таких змін. Основне завдання бізнес-аналізу полягає в аналізі інформації для ухвалення бізнесових рішень, що реалізується шляхом впровадження різних методів збирання та оброблення інформації, здійснення оцінки ризиків, побудови моделей та прогнозів. Для усунення виявлених у процесі бізнес-аналізу проблем може бути реалізовано оптимізацію організаційної структури організації, розроблення нових стратегічних планів організації, розроблення нових або зміну наявних бізнес-процесів або бізнес-правил, які будуть автоматизовані в межах реалізації рішення. А також у класифікації програм, що стосуються бізнес-аналітики, та підборі кожному класу своїх програмних продуктів, що найбільше підходять до діяльності підприємства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження наукових праць таких вітчизняних і зарубіжних науковців, як К. Карлберг, В. Бернгард,

Д. Йетс, Д. Кадл, К. Канке, Р. Іванова, Г. Ліфренко, К. Палеру, Д. Пол, П. Хейлі та інші, показують, що об'єктом дослідження є окремі аспекти структури та технології бізнес-аналізу, але не дають цілісної картини можливого інструментарію для забезпечення основних етапів проведення бізнес-аналізу.

**Постановка завдання.** В умовах переходу класичної економіки в цифрову, основними проявами якої є інформатизація, глобалізація, використання ІТ, проведення аналізу економічних та бізнес-процесів із використанням досягнень сучасних знань дасть змогу як підвищити ефективність господарських процесів, так і вивести економіку на якісно новий науковий рівень. У сучасному світі не можна уявити розвиток економіки підприємств без використання результатів бізнес-аналізу та швидкого впровадження їх у реальні проекти. Використання аналітичних розрахунків стає все більш необхідним.

Метою статті є аналіз сучасних інструментів інформаційних технологій для опрацювання великих масивів вихідної інформації та дослідження зв'язку інформаційних технологій та бізнесового аналізу. Розглядаємо доцільність використання в бізнес-аналізі комп'ютерних методів та інструментів, а також засобів для роботи з масивами обробленої інформації.

Відповідно до мети, конкретизовано такі завдання: проаналізувати основні етапи роботи бізнес-аналітика, виконати класифікацію програмних засобів бізнесового аналізу, розглянути класифікацію інформаційно-аналітичних систем, дослідити зв'язок інформаційних технологій та бізнесового аналізу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Бізнес-аналітика може розглядатися як процес аналізу інформації для ухвалення бізнесових рішень, що включає методи збирання та оброблення інформації, оцінку ризиків, моделювання і прогнозування. У багатьох випадках електронна комерція дозволяє скоротити шлях проходження продукту від виробника до споживача. Це можливо завдяки використанню інтернет-технологій, що надають можливість ефективної прямої взаємодії з кінцевим споживачем, тому компанії можуть виконувати роль, яку традиційно виконували проміжні постачальники. Це також дозволяє накопичувати інформаційну базу клієнтів, що дозволяє виконати досконалий бізнес-аналіз та маркетингові дослідження.

Найбільшою перевагою електронної комерції є суттєве зниження витрат на оформлення угоди та

її подальше обслуговування. Найвідомішим прикладом здійснення електронної комерції є інтернет-магазин – вебресурс із каталогом продукції та можливістю замовлення й оплати товарів. Усе більше компаній у світі впроваджують елементи електронної комерції.

У сучасних складних умовах жорсткої конкуренції для ефективного розподілу ресурсів виросли вимоги і до компетенції підприємців в умовах забезпечення гнучкості та безпомилковості роботи.

Бізнес-аналітика (Business Intelligence) – програмні засоби, що функціонують у межах підприємства і які забезпечують функції доступу та аналізу інформації, яка міститься в сховищі даних, а також забезпечують ухвалення правильних і обґрунтованих управлінських рішень [1, с. 1; 2, с. 202–207; 3, с. 10–18].

Основними перевагами бізнес-проектів слід назвати невеликий обсяг інвестицій, що необхідні для реалізації бізнес-проекту. За умови, що вимоги до профільних фахівців зростають, необхідність постійного вдосконалення та поповнення знань у ІТ-сфері для сучасного фахівця є необхідністю. Бізнес-аналітик – це фахівець, який досліджує проблему замовника, аналізує її, пропонує рішення (систему рішень). Головне його завдання – виявити та проаналізувати проблеми бізнесу замовника, а також запропонувати найкращий спосіб її розв'язання, що тісно пов'язано з використанням необхідного програмного забезпечення.

Бізнес-аналіз складається з таких етапів: виявлення потреби замовника та проблеми, яку він хоче вирішити; формулювання концепції рішення; оформлення концепції в технічне завдання з конкретними вимогами до майбутнього продукту. Використовують такі техніки бізнес-аналізу, як побудова моделей процесів і структур, прототипи користувальницького інтерфейсу, сценарії використання, оцінювання трудовитрат і тривалості робіт; деталізація на кожну вимогу у вигляді специфікацій; консультування програмістів і тестувальників під час розроблення продукту, обговорення із замовником спірних моментів [4, с. 1; 6, с. 177–182; 7, с. 52–59].

Серед вимог до роботи бізнес-аналітика слід назвати такі: знання методології збирання, аналізу та формалізації; знання предметної сфери; життєвий цикл програмного забезпечення; вміння програмувати, тестувати; знання економіки тощо. До обов'язків бізнес-аналітика належать такі дії: виявлення бізнес-цілей замовника, продумування концепцій рішення, аналіз бізнес-потреб замов-

ника, складання та формалізація вимог до майбутнього продукту.

Окремо зупинимось на класифікації програмних продуктів для бізнес-аналізу, яка базується на методі функціональних завдань, де програмні продукти кожного класу виконують певний набір функцій або операцій із використанням спеціальних технологій. Компанія “Gartner” виділяє набір програмних продуктів бізнес-аналітики (BI) таких класів, як засоби побудови сховищ даних (data warehousing), системи оперативної аналітичного оброблення (OLAP), інформаційно-аналітичні системи (Enterprise Information Systems, EIS), засоби інтелектуального аналізу даних (data mining), інструменти для виконання запитів і побудови звітів (query and reporting tools). Незалежна аналітична компанія “Forrester” дає такі визначення програмному засобу типу Business Intelligence: по-перше, в широкому сенсі під цим терміном розуміють набір методологій, процесів, архітектури та технологій, що перетворюють вихідні дані в корисну і змістовну інформацію, яка використовується для ухвалення рішень, ефективних щодо стратегії, тактики і функціонування компанії (традиційне визначення терміна “Business Intelligence”); по-друге, сьогодні використовується також додаткове (вужке) визначення терміна “Business Intelligence”, яке передбачає врахування двох сегментів BI (підготовку даних (data preparation) та використання даних (data usage)).

Аналітична компанія “IDC” програмні засоби типу BI ділить на такі дві категорії: засоби кінцевого користувача для звітності, запитів й аналізу (QRA); розширена аналітика (AAS). До першої категорії входять засоби формування і виконання запитів користувача і звітності, а також виконання простого аналізу. Інструменти багатомірного аналізу включають як OLAP-сервери, так і клієнтські аналітичні інструменти, що забезпечують середовище управління даними для моделювання бізнесових проблем та аналізу бізнес-даних. Розширена аналітика включає засоби вилучення даних (data mining) і статистичне програмне забезпечення (statistical software). Інструментальні засоби використовують такі технології, як нейронні мережі, вивід правил методом індукції, кластеризація, виявлення зв'язків у даних, прогнозування схованих тенденцій [2, с. 10–18; 3, с. 1]. У бізнес-аналітиці обов'язково повинні бути реалізовані такі основні категорії функцій: можливість інтеграції, представлення інформації, аналіз даних, моделювання, прогнозування та дослідження даних та карти показників.

Останні розроблення програмних продуктів для бізнес-аналізу:

- Qlik Sense. Платформа візуальної аналітики, що підтримує самостійну візуалізацію і дослідження даних. Дозволяє швидко створювати поєднання візуальних уявлень, глибоко досліджувати дані, миттєво виявляти взаємозв'язки і розглядати можливості з будь-якої точки зору;

- QlikView – одне з найцікавіших рішень для бізнес-аналітики (BI) у світі. Партнер QlikView компанія RBCGroup розробила BI-модуль для терасофтовської онлайн-системи. Додаток дозволяє проводити всебічний аналіз різних стадій процесу продажу й оцінювати ефективність взаємодії з кожним клієнтом. Рішення включає інструменти для аналізу клієнтської бази, дані потенційних угод, прийнятих замовлень, їх оплати та виконання, включаючи структурний аналіз даних довільного періоду, динаміки і сезонності зміни показників із плином часу, а також асортиментний, рейтинговий ABC-XYZ і Парето-аналіз у всіляких аналітичних розрізах. Програма дає чітке бачення ефективності роботи, забезпечуючи гнучкість і високу швидкість реакції на зміни, тим самим підвищуючи загальну прозорість управління бізнесом. Нова технологія дозволяє за дуже короткий термін будувати навіть найскладніші моделі для аналізу, без особливих зусиль формувати за ними звітність і підтримувати їх в актуальному стані;

- Naumen Service Desk дозволяє значно підвищити керованість співробітниками IT-департаменту, а також вести прозорий облік трудовитрат на всіх рівнях. Модулі універсального планування надають механізми наскрізного обліку всіх активностей і активів у межах операційної, проектної діяльності та діяльності, пов'язаної з виконанням регламентних робіт. Це, окрім іншого, дозволяє планувати штат IT-департаменту і забезпечувати безперервність бізнесу. Розвинені засоби звітності та візуалізації даних, включаючи панелі керівника (dashboards), дозволяють ухвалювати управлінські рішення;

- Microsoft Power BI. Інструмент бізнес-аналітики в складі Office 365. Перетворює дані організації в привабливі візуальні уявлення з широкими можливостями зі збирання та впорядкування, дозволяючи сконцентруватися на найважливіших завданнях;

- Roistat. Система наскрізної бізнес-аналітики. Збирає дані із CRM системи, рекламних майданчиків і головного сайту. Із цих даних він формує звіти за ключовими бізнес-показниками;

- GetReport. Сервіс для збирання корпоративної звітності. Збирання даних через вебформи.

Моніторинг збирання даних у реальному часі. Конструктор звітів і діаграм (BI);

– ПланФакт. Хмарний сервіс для контролю грошей у компанії зі зручним інтерфейсом. Допомогає планувати доходи і витрати, попереджає про касові розриви. Інтеграція з банками. Імпорт/експорт Excel;

– Seeneco. Хмарний сервіс для управління фінансами бізнесу, що включає управлінський облік, фінансову аналітику і планування грошових коштів;

– Онлайн-сервіс для фінансового аналізу. Формує аналітичні звіти за даними завантажених податкових звітів. Шаблони звітів і формули можна налаштувати. Підтримує SSL протокол;

– Yandex DataLens. Хмарний сервіс для візуалізації та аналізу даних. Із можливістю налаштування аналітичного дашборду з діаграмами, таблицями та іншими варіантами візуалізації над різними джерелами;

– Business Scanner. Сервісові аналітики для бізнесу. Допомогає керівникам ухвалювати управлінські рішення, оцінювати ефективність співробітників, виявляти ризики на основі даних, а не інтуїції. Моментальне створення звітів (продаж, фінанси, маркетинг, логістика, виробництво, персонал та ін.);

– Watson Analytics. Сервіс бізнес-аналітики на базі суперкомп'ютера IBM Watson із голосовим інтерфейсом;

– Tibco Spotfire. Аналітична платформа з потужними інструментами аналізу і візуалізації. Повністю налаштовується для бізнес-процесів конкретної організації. Доступні методи аналізу, засновані на електронних таблицях;

– SAP BusinessObjects. Гнучка, масштабована система бізнес-аналітики (BI), яка дозволяє знаходити дані й обмінюватися ними для ефективного ухвалення рішень. Продукт пропонує широкий набір інструментів на єдиній платформі і дозволяє IT-відділам упроваджувати BI у будь-який додаток;

– фіноко. Онлайн-сервіс для створення управлінської звітності та фінансового аналізу, готові галузеві моделі значно скоротять час і складність запуску;

– IBM Cognos Business Intelligence. BI-рішення, що забезпечує повний спектр можливостей BI в одному продукті з використанням єдиної архітектури, дозволяє визначити узагальнену систему поглядів на процес ухвалення рішень для всього підприємства, розкриває взаємозв'язок усієї попередньої діяльності та поточного стану підприємства і дозволяє сформулювати найкраще рішення;

– SAP Lumira. Система бізнес-аналітики для малого/середнього бізнесу. Спрощує спільну роботу з візуалізації даних;

– Yellowfin. BI-платформа, яка забезпечує отримання мобільної аналітики на будь-якому пристрої або платформі без додаткових витрат;

– Oracle Business Intelligence. Інтегрований комплекс аналітичних інструментів, розроблений із метою забезпечення розуміння бізнесу широким колом користувачів і дозволяє отримати швидкий Web-доступ до актуальної інформації;

– Визари. Web-орієнтована аналітична інформаційна система, призначена для реалізації організаційної стратегії підприємства з інтеграції виробництва й операцій, управління трудовими ресурсами, фінансовим менеджментом і управління активами;

– SQL Server Business Intelligence є повноцінною платформою, яка дозволяє створювати і розгортати безпечні, масштабовані і керовані рішення для бізнес-аналітики.

Інструментальне програмне забезпечення для створення інформаційно-аналітичних систем можна класифікувати за низкою таких ознак: за функціональністю (повнофункціональні, часткові), за формою подання оброблюваних даних (для роботи зі структурованими даними (цифрові дані), для роботи з неструктурованими даними (текстові, відео, графіка), комбіновані), за ступенем автоматизації логічних операцій (комплекси пошуку і збирання даних, аналітичні комплекси, пошуково-аналітичні комплекси).

Інформаційно-аналітичні системи поділяють за типом завдань, які вони виконують, на такі, як аналіз фінансового стану підприємства; розроблення й аналіз інвестиційних проєктів, формування техніко-економічних обґрунтувань; підготовка бізнес-планів; планування та ухвалення інвестиційних рішень; управління проєктами; оцінка фінансової ефективності [2, с. 10–18; 3, с. 1; 5, с. 77–83, 8, с. 118–125]. Розглядати проблематику бізнес-аналізу не можна без розуміння поняття бізнесу і розуміння інформаційних технологій. Отже, головною метою бізнес-аналізу є надання консультативних послуг бізнесу для подальшого його розвитку внаслідок проведеного аналізу, що не є можливим без використання сучасних інформаційних технологій.

**Висновки.** Розглянуто основні напрями використання IT для сучасних методів бізнес-аналізу, вирішення яких дозволяє визначити перспективні напрями в галузі застосування інформаційних технологій у процесі забезпечення підвищення ефективності функціонування системи управління бізнесом.

Список літератури:

1. Бариленко В.И. Бизнес-анализ как важный вид консалтинговых услуг. *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*. № 4. 2012. С. 202–207.
2. Конрад Карлберг. Бизнес-анализ с использованием Excel. Решение бизнес-задач, 4-е издание = Business Analysis: Microsoft Excel. Москва : «Вильямс», 2013. – 576 с.
3. Бізнесова аналітика. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B0\\_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D1%96%D0%B7%D0%BD%D0%B5%D1%81%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0)
4. Бізнес-аналітик. URL: <https://brainbasket.org/who-are-it-specialists-2/business-analyst/>
5. Толбатов А.В., Виганяйло С.М., В'юненко О.Б. Аналіз інформаційної та нормативної бази планової діяльності аграрних підприємств. *Инновационная наука, образование, производство и транспорт: Менеджмент*. Одеса : КУПРИЕНКО С.В., 2018. С. 77–83. SUA11-007
6. В'юненко О.Б., Толбатов А.В., Толбатов В.А., Агаджанова С.В., Агаджанов-Гонсалес К.Х., Виганяйло С.М. Задачі вдосконалення моніторингу сільськогосподарських земель. *Научное окружение современного человека: Техника, информатика, архитектура, медицина, сельское хозяйство*. Одеса : КУПРИЕНКО С.В., 2019. С. 177–182. SUA 12-015. DOI: 10.30888/2663-5569.2019-02-01
7. Виганяйло С.М., Толбатов А.В., В'юненко О.Б. Інноваційні підходи до планування економічної діяльності в менеджменті аграрних підприємств. *Научное окружение современного человека: экономика, менеджмент, образование, психология, юриспруденция, политология*. Одеса : КУПРИЕНКО С.В., 2019. С. 52–59. SUA 12-017 DOI: 10.30888/2663-5569.2019-02-01
8. В'юненко О.Б., Толбатов А.В., Толбатов В.А., Толбатов С.В. Агаджанова С.В., Агаджанов-Гонсалес К.Х., Виганяйло С.М. Интеллектуальные решения для систем мониторинга сельского хозяйства. *Инновационная наука, образование, производство и транспорт: Техника и технологии, информатика, транспорт, архитектура*. Одесса : КУПРИЕНКО С.В., 2019. С. 118–125. DOI: 10.30888/978-617-7414-53-6.0-005

**Vyhaniailo S.M., Viunenko O.B. TENDENCY OF DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY IN BIZNES ANALYTIC**

*The article is devoted to identifying trends in the development of information technology in the direction of business intelligence. The main task of business analysis is the analysis of information for business decisions, which is implemented through the introduction of various methods of collecting and processing information, risk assessment, modeling and forecasting. The basis for business analysis can be the introduction of e-commerce elements by the company, which is possible through the use of Internet technologies in the form of online stores. The technology allows to accumulate information base of clients and to carry out perfect business analysis and marketing researches. The purpose of this study is to analyze the relationship between information technology and business analysis. The concept of business analytics is considered. Business intelligence can be seen as a process of analyzing information for business decisions, which includes: methods of collecting and processing information, risk assessment, modeling and forecasting. It determines which stages of business analysis, which methods of business analysis are used. The main stages of business analysis are analyzed. The classification of software for business analysis is offered. The classification of information-analytical systems is based on the method of functional tasks, where software products of each class perform a certain set of functions or operations using special technologies. The connection between information technology and business analysis has been studied. The study showed that the main purpose of business analysis is to provide business consulting services using modern information technology. The main directions of using IT technologies for modern methods of business analysis are considered. In the process of improving the efficiency of the business management system, promising areas of information technology development were identified.*

**Key words:** information technology, business analysis, business, analysis, information.

**Войтко В.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Бевз С.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Бурбело С.М.**

Вінницький національний технічний університет

**Ставицький П.В.**

Вінницький національний технічний університет

## АНАЛІЗ ЗАСОБІВ ДЛЯ ПРОГРАМНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ СИНТЕЗУ ТА АНАЛІЗУ МУЗИЧНИХ ЗВУКІВ

У статті розглянуто засоби та підходи до програмної реалізації системи синтезу та аналізу музичних композицій. Це дослідження фокусується на одному з компонентів розроблюваної системи, що відповідає за розпізнавання музичних даних. Для досягнення поставленої цілі цей компонент виконує низку послідовних кроків, що дозволяють виконувати аналіз вхідних аудіоданих, а також створювати базу даних, що використовуватиметься для порівняння та знаходження збігів. Першочерговим завданням компонента розпізнавання музичних композицій є перетворення початкових даних із бінарного формату, що представлений у вигляді масиву байтів, у вигляд, придатний для аналізу. Цей процес називається дискретизацією і дозволяє подати аудіодані у вигляді частотного подання звуку в часі. Додатковим виміром у такому разі є амплітуда звукових хвиль. Наведені три величини можна візуалізувати графічно у вигляді спектрограми, де вісь ОУ відповідає за частоту звуку за період часу, що представлено на осі ОХ. Третій вимір є найважливішим у процесі аудіоаналізу, оскільки дозволяє визначити фрагменти звукового спектра, що є стійкими до сторонніх шумів та забезпечують оптимізацію процесу пошуку збігів. Амплітуда звукових хвиль зображується у вигляді кольору на спектрограмі, а найяскравіші точки є локальними амплітудними максимумами або екстремумами, які використовуються в процесі розпізнавання музичних композицій. У статті детальніше розглядається підхід до створення відбитків музичних композицій, на основі яких відбувається пошук збігів. Крім того, описується роль алгоритмів стиснення та хешування в цьому процесі та обґрунтовується вибір алгоритму стиснення з втратами для досягнення заданої мети. Одним із підходів до оптимізації процесу хешування є використання алгоритму хешування з урахуванням розташування в межах спектрограми. Таким чином, доводиться зменшити кількість точок для порівняння і пришвидшити пошук збігів. Крім того, розглядається коефіцієнт Жаккара, який дозволяє визначати розмір дистанцій між точками під час їх розподілу на групи за допомогою алгоритму, описаного вище. Розглянуто подальші кроки та області для аналізу, що є необхідними в процесі програмної реалізації системи синтезу та розпізнавання музичних композицій. Серед таких компонентів є аналіз додаткових характеристик вхідних аудіоданих, таких як жанр, автор тощо. Крім того, визначено місце розглянутих компонентів у загальній розроблюваній системі синтезу та аналізу музичних звуків.

**Ключові слова:** аудіоаналіз, розпізнавання музики, аудіовідбиток, спектрограма, стиснення даних, хешування.

**Постановка проблеми.** Технології аналізу аудіоданих набувають поширення. Важливим є аналіз технологічного підходу та методу програмної реалізації системи синтезу та розпізнавання музичних композицій. Саме тому метою розробки є вдосконалення алгоритмів програмної реалізації компонентів системи ідентифікації аудіоконтенту для коректного аналізу та синтезу музичних зву-

ків. Об'єктом дослідження є процеси ідентифікації звукових даних, алгоритми та імплементаційні підходи, що є структурними компонентами комбінованого методу синтезу та аналізу музичних звуків. Предметом дослідження є функціональні можливості та компоненти системи аналізу аудіоданих.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час розроблення рішень з аналізу та розпізна-

вання звукового контенту слід розглянути дослідження інженерів, що стоять за розробленням сервісу Shazam. Цей продукт є одним із найперших на ринку розпізнавання музичних композицій та надає базис для подальших досліджень [1].

Крім того, у процесі роботи було розглянуто підходи до створення відбитків музичних композицій. Було проаналізовано дослідження процесу хешування аудіоданих, проте особливістю тут є фокус на ідентифікацію початково закодованих таких даних в аудіофайл, як водяні знаки та ідентифікатори для верифікації контенту [2].

У роботі [3] описано складники системи синтезу та аналізу музичних композицій, подальший її розвиток і дослідження. Крім того, важливо розуміти загальне місце досліджуваних компонентів та підходів серед загального набору компонентів і складників системи. Більше інформації про це наведено в окремому дослідженні [4].

Крім того, для розгляду подальших кроків дослідження було розглянуто опис процесу ідентифікації автора музичної композиції за допомогою використання згорткових нейронних мереж [5].

**Постановка завдання.** Основним завданням є розгляд, розроблення та вдосконалення алгоритмів аналізу музичних композицій та їх застосування в комбінованому методі синтезу та аналізу музичних звуків, що є основою розробленої програмної системи. Так, приділяється увага підходам реалізації компонента розпізнавання та ефективного створення відбитків аудіоданих, що в подальшому використовується для оптимізації процесу пошуку збігів, а також є основою для подальшої розроблення компонента синтезу аудіозвуків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним із найважливіших складників процесу розпізнавання музичних композицій є створення відбитків.

Процес створення відбитків складається зі стиснення і хешування.

Головною ціллю стиснення є зменшення розміру, який займають вхідні дані. Таким способом удається досягти економії використовуваної пам'яті для зберігання даних, а також підвищення швидкості пошуку самих даних.

Ураховуючи те, що під час розпізнавання аудіокомпозицій важливим є саме швидкий інформаційний пошук, використання алгоритмів стиснення даних може допомогти значній їх оптимізації. Під час програмної реалізації системи можна розглянути два основні чинники, які

впливають на швидкість пошуку одиниці даних, що зображені у формулі 1 [5]:

$$\text{ШвидкістьПошуку(ОД)} \approx \text{Розмір(ОД)} + \text{Тип(ОД)}, \quad (1)$$

де ОД – окремо взята одиниця даних, із яких складається загальний обсяг даних;

ШвидкістьПошуку(ОД) – швидкість пошуку одиниці даних серед загального набору даних;

Розмір(ОД) – кількість одиниць даних;

Тип(ОД) – тип даних, який визначає кількість байтів, що займає одиниця даних.

Є два типи алгоритмів стиснення: стиснення без втрат та стиснення з утратами.

Перевагою алгоритмів першого типу є те, що, маючи кінцеве оптимізоване значення, завжди є можливість відновити початкові дані без втрат. Проте алгоритми другого типу дозволяють досягти більш ефективної оптимізації, хоча й не дозволяють повною мірою відновлювати вхідні дані.

Для створення відбитків музичних композицій найбільш удалим буде використання алгоритмів стиснення з утратами. Такий підхід дозволяє досягти максимально можливих показників оптимізації вхідних даних. Крім того, враховуючи те, що відбитки створюються лише для локальних амплітудних максимумів [3, с. 2], у відтворенні музичних композицій на базі відбитків немає необхідності. Єдиною вимогою до відбитків є те, що певне значення відбитка має завжди відповідати певному або схожому фрагменту музичної композиції.

Хешування даних дозволяє досягти подальшої оптимізації їх розміру шляхом перетворення в єдине значення фіксованої довжини та розміру.

Таким чином, після стискання та хешування окремий відбиток музичної композиції матиме вигляд одного значення, що можна присвоїти одній змінній. У результаті такого процесу вхідна частотна характеристика аудіосигналу [3, с. 2] буде перетворюватися в масив відбитків, кожен із яких можна подати у вигляді цілого числа або рядка.

Під час створення відбитків для локальних амплітудних екстремумів музичних композицій необхідно враховувати такі характеристики музичних композицій:

- кількість аудіоканалів (моно, стерео);
- рівень дискретизації;
- бітову глибину.

Під час створення відбитків аудіокомпозицій не потрібно обробляти весь набір аудіоданих. Натомість обирається короткий набір локальних

амплітудних максимумів. Такий підхід дозволяє під час оброблення вхідних аудіоданих значно знизити якість аудіофайла зі збереженням усіх характеристик, необхідних для розпізнавання. Досягти цього можна шляхом виконання такої послідовності кроків:

- перетворення стереофайла в моно;
- зниження рівня дискретизації;
- зменшення бітової глибини.

Цей підхід дозволяє значно зменшити розмір вхідних аудіоданих, водночас підвищуючи швидкість розпізнавання.

Для реалізації функціоналу розпізнавання музичних композицій необхідно створити першочергову базу даних відбитків. Таким чином, під час розпізнавання музичної композиції, вона буде проаналізована, а на її основі буде створено набір відбитків.

Потім необхідно виконати пошук серед хеш-значень у базі даних для знаходження збігів. Якщо для цього завдання використовувати лінійний пошук, то швидкість пошуку не буде оптимальною, якщо база даних містить багато значень. Задля вирішення цієї проблеми необхідно виконати оптимізацію на стадії хешування.

Одним із підходів, що дозволяє пришвидшити пошуково-ідентифікаційний процес, є хешування з урахуванням розташування даних. Основною особливістю такого підходу є те, що локальні екстремуми на спектрограмі, що розташовані близько один від одного, належать до одного набору. Як наслідок, декілька хеш-значень, що мають схоже розташування, оптимізуються в одне значення, що описує конкретний набір. Важливим параметром у такому алгоритмі є значення відстані, що дозволяє визначити коефіцієнт схожості локальних максимумів на спектрограмі. Це дозволяє віднести таку точку до того чи іншого набору даних.

Для визначення показника відстані та розбиття початкового набору амплітудних максимумів пропонуємо застосувати коефіцієнт Жаккара.

Використовуючи коефіцієнт Жаккара, можна визначити, наскільки два набори даних схожі між собою. Цей показник вираховується за допомогою формули 2 на множині точок екстремумів [6]:

$$J(A,B) = |A \cap B| / |A \cup B| \quad (2)$$

Для перетворення цього значення в коефіцієнт відстані між наборами амплітудних максимумів необхідно використовувати формулу 3 [6]:

$$d_j = 1 - J(A, B) \quad (3)$$

Використання цього коефіцієнта відстані дозволяє скоротити набір точок на спектрограмі,

який потрібно обробити, що забезпечує оптимізацію процесу пошуку збігів.

Схематично розподіл амплітудних екстремумів на спектрограмі можна зобразити на прикладі рис. 1. Тут сірими точками позначено амплітудні екстремуми на спектрограмі, а чорним – умовний розподіл таких точок, що розташовані близько одна до одної, на відповідні групи. Далі в процесі аналізу подібними екстремумами можна знехтувати, натомість використовуючи позначення груп обраних точок.



Рис. 1. Схематичний розподіл амплітудних екстремумів спектрограми на групи

Таким чином, із використанням підходу групування екстремумів процес створення бази відбитків зводимо до виконання алгоритму послідовностей етапів аналізу аудіоконтенту (рис. 2).



Рис. 2. Процес створення відбитків вхідних аудіокомпозицій

Крім того, є можливість виконання додаткової класифікації за такими параметрами, як жанр, автор тощо. Для виконання класифікаційної ідентифікації зручно використовувати згорткові нейронні мережі в процесі аналізу особливостей музичних композицій.

Додатковий аналіз та групування музичних композицій за певними характеристиками дозволять досягти розподіленого зберігання і використання фрагментації під час роботи з базою даних. Такий підхід дозволяє пришвидшити процес пошуку даних шляхом одночасного пара-



лельного пошуку в декількох фрагментах даних одночасно.

Під час пошуку збігів алгоритм створення відбитків для вхідного аудіопотоку є схожим. Додатково може бути виконана оптимізація на стадії виконання запиту та пошуку в базі даних.

Серед можливих оптимізацій виділимо розбиття бази даних на логічні такі структурні компоненти за обраними характеристиками вхідних даних, як жанр, автор тощо. Цей підхід називається шардуванням даних. Він дозволяє виконувати паралельний запит до бази даних, що підвищує загальну швидкодію системи ідентифікації аудіоконтенту.

Іншим підходом для оптимізації розпізнавання звукового контенту може бути підвищення рівня паралелізму під час пошуку збігів за рахунок використання ресурсів графічного процесора. У такому разі можна розподілити процес пошуку композицій на тисячі потоків, на відміну від використання центрального процесора. Використання графічного процесора дозволяє досягти оптимізації пошукового процесу за рахунок виконання простих паралельних операцій, що підвищує швидкість й ефективність процесу пошуку збігів музичних композицій.

Наведені підходи та алгоритми є базисом для програмної реалізації системи синтезу та розпізнавання музичних композицій. Поєднання функціоналу розглянутих методів дозволяє сфор-

мувати комбінований метод синтезу та аналізу музичних звуків, спрямований на оптимізацію пошукових процесів ідентифікації аудіоконтенту. Запропонований метод передбачає поєднання технологій розпізнавання вхідних аудіоданих, що в подальшому може бути використане для створення власних музичних композицій зі зручним та полегшеним користувацьким досвідом.

**Висновки.** Розглянуті підходи до реалізації складників системи ідентифікації музичних композицій формують комбінований метод синтезу та аналізу музичних звуків. Подальшого розвитку та розгляду набув компонент аудіорозпізнавання, що базується на створенні відбитків музичних композицій. Результати цього дослідження сприяють оптимізації програмного компонента аудіоаналізу.

Важливим є розгляд та розвиток компонента, що відповідає за класифікацію музичних композицій за жанром, автором чи іншими ідентифікаційними характеристиками. Такий аналіз є можливим за допомогою використання згорткових нейронних мереж. Розроблення класифікаційного компонента в середовищі загальної системи аналізу та синтезу звукових даних сприяє оптимізації пошуково-ідентифікаційних процесів.

Розглянуті компоненти, алгоритми та підходи до їх програмної реалізації є основними структурними блоками системи синтезу та розпізнавання музичних композицій.

### Список літератури:

1. Avery Wang. An Industrial Strength Audio Search Algorithm. 2003. URL: <https://www.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/Wang03-shazam.pdf>.
2. Özer, Hamza & Sankur, Bulent & Memon, Nasir & Anarim, Emin. (2005). Perceptual Audio Hashing Functions. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*. 2005. 10.1155/ASP.2005.1780.
3. Viktoriia V. Voitko, Svitlana V. Bevez, Sergii M. Burbelo, Pavlo V. Stavytskyi, Bogdan Pinaiev, Zbigniew Omiotek, Doszhon Baitussupov, and Aigul Bazarbayeva “Automated system of audio components analysis and synthesis”, Proc. SPIE 11045, Optical Fibers and Their Applications 2018, 110450V (15 March 2019); <https://doi.org/10.1117/12.2522313>
4. Войтко В.В., Бевз С.В., Бурбело С.М., Ставицький П.В. Моделі системи аналізу та розпізнавання музичних композицій. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. Міжнародний науково-технічний журнал*. Вінниця : ВНТУ, 2020, № 1. С. 32–38.
5. Zain Nasrullah and Yue Zhao. Music Artist Classification with Convolutional Recurrent Neural Networks. 2019. URL: <https://arxiv.org/pdf/1901.04555.pdf>.
6. Sergiu Ciumac. How does Audio Fingerprinting work. An intuitive explanation. 2020. URL: <https://emysound.com/blog/open-source/2020/06/12/how-audio-fingerprinting-works.html#>

### **Voitko V.V., Bevez S.V., Burbelo S.M., Stavytskyi P.V. ANALYSIS OF TOOLS FOR SOFTWARE IMPLEMENTATION OF SYNTHESIS SYSTEM AND ANALYSIS OF MUSICAL SOUNDS**

*There are considered ways and approaches to the implementation of the music synthesis and analysis synthesis. This particular paper focuses on one of the components of the developed system which is responsible for music data recognition. In order to achieve this goal the given component performs the number of consecutive steps that allow it to analyse the input audio data and generate the database for further music match searches. First task that this component performs is transforming the initial audio data that is represented as a byte array to the format that is suitable for analysis. This process is called sampling and allows to represent the*

*input audio stream as a relation between sound frequency and time. An additional value that is also included to the analysis is a sound wave amplitude. All these values can be graphically represented as a spectrogram that shows the sound frequency as OY axis in time which is represented as OX. The third value is the most important in the analysis process as it allows to determine those fragments of spectrogram that are noise-resistant and help to optimize the matching step. The sound amplitude is represented with color on the spectrogram and the most saturated points are local maximums that are being used while creating audio footprints. This article focuses mostly on the footprint creation process as it requires to implement the number of optimization in order to increase the recognition speed. There are described compression algorithms and specifically compression algorithms with losses that are more suitable for the music analysis. Moreover, it is important to consider hashing techniques that might help to improve algorithms performance. One of the hashing optimization approaches is a locality sensitive hashing algorithm which allows to partition the initial set of local amplitude maximums into smaller sets by reducing similar fingerprints to a single one that represents them. Moreover, it is important to consider a Jaccard Coefficient that helps to determine size of such sets by specifying constraints to distances between data points on spectrogram. This article also mentions the following steps and areas that must be considered in order to create an implementation of a music synthesis and recognition system. As an example, it is possible to implement a detailed analysis of input audio data and determine music genre, author etc. This will help to improve data persistence and match finding. In addition, the place of the considered components in the general developed system of synthesis and analysis of musical sounds is considered.*

**Key words:** audio analysis, music recognition, audio footprint, spectrogram, compression, hashing.

**Зіноватна С.Л.**

Одеський національний політехнічний університет

**Комлева О.О.**

Одеський національний політехнічний університет

**Улізко Г.В.**

Одеський національний політехнічний університет

**Писаренко К.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## УПРАВЛІННЯ ВИМОГАМИ ДО ТЕКСТОВОГО РЕДАКТОРА З МОЖЛИВІСТЮ ДОДАВАННЯ АУДІОНОТАТОК

*Управління вимогами до програмного забезпечення передбачає формалізацію функціональних та нефункціональних вимог до розроблюваного програмного продукту, їх документування, визначення зацікавлених у процесі розроблення осіб та багато інших питань. Загалом, є багато факторів, які впливають на процес управління вимогами під час розроблення програмного забезпечення: географічна розподіленість команд розробників, складність розроблення, невизначеність у вимогах, неякісні вхідні дані та ін. Цю статтю присвячено формалізації функціональних та нефункціональних вимог до текстового редактора з можливістю спільної онлайн-роботи сукупності користувачів та використання аудіонотаток. У межах аналізу актуальності обраної теми вивчено наявні програмні аналоги: Google Docs, OneNote та Simplenote. Як показав аналіз, незважаючи на наявність якісних аналогів, розроблення текстового редактора з можливістю додавання аудіонотаток є актуальним завданням, тому потрібно зосередитись на структурі відповідних вимог. Основними функціями онлайн-редактора є такі: робота з текстовим файлом із можливістю створення та використання аудіо- та текстових нотаток до певних фрагментів тексту, пошук коментарів за ключовими словами, редагування тексту документа, підсумкове оцінювання якості контенту документа та ін. Основними нефункціональними характеристиками розроблюваного продукту є такі: надійність, що забезпечується певними характеристиками відмовостійкості та відновлюваності, юзабіліті, що включає зрозумілість користування продуктом та привабливість інтерфейсу, та переносимість, тому що продукт є вебзастосуванням та повинен бути адаптованим до різних пристроїв та платформ. У роботі виконано трирівневу декомпозицію робіт для проведення планування розроблення відповідного продукту. Основними елементами декомпозиції є організаційні роботи, що містять планування розроблення та організацію супроводження продукту, розроблення власного програмного продукту та маркетингові дії щодо просування продукту на ринку, зокрема використання механізмів реклами, аналіз ринку та управління продуктом.*

**Ключові слова:** онлайн-редактор, аудіонотатки, управління вимогами, функціональні вимоги, нефункціональні вимоги, структура декомпозиції робіт, проектний менеджмент.

**Постановка проблеми.** Управління вимогами до програмного забезпечення – складний процес, який потребує вирішення сукупності проблем. Насамперед це ідентифікація та документування вимог, потім – узгодження їх пріоритетів. Аналіз здійсненності як етап процесу розроблення дозволяє оцінити вартість вимог та їх відповідність до наявних умов розроблення. За заздалегідь визначених умов розроблення програмного продукту дуже важливим є правильне оцінювання наявних ресурсів. Тому необхідно здійснювати

планування процесу розроблення з обов'язковою декомпозицією робіт. У разі виникнення ризиків щодо успішності розроблення необхідно вживати заходів щодо їх урегулювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що є багато факторів, що впливають на процес управління вимогами в завданнях розроблення програмного забезпечення. Питанню особливостей розроблення програмного забезпечення із залученням механізмів аутсорсингу присвячено роботу [1, с. 623]. Автори розглянули виявлені

проблеми інженерії вимог щодо їх відповідності різним типам організації (клієнт і постачальник) та розмірам (малим, середнім та великим) із метою забезпечення чіткого розуміння процесу інженерії вимог та факторів його успіху в контексті різних офшорних організацій з аутсорсингу програмного забезпечення. У роботі [2, с. 1553] показано, що інженерія вимог та управління змінами вимог вважаються дуже складними видами діяльності через вимогливість до численних комунікацій, при цьому більшість факторів успіху пов'язані зі сферою знань про людські ресурси. Питанню необхідності ретельного вибору інформаційно-технічних ресурсів під час розроблення програмного забезпечення присвячено роботу [3, с. 1]. Авторами показано, що під час переходу на використання хмарних сервісів для клієнтів більш складною стає оцінка загроз безпеки їх програмних застосувань. Традиційні методи оцінки ризику не можуть вирішити ці проблеми, оскільки вони не розглядають безпеку хмарних серверів як критичні системні ресурси, які необхідно захищати для запобігання успішної атаки. Авторами запропоновано проведення оцінки ризиків на етапі проектування програми шляхом відпрацювання випадків некоректного використання доступу до хмари.

Про необхідність ретельно оцінювати вірогідність даних, що можуть впливати на процес управління вимогами, вказано у роботах [4, с. 91; 5, с. 109]. Авторами наведено множину кількісних і якісних критеріїв для формалізації джерел інформації. Використання цих критеріїв дозволяє проводити моделювання цільових процесів оброблення даних та отримувати програмний продукт із певними характеристиками. Серед робіт, присвячених удосконаленню процесу розроблення складного програмного забезпечення та підвищення якості вхідних даних, слід виділити праці [6, с. 262; 7, с. 430; 8, с. 376].

Цю роботу присвячено формалізації функціональних та нефункціональних вимог до текстового редактора з можливістю додавання аудіонотаток та плануванню його розроблення згідно з декомпозицією робіт. У межах аналізу актуальності обраної теми вивчено наявні програмні аналоги: Google Docs, OneNote та Simplenote.

Редактор Google Docs дозволяє коментувати текст на полях. Це є корисним, коли над текстом працюють кілька людей. У [9, с. 1; 10, с. 85] показано, що групова робота Google Docs концептуалізується як гібридний простір, який впливає на спільну та кооперативну діяльність. Акцент у роботі зроблено на тому факті, що, оскільки

Google Docs часто асоціюють зі співпрацею, його використання допомагає окремим членам групи встановити мультимодальне керівництво, щоб домінувати в гібридному просторі. У [11, с. 787; 12, с. 227] показано ефективність використання онлайн-редагування за допомогою Google Docs для розвитку навичок академічного письма у курсі IELTS. Однак можливість додавати аудіонотатки тут відсутня.

OneNote – зручне і просте у використанні застосування з пакета MS Office, позиціонується як заміна звичайного блокнота. Працює на операційних системах Windows, Mac, iOS і Android. Робочий простір – порожній лист, у будь-якому місці якого можна вводити текст, робити рукописні замітки і рисунки, а також записувати голосові коментарі [13, с. 467]. Недолік – застосування платне. Результати ставлять під сумнів припущення, що студенти можуть придбати найбільш відповідні технологічні інструменти для взаємодії з OneNote через досить високу вартість застосування [14, с. 9838].

Simplenote – безкоштовний і досить простий текстовий редактор, назва якого говорить сама за себе. Швидко синхронізує замітки на всіх пристроях, підтримує спільну роботу над ними. Дозволяє створювати і зберігати необмежену кількість заміток, але тільки текстових, без вставок зображень і мультимедійних файлів [15, с. 83].

Таким чином, як показав аналіз, незважаючи на наявність якісних аналогів, розроблення текстового редактора з можливістю додавання аудіонотаток є актуальним завданням, тому потрібно зосередитись на структурі відповідних вимог.

**Постановка завдання.** Метою роботи є формалізація вимог до онлайн-редактора з можливістю спільного редагування тексту та додавання аудіонотаток.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Програмна система розроблюється як онлайн-редактор з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом, можливістю спільного редагування та коментування текстових документів. До фрагментів документів можна додавати текстові нотатки або ж аудіонотатки, використання яких дозволяє значно заощадити час. На рисунку 1 показано схему роботи програмного продукту у вигляді варіантів використання.

Типовими прикладами використання редактора є такі:

– спільна робота над текстом копірайтера та редактора (копірайтер створює публікацію, редактор вносить правки та залишає коментарі, за необ-

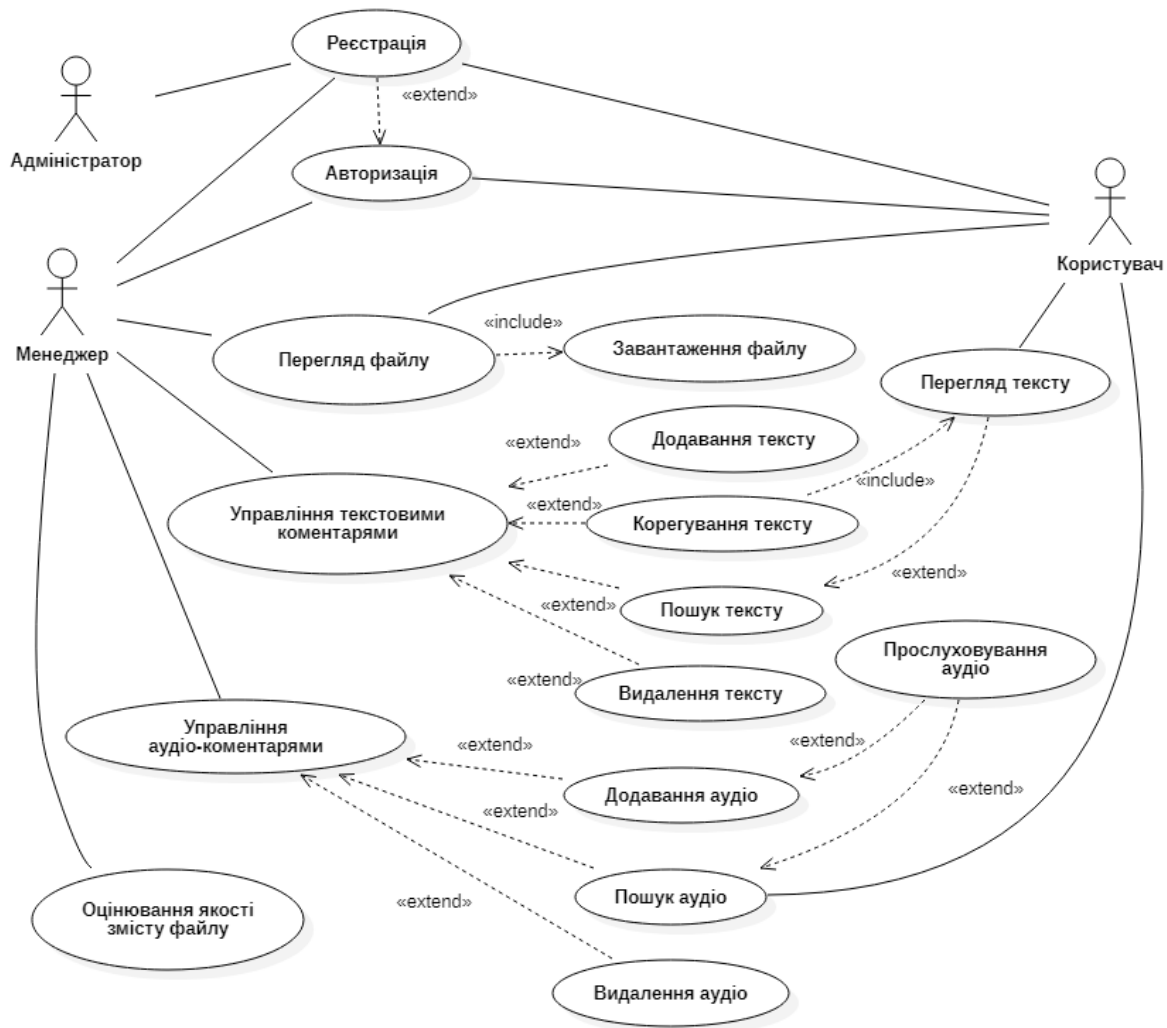


Рис. 1. Схема варіантів використання продукту

хідності до співпраці додається експерт із предметної сфери);

- перевірка вчителем/викладачем електронних письмових робіт учнів/студентів (учень робить письмове завдання, вчитель перевіряє його та коментує певні фрагменти. За необхідності процес стає ітераційним, критеріями завершення ітерацій можуть стати як досягнення певної якості роботи, так і вичерпання допустимого часу);

- допомога у вивченні іноземної мови (носії мови прикріплює приклади правильної вимови до певних слів або текстових фрагментів, користувач прослуховує їх та намагається повторити якомога ближче до оригіналу, за необхідності записує свою вимову).

Як можна побачити, в усіх випадках є головний актор (Менеджер), наділений більш широкими можливостями використання програми: редактор, учитель, носій мови і т.д. Саме він завершує спільне використання документа.

Адміністратор реєструє Менеджера та Користувача за їх електронними адресами. Для подальшої співпраці над документом Менеджер та Користувач повинні авторизуватись. Після завантаження в редактор текстового файлу його можна переглядати та виконувати редагування (за необхідності). Усі зміни в документі автоматично зберігаються. Історія редагувань дозволяє відмінити зроблені зміни. Для додавання коментаря (нотатки) потрібно виділити текстовий фрагмент, до якого потрібно прив'язати коментар, натиснути праву кнопку миші та обрати з контекстного меню «Коментар аудіо» чи «Коментар текст». Після цього потрібно записати голосову нотатку чи у спеціальній формі створити текстовий коментар. Після закінчення формування коментаря фрагмент тексту, до якого він належить, позначається сірим кольором; на рівні першого рядка виділеного фрагмента ставиться позначка «аудіо» чи «текст». Треба зауважити, що до одного і того ж

фрагмента тексту в документі не можна створити декілька коментарів.

За створеними коментарями можна здійснювати пошук. При цьому всі фрагменти тексту, до яких належать знайдені коментарі, та самі коментарі виділяються кольором. Для пошуку текстового коментаря треба ввести ключове слово чи словосполучення. Будуть знайдені всі коментарі, що їх містять. Для пошуку в аудіокоментарях потрібно створити аудіофрагмент із використанням мікрофона. Розпізнавання слів у фрагменті, а також текстових аналогів усіх аудіоноток ведеться з використанням Java Speech API JARVIS. Це API, розроблений із використанням мовних механізмів, створених Google. Крім функцій пошуку, аудіо- та текстові нотатки можна видаляти. Для цього потрібно перейти до відповідного коментаря та здійснити видалення. Також можливим є корегування текстових коментарів.

Після завершення роботи з документом Менеджер здійснює оцінювання якості змісту файлу у зрозумілому для Користувача вигляді. Оцінювання проводиться у вільній формі: це може бути текстовий коментар до всього документа чи голосовий запис. Коментар може містити оцінку за певною шкалою чи повідомлення про прийняття роботи.

Зацікавленими особами (стейкхолдерами) під час розроблення проекту є Користувач, Менеджер, Адміністратор. Формалізація вимог стейкхолдерів передбачає визначення переліку цілей, методів їх досягнення та супутніх ризиків. Перелік основних цілей складають: результат необхідної якості, в термін, в межах бюджету; задоволення клієнта і команди; виконання зобов'язань за проектом із максимальною для виконавця користю; конкурентоспроможний продукт, який приносить певну користь.

Основними методами досягнення визначених цілей є такі: виконання в повному обсязі завдання з дотриманням інтересів замовника і команди проекту; детальне планування й оперативне управління виконанням робіт із дотриманням вимог замовника й інтересів виконавців.

До ризиків розроблення проекту належать такі: низький рівень взаєморозуміння, взаємодії; неналежне виконання зобов'язань керівництва та стейкхолдерів; великий обсяг змін; низька кваліфікація робітників.

Відповідно до міжнародних стандартів, що визначають оціночні характеристики якості програмного забезпечення, виділено такі нефункціональні характеристики: надійність (reliability) – від-

мовостійкість (fault tolerance) та відновлюваність (recoverability) продукту повинні забезпечувати його справну роботу; юзабіліті (usability) – використання продукту повинно бути зрозумілим (intelligibility) із мінімізацією зусиль на навчання для цього (learnability), інтерфейс повинен бути привабливим (attractiveness); переносимість (portability) – продукт є вебзастосуванням та повинен бути адаптованим (adaptability) до різних пристроїв та підтримувати кросплатформність.

Під час планування розроблення проекту використано такі залежності між окремими завданнями: FS (Finish-Start) – виконання поточного завдання починається після завершення попереднього, SS (Start-Start) – виконання поточного завдання відбувається одночасно з попереднім, FF (Finish-Finish) – виконання поточного і попереднього завдань завершується одночасно; SF (Start-Finish) – виконання поточного завдання завершується після початку виконання попереднього завдання.

Ієрархічну структуру робіт наведено на рисунку 2. На першому рівні декомпозиції виокремлено такі елементи, як «організаційні роботи», «розробка продукту» та «маркетинг продукту». Елемент «організаційні роботи» поділяється на «підготовку плану розробки» та «організацію супроводження продукту». Ці дії можуть виконувати окремі члени команди. «Підготовка плану розробки» поділяється на «технічне проектування» та «управління ресурсами проекту», які також можуть виконуватись окремими спеціалістами.

Наступним елементом першого рівня декомпозиції є «розробка продукту». Цей елемент поділяється на «розробку програми», «тестування роботи програми» та «розробку дизайну». Для спрощення схеми WBS подальша декомпозиція «розробки програми» та «тестування роботи програми» не ведеться, тому що під час розроблення та тестування програмного коду кожна його частина може бути пов'язана з різними людьми, а їх кількість заздалегідь не є відомою. «Розробка дизайну» поділяється на «інтеграцію дизайну» та «програмування модулів дизайну». Ці елементи WBS так само виконують окремі члени команди.

Останній елемент першого рівня декомпозиції – «маркетинг продукту», тобто його просування. Він поділяється на «аналіз ринку» (тобто «вивчення попиту» та «аналіз конкурентів»), «управління продуктом» та «рекламу». «Управління продуктом» не є фіксованим та може змі-



Рис. 2. Структурна декомпозиція робіт

новатися, тому його декомпозиція на цьому етапі закінчена. Елемент «реклама» також може бути реалізований по-різному, спосіб реклами не є фіксованим, тому його декомпозиція на цьому також закінчена.

**Висновки.** У роботі проведено формалізацію функціональних та нефункціональних вимог до онлайн-редактора з можливістю додавання аудіо-

онодаток для спрощення спільної роботи над документами. Створено діаграму варіантів використання розроблюваного продукту. Наведено типові приклади використання онлайн-редактора. Розглянуто питання планування розроблення програмного продукту, виконано тривірневу структурну декомпозицію робіт, наведено відповідні описи робіт.

#### Список літератури:

1. Shafiq M., Zhang Q., Akbar M.A., Alsanad A., Mahmood S. Factors influencing the requirements engineering process in offshore software development outsourcing environments. *IET Software*. 2020. V. 14 (6). Pp. 623–637.
2. Niazi, M., Mahmood, S., Alshayeb, M., et al. Toward successful project management in global software development, *International Journal of Project Management*. 2016. Vol. 34. Pp. 1553–1567.
3. Sen A, Madria S. Application design phase risk assessment framework using cloud security domains. *Journal of Information Security and Applications*. 2020. Vol. 55. Article number 102617.
4. Крисілов В. А., Комлева Н. О. Анализ и оценка компетентности источников информации в задачах интеллектуальной обработки данных. *Международная научно-практическая конференция «Электротехнические и компьютерные системы: теория и практика» ELTECS-2019. Problemele energeticii regionale*. Вып. 1–1 (40). 2019. С. 91–104.
5. Крисілов В.А., Комлева Н.О., Бурдейний Є.І Програмна система аналізу якості джерел медичної статистичної інформації. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2019. Том 30 (69) № 5. С. 109–115.

6. Komleva N., Liubchenko V., Zinovatna S. Improvement of teaching quality in the view of a resource-based approach. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, 2740. Pp. 262–277.
7. Komleva N., Liubchenko V., Zinovatna S., Kobets V. Decision support system for quality management in learning process. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, 2711. Pp. 430–442.
8. Komleva N., Liubchenko V., Zinovatnaya S. Methodology of information monitoring and diagnostics of objects represented by quantitative estimates based on cluster analysis. *Applied Aspects of Information Technology*. 2020. V. 3. Pp. 376–392.
9. Olesen M. Cooperative Collaboration in the Hybrid Space of Google Docs Based Group Work. *Education Sciences*. 2020. Vol. 10. Is. 10. Article number 269.
10. Ishtaiwa F.F., Aburezeq I.M. The impact of Google Docs on student collaboration: A UAE case study. *Learning Culture and Social Interaction*. 2015. Vol. 7. Pp. 85–96.
11. Ebadi S., Rahimi M. Exploring the impact of online peer-editing using Google Docs on EFL learners' academic writing skills: a mixed methods study. *Computer Assisted Language Learning*. 2017. Vol. 30. Is. 8. Pp. 787–815.
12. Alharbi M.A. Exploring the potential of Google Docs in facilitating innovative teaching and learning practices in an EFL writing course. *Innovation in Language Learning and Teaching*. 2019. Vol. 14. Is. 3. Pp. 227–242.
13. Cavana, M. L. P. Using OneNote as an ePortfolio: Promoting Experiential Learning and Self-Regulation. *Proceedings of the 18th European Conference on e-Learning*. 2019. Pp. 467–475.
14. Bamforth S., Perkin G., Flint J. Understanding the student perspective of Microsoft OneNote as a learning resource in higher education. *12th International Conference of Education, Research and Innovation*. 2019. Pp. 9838–9847.
15. Ovadia S. Writing in the cloud. *Librarian's Guide to Academic Research in the Cloud*. 2013. Pp. 83–102.

#### **Zinovatna S.L., Komleva O.O., Ulizko H.V., Pysarenko K.O. MANAGEMENT OF REQUIREMENTS FOR THE TEXT EDITOR WITH THE POSSIBILITY OF ADDING AUDIO NOTES**

*Software requirements management involves the formalization of functional and non-functional requirements for the developed software product, their documentation, identification of stakeholders in the development process and many other issues. In general, there are many factors that affect the process of requirements management in software development: the geographical distribution of development teams, the complexity of development, uncertainty in the requirements, poor input, and others. This article is devoted to the formalization of functional and non-functional requirements for a text editor with the possibility of joint online work of a set of users and the use of audio notes. As part of the analysis of the relevance of the selected topic, the existing software analogues were studied: Google Docs, OneNote and Simplenote. As the analysis showed, despite the availability of high-quality analogues, the development of a text editor with the ability to add audio notes is an actual task, this means the need to focus on the structure of the relevant requirements. The main functions of the online editor are: working with a text file with the ability to create and use audio and text notes to specific fragments of text, search for comments by keywords, edit the text of the document, final evaluation of the quality of document content, etc. The main non-functional characteristics of the developed product are: reliability provided by certain characteristics of fault tolerance and recoverability; usability, including intelligibility of product use and attractiveness of the interface; portability, because the product is a web application and must be adapted to different devices and platforms. The work performed a three-level decomposition of tasks for planning the development of the product. The main elements of decomposition are organizational work, which includes planning the development and organization of product support, development of software product and marketing activities to promote the product on the market, including the use of advertising mechanisms, market analysis and product management.*

**Key words:** online editor, audio notes, requirements management, functional requirements, non-functional requirements, work decomposition structure, project management.



**Івченко Р.А.**

Криворізький національний університет

**Купін А.І.**

Криворізький національний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ АБО ДЕТАЛЕЙ НА ВИРОБНИЦТВІ

Практичні задачі системного аналізу в логістиці нерідко співвідносяться із ситуаціями, коли для знаходження оптимального рішення потрібно враховувати одночасно низку цілей, умов або критеріїв, зокрема, можливо, суперечливих (наприклад за бажання максимізувати рентабельність, якість, надійність тощо за одночасної мінімізації вартості, витрат тощо). У такому разі говорять про задачі багатокритеріальної або векторної оптимізації. Відразу ж підкреслимо, що зазначені задачі оптимізації мають таку особливість. Кожна особа, яка ухвалює рішення (далі – ОПП), може мати власний досвід у бізнесі, власну систему переваг, власне ставлення до можливих витрат/виграшів у межах приватних критеріїв. Отож, визначаючи у форматі одієї й тієї ж задачі багатокритеріальної оптимізації системи логістики або ланки ланцюга поставок найкраще або оптимальне рішення, різні ОПП можуть вибирати як оптимальні альтернативи зовсім різні рішення. У цьому немає жодної суперечності, оскільки кожен учасник ринку може і повинен уміти реалізувати саме своє ставлення до специфіки розв'язуваної задачі багатокритеріальної оптимізації і, зокрема, реалізувати свої вподобання у форматі таких задач.

Під час розв'язання відповідних задач управління в ланцюгах поставок доводиться мати справу із ситуаціями, коли знаходження оптимального рішення в межах, наприклад, аналізованого ланцюга поставок обладнання ускладнюється необхідністю одночасної оптимізації низки показників або критеріїв.

Виявлено, що деякі методи багатокритеріальної оптимізації призводять до різних результатів (оцінок), за якими вже відбувається вибір обладнання. При цьому метод за критерієм мультиплікативної згортки дає найменшу розбіжність між експериментальними і модельними значеннями обраних критеріїв оптимізації. За допомогою цього методу можна найгнучкіше виставляти оцінки критеріям. Результати роботи, можливо, будуть використані для створення експертної системи, яка буде використана для предиктивного аналізу виявлення поломок та оптимізації вибору обладнання або деталей на виробництві.

**Ключові слова:** особа, яка ухвалює рішення, багатокритеріальна оптимізація, логістика, менеджмент, обладнання, оцінка, критерій.

**Постанова проблеми.** На сучасних великих промислових підприємствах (кількість співробітників становить тисячі осіб) велика кількість досить складного обладнання, зокрема механічного (млини, конвеєра) або електричного (електроприводи, насоси, електродвигуни і т.д.). На таких об'єктах, як правило, є служби та/або відділи головного механіка (далі – ВГМ) і відділи головного енергетика (далі – ВГЕ), які займаються обслуговуванням і ремонтами (наприклад планові й позапланові). Зважаючи на досить велику номенклатуру обладнання різного терміну служби, різноманітність і складність, а також на те, що ці агрегати випускалися в різний час, є необхідність застосування сучасних ІТ і систем управління, які спростили б проведення

діагностики, ремонтів, управління технологічним процесом.

У перспективі це дозволить: знизити витрати, підвищити продуктивність підприємства, підвищити швидкість пошуку запчастин і, відповідно, оптимізувати загальний час проведення ремонтних робіт, простоїв обладнання тощо.

**Дослідження методів багатокритеріальної оптимізації.** Зазначена особливість заздалегідь передбачається у форматі методів багатокритеріальної оптимізації. Менеджер може реалізувати її, наприклад, задаючи конкретний критерій вибору (формалізується на основі початково заданих критеріїв, званих приватними) з урахуванням його ліній рівня. Основні підходи і методи вирішення таких задач оптимізації,

якими може користуватися менеджер, представлено в статті.

Під час розв'язання відповідних задач управління в ланцюгах поставок доводиться мати справу із ситуаціями, коли пошук оптимального рішення в межах, наприклад, аналізованого ланцюга поставок ускладнюється необхідністю одночасної оптимізації низки показників або критеріїв.

У таких ситуаціях від менеджера вимагається вміння знаходити найкращі (в межах заданої сфери обраних альтернатив) рішення. Ураховуючи підкреслені вище особливості, зрозуміло, що це не просте завдання для менеджера. Знайдене оптимальне рішення має бути адаптоване до системи переваг особи, яка ухвалює рішення (далі – ОПР). Через зазначену специфіку задач оптимізації за багатьох критеріїв такі рішення також називають компромісними. Їх потрібно знаходити для будь-якого з таких випадків [1]:

1) наявні критерії в межах задачі оптимального управління в ланцюзі постачань формалізовані у вигляді конкретних критеріальних функцій, причому саме задачі управління також формалізовано як відповідну задачу багатокритеріальної оптимізації;

2) наявні критерії не вдається формалізувати у вигляді конкретних критеріальних функцій, але ОПР може задати свої переваги на основі попарного порівняння як самих критеріїв (між собою), так наявних альтернатив із позицій кожного з критеріїв.

Стосовно будь-якого із зазначених випадків є свої спеціальні методи, прийоми і підходи для знаходження оптимальних або найкращих рішень (такі рішення також називають компромісними). Щодо першого із зазначених випадків ними є методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації, а стосовно другого – метод аналітичної ієрархії (процеси аналітичної ієрархії), наприклад. Насамперед завданням цього розділу є можливість представлення (у короткій формі) відповідних методів і підходів на прикладах ситуацій, пов'язаних із необхідністю ухвалення оптимальних рішень за багатьох критеріїв у системах логістики під час аналізу відповідної ланки [2].

**Постановка завдання.** У цій статті будуть представлені основні підходи до розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації на основі так званих «прямих методів». У форматі таких підходів використовуються методи і прийоми відомості багатокритеріальних задач до розв'язання задач скалярної оптимізації. Зазначені методи називають «прямі методи», оскільки для них вид

загального критерію вибору задається без усяких обґрунтувань, а його параметри («вагові» коефіцієнти) або також задаються, або «прямо» оцінюються ОПР. Із ними часто межують так звані «аксіоматичні методи», спрямовані на побудову функції корисності ОПР.

### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

#### **1. Парето-оптимальні рішення**

Наведемо відповідне формальне визначення. Оптимальне за Парето рішення  $\bar{x}^* \in X$  має володіти такою властивістю. У множині  $X$  допустимих альтернативних рішень не знайдеться жодного іншого рішення, перехід до якого (від  $\bar{x}^*$ ) дозволить поліпшити показник хоча б одного з приватних критеріїв, щоб при цьому не погіршилися б показники інших приватних критеріїв. Якщо множина абсолютних рішень не є порожньою, то множина оптимальних за Парето рішень збігається з множиною абсолютних рішень.

Якщо множина альтернативних рішень є дискретною, то завдання вибору оптимального рішення за багатьма критеріями зручно представляти в табличній формі. При цьому кожен альтернативу достатньо характеризувати оцінками поточних критеріїв. За рядками таблиці представляють альтернативи  $\{X_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ . У кожному стовпці такої таблиці вказують оцінки за конкретним приватним критерієм [3].

Наприклад, потрібно вибрати найкращий варіант організації поставок товару із семи доступних і можливих варіантів. Відповідні варіанти альтернатив позначаємо далі через А, В, С, D, E, F і G. Ці сім альтернатив складають  $\{X_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ , причому  $m=7$ . Нехай приватні критерії в цій ситуації представлені чотирма критеріями. Цими критеріями можуть виступати, наприклад, такі. Критерій  $g^{(1)}$  – мінімізація оцінки річних витрат, що зумовлюються відповідними витратами на перевезення. Критерій  $g^{(2)}$  – мінімізація оцінки річних витрат, що зумовлюються відповідними витратами на зберігання. Критерій  $g^{(3)}$  – мінімізація оцінки для сумарних грошових коштів, заморожених у запасах;  $g^{(4)}$  – мінімізація оцінки річних витрат, що зумовлюються відповідними штрафними санкціями через зриви термінів постачання.

Показники цих приватних критеріїв у форматі заданих альтернатив уже проаналізовано й виражено в деяких зручних для ОПР грошових одиницях (таблиця 1). Уточнимо, які з альтернатив є оптимальними за Парето.

Альтернатива А домінує над альтернативою В (тому перехід від альтернативи D до альтернативи В дозволяє поліпшити показники приватних кри-

Таблиця 1

**Значення приватних критеріїв**

Альтернативні рішення	Значення приватних критеріїв			
	$g^{(1)}$	$g^{(2)}$	$g^{(3)}$	$g^{(4)}$
A	45	27	159	29
B	40	34	148	28
C	42	35	126	24
D	41	34	170	28
E	45	35	146	26
F	43	32	147	27
G	42	36	122	25

теріїв  $g^{(1)}$  і  $g^{(3)}$ , не погіршивши показників решти приватних критеріїв). Тобто варіант В є свідомо кращим (за заданими приватними критеріям), ніж варіант D. Жоден менеджер ніколи в такій ситуації не вибере альтернативу D як найкращу. Вона не є оптимальною за Парето. Аналогічно альтернатива С домінує над альтернативою Е. Дійсно, перехід від альтернативи Е до альтернативи С дозволяє поліпшити показники приватних критеріїв  $g^{(1)}$ ,  $g^{(3)}$  і  $g^{(4)}$ , не погіршивши показників  $g^{(2)}$ . Таким чином, жоден менеджер або ОПР ніколи в такій ситуації не вибере також альтернативу Е як найкращу. Зумовлено це саме тією обставиною, що альтернатива Е не є оптимальною за Парето.

**2. Оптимізація основного приватного критерію**

За такого підходу серед приватних критеріїв виділяється один, який застосовується як основний або винятково важливий: на його основі будуть реалізовані процедури оптимізації. Решта приватних критеріїв будуть враховані так. У форматі їх показників ОПР вказує гранично допустимі значення (враховується наявний досвід справи). Нехай критерій  $g^{(1)}(\bar{x})$  є основним. Тоді вихідна задача багатокритеріальної оптимізації (всі приватні критерії мінімізуються) у форматі розглянутого тут підходу зводиться до однокритеріальної задачі таким чином:

$$g^{(1)}(\bar{x}) \rightarrow \min$$

за обмежень  $g^{(k)}(\bar{x}) \leq g_k, k=\overline{2, N}, \bar{x} \in X$ , де  $g_k$  – задаються ОПР гранично допустимі значення для показників приватних критеріїв (крім основного).

Замість вихідної багатокритеріальної задачі оптимізації у форматі підходу, званого «метод оптимізації основного приватного критерію», вирішується скалярна задача оптимізації однієї функції (основного приватного критерію). При цьому система обмежень модифікується з урахуванням усіх інших приватних критеріїв. Якщо

знайдене мінімальне значення досягається за двох або більше альтернативних рішень, то потрібна перевірка обраного рішення на оптимальність за Парето [4].

*Процедури критерію у форматі дискретної множини альтернатив.* Якщо менеджер використовує табличне представлення оцінок приватних критеріїв, то процедури методу оптимізації основного приватного критерію будуть наступними [5].

1) спочатку необхідно забезпечити виконання необхідної системи обмежень (уважаємо, що основним приватним критерієм є  $g^{(1)}(\bar{x})$ ):

$$g^{(k)}(\bar{x}) \leq g_k, k=\overline{2, N}, \bar{x} \in X.$$

Для цього проглядаються всі оцінки окремих критеріїв  $g^{(k)}(\bar{x}), k=\overline{2, N}$  (які не є основним). Вони будуть представлені в стовпцях таблиці за відповідними приватними критеріями. Якщо в стовпці, який відповідає приватному критерію  $g^{(k)}$ , знайдеться елемент, що перевершує гранично допустимі втрати  $g_k$ , то така альтернатива далі не розглядається (вона викреслюється з множини допустимих альтернативних рішень). Реалізація зазначених процедур для всієї множини критеріїв  $g^{(k)}, k=\overline{2, N}$  забезпечить виконання необхідної системи обмежень;

2) потім серед допустимих альтернатив перебуває найкраща за основним приватним критерієм  $g^{(1)}(\bar{x})$ . Вона визначається за найменшим показником серед решти елементів у тому стовпці, який відповідає приватному критерію  $g^{(1)}(\bar{x})$ .

**Приклад.** Для демонстрації візьмемо дані з таблиці 1. Аналізується ситуація, пов'язана з моделюванням роботи ланки ланцюга постачань, коли потрібно вибрати найкращий варіант організації поставок товару із семи доступних і можливих варіантів А, В, С, D, Е, F і G. Множину приватних критеріїв задано чотирма критеріями. Приватні критерії мінімізуються.

Із попередньої частини ми вже знаємо що в розглянутому прикладі альтернативи А, В, С, F і G є оптимальними за Парето. Знайдемо серед них найкраще рішення за методом оптимізації основного приватного критерію. Спростимо таблицю 1, видаливши альтернативи D і Е (її оптимальні за Парето). Результат представлено в таблиці 2.

Нехай основним приватним критерієм буде критерій  $g^{(1)}$ . Для решти трьох приватних критеріїв ОПР задає такі обмеження:  $g^{(2)} \leq 35, g^{(3)} \leq 150, g^{(4)} \leq 30$ . Тобто в такому разі  $g_2 = 35, g_3 = 150$  і  $g_4 = 30$ . Задачу багатокритеріальної оптимізації буде перетворено до вигляду:

Таблиця 2

**Значення приватних критеріїв для альтернатив оптимальних за Парето**

Альтернативні рішення	Значення приватних критеріїв			
	$g^{(1)}$	$g^{(2)}$	$g^{(3)}$	$g^{(4)}$
A	45	27	159	29
B	40	34	148	28
C	42	35	126	24
F	43	32	147	27
G	42	36	122	25

$$g^{(1)}(\bar{x}) \rightarrow \min$$

за обмежень  $g^{(2)}(\bar{x}) \leq 35$ ;  $g^{(3)}(\bar{x}) \leq 150$ ;  $g^{(4)}(\bar{x}) \leq 30$ ;  $\bar{x} \in \{A, B, C, F, G\}$ .

Для знаходження оптимального рішення спочатку забезпечимо виконання необхідної системи обмежень: видаляємо альтернативи A і G. Альтернатива A не може бути розглянута, тому не задовольняє обмеженням за приватним критерієм  $g^{(3)}$ . Альтернатива G не може бути розглянута, тому не задовольняє обмеженням за приватним критерієм  $g^{(2)}$ . Отримуємо нову таблицю 3.

Таблиця 3

**Спрощена таблиця альтернатив**

Альтернативні рішення	Значення приватних критеріїв			
	$g^{(1)}$	$g^{(2)}$	$g^{(3)}$	$g^{(4)}$
B	40	34	148	28
C	42	35	126	24
F	43	32	147	27

Тепер згідно з процедурами розглянутого методу оптимізації у форматі множини допустимих альтернативних рішень перебуває найкраща альтернатива за основним приватним критерієм  $g^{(1)}(\bar{x})$ . Вона визначається за найменшим показником серед решти елементів у першому стовпчику (цей стовпець відповідає показникам основного приватного критерію  $g^{(1)}$ ). Легко бачити, що вибір потрапляє на альтернативу B. Вона і буде прийнята як оптимальна (тобто як оптимальне рішення) в межах методу оптимізації за основним приватним критерієм.

**3. Метод згортки критеріїв**

Нехай потрібно ухвалити нове рішення, вибравши один із можливих варіантів як оптимальний, при цьому є кілька критеріїв ефективності рішення. У попередніх пунктах було розглянуто простий спосіб скорочення кількості кандидатів на статус оптимального рішення – виділення так званої «множини Парето». Таким чином, не завжди можна усунути всі варіанти,

крім одного. Цього не можна зробити, коли якийсь Парето-оптимальний варіант випереджає іншого за одним критерієм, програвши за іншими. Один із підходів до багатокритеріальних задач ухвалення рішень – так звана «згортка за критеріями». Крім оцінки варіантів за кожним із критеріїв, вона вимагає знання про пріоритети критеріїв.

Нехай є  $n$  критеріїв, при цьому для варіанта  $x$  оцінки за критеріями такі [6]:

$$0 \leq f_i(x) \leq 1, i = 1 \dots n$$

Якщо за  $i$ -м критерієм  $x$  – бездоганний варіант (якщо інші варіанти вибору не кращі його за цим критерієм), то оцінка = 1, якщо найгірший – 0.

Пріоритети критеріїв такі:

$$0 < p_i < 1, i = 1 \dots n; p_1 + \dots + p_n = 1$$

Їх називають вагами критеріїв. Пріоритети однакові для всіх варіантів вибору. Пріоритет може бути рівним нулю або одиниці, але це не є бажаним (якщо одиниця, то буде єдиний критерій, а не кілька; якщо нуль, то критерій не грає жодної ролі).

Оператор згортки критеріїв для варіанта  $x$  має вигляд:

$$w(x) = g(f_1(x), \dots, f_n(x), p_1, \dots, p_n)$$

*Нормування критеріїв.* Оцінки за різними критеріями можуть мати різні шкали (наприклад температура, швидкість). Крім того, можуть бути схожі одиниці виміру, але занадто різні розміри. Щоб уникати таких випадків, оцінки за критеріями роблять безрозмірними і ставлять так, щоб вони приймали значення від 0 до 1.

Один зі способів нормування за еталомом:

$$f = \frac{f_{\text{виміру}}}{f_{\text{еталон}}}$$

Іноді не можна сказати, що таке ідеальний варіант за цим критерієм. Наприклад, потрібно вибрати технологію виробництва деталей. Краща з відомих дає продуктивність 30 дет/год., при цьому не є відомим те, наскільки велика гранично можлива продуктивність у виробництві. Або ідеал відомий, але недосяжний.

Якщо краща з точки зору критерію оцінка за критерієм становить  $f_{\max}$ , у найгіршого –  $f_{\min}$ , то нормування для  $f_{\text{вим}}.$  виконується так [7]:

$$f = \frac{f_{\text{виміру}} - f_{\min}}{f_{\max} - f_{\min}}$$

Якщо потрібна мінімізація, то:

$$f = \frac{f_{\max} - f_{\text{виміру}}}{f_{\max} - f_{\min}}$$

**Приклад.** Для ілюстрації розглянемо ситуацію, коли необхідно вибрати один найкращий

Вибір найкращого рішення за критерієм мультиплікативної згортки

Рішення	Значення приватних критеріїв				Показник критерію вибору
	$g^{(1)}$ $c_1=0,5$	$g^{(2)}$ $c_1=0,15$	$g^{(3)}$ $c_1=0,15$	$g^{(4)}$ $c_1=0,2$	Сума оцінок
A	45(1)	27(0)	159(0,75)	29(1)	$1 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,15 + 0,75 \cdot 0,15 + 1 \cdot 0,2 = 0,8125$
B	40(0)	34(0,875)	148(0,5)	28(0,8)	$0,5 \cdot 0 + 0,15 \cdot 0,875 + 0,5 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 0,8 = 0,36625$
C	42(0,4)	35(1)	126(0)	24(0)	$0,4 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,15 + 0 \cdot 0,15 + 0 \cdot 0,2 = 0,35$
D	41(0,2)	34(0,875)	170(1)	28(0,8)	$0,2 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,875 + 1 \cdot 0,15 + 0,2 \cdot 0,8 = 0,54125$

варіант із чотирьох допустимих альтернативних (A, B, C, D). Множину приватних критеріїв задано чотирма критеріями. Оцінки вже нормованих приватних критеріїв наведено в таблиці 4. Провідні параметри у форматі процедур критерію вибору ОПР задає такий спосіб:  $c_1 = 0,5$ ;  $c_1 = 0,15$ ;  $c_1 = 0,15$ ;  $c_1 = 0,2$ . Для зручностей ілюстрації процедур вибору ці параметри наведено в таблиці 1.4 (у комірках із найменуванням приватного критерію). Потрібно знайти найкращу альтернативу за критерієм мультиплікативної згортки.

До таблиці з оцінками приватних критеріїв приписуємо додатковий стовпець (така процедура вже формалізована в таблиці 4. Це останній стовпець). У цей стовпець записуємо нормовані значення помножені на ваги та сумуємо їх. Найбільше значення і буде оптимальним. Воно дорівнює 0,8125 (виділений у таблиці жирним шрифтом) і відповідає альтернативі A

(за рядком матриці). Таким чином, у розглянутому випадку альтернатива A і приймається як оптимальна для організації відповідних поставок сировини стосовно до аналізованого ланці ланцюга постачань у межах розглянутого підходу до вирішення багатокритеріальної задачі оптимізації.

**Висновки.** Провівши аналіз методів багатокритеріальної оптимізації, було виявлено, що найкращим може бути метод за критерієм мультиплікативної згортки, оскільки за його допомогою можна найгнучкіше виставляти оцінки критеріям. Проте не виключеним є використання кілька методів одночасно.

Такого методу буде на перший час достатньо для дослідження в цій предметній сфері, проте згодом будуть включені для дослідження й інші, такі як метод Гурвіца, послідовних поступок та ідеальної точки.

#### Список літератури:

1. Теорія вибору і прийняття рішень / Макаров І.М. та ін. Москва : Наука, 1982.
2. Ногін В.Д., Протодьяконов І.О., Євлампія І.І. Основи теорії оптимізації. Москва : Вища школа, 1986.
3. Подиновский В.В., Ногін В.Д. Парето-оптимальні рішення багатокритеріальних задач. Москва : Наука, 1982. 256 с.
4. Штойер Р. Багатокритеріальна оптимізація. Теорія, обчислення, і додатки Москва : Радио и связь, 1992. 504 с.
5. Бродецький Г.Л. Методи оптимізації багатокритеріальних рішень в логістиці. Москва, 2009. с.
6. Міркін Б.Г. Проблема групового вибору. Москва : Наука, 1974. 256 с.
7. Пужай А.В. Керувальницькі рішення. Санкт-Петербург : МБІ, 2004. 152 с.

#### Ivchenko R.A., Kupin A.I. RESEARCH OF MULTICRITERIA OPTIMIZATION METHODS FOR SELECTION OF EQUIPMENT OR PARTS IN PRODUCTION

*Practical tasks of systems analysis in logistics are often correlated with situations where to find the optimal solution we need to take into account a number of goals, conditions or criteria, in particular, possibly contradictory (for example, if you want to maximize profitability, quality, reliability, etc. while minimizing costs, expenses, etc.). In this case, usually mentioned about the problem of multicriteria or vector optimization. Note that these optimization problems have such feature. Every decision-maker can have his/her own business experience, their own system of benefits, their own attitude to possible losses / gains within private criteria. Therefore, determining in the format of the same problem of multi-criteria optimization of the logistics system or supply chain link the best or optimal solution, various decision-makers may choose as optimal alternatives completely different solutions. There is no contradiction in this, because each market participant can and should be able to implement its own attitude to the specifics of the problem of multicriteria optimization and, in particular, to realize their preferences in the format of such tasks.*

*When solving the relevant tasks of management in supply chains have to deal with situations where finding the optimal solution within, for example, the analyzed supply chain of equipment is complicated by the need to simultaneously optimize a number of indicators or criteria.*

*It is revealed that some methods of multicriteria optimization lead to different results which are followed by the choice of equipment. In this case, the method by the criterion of multiplicative convolution gives the minimal difference between the experimental and model values of the selected optimization criteria. With this method, we can most flexibly evaluate the criteria. The results of the work probably will be implemented for creation an expert system that will be used for predictive analysis of fault detection and optimization of the choice of equipment or parts in production.*

**Key words:** *decision-maker, multicriteria optimization, logistics, manager, equipment, evaluation, criterion.*

**Качурівський В.О.**

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Качурівська Г.М.**

Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

**ПОБУДОВА АНІМАЦІЙНИХ ДІАГРАМ ЗАСОБАМИ CANVAS API**

Одним зі способів візуалізації числової інформації є використання діаграм та графіків. Діаграми за допомогою геометричних фігур представляють образи числових даних. Графіки подають розвиток певного процесу залежно від певного фактора. Будь-який графік чи діаграма – це графічний образ математичної моделі. Вебтехнології володіють засобами роботи з графічною інформацією. Поряд із вставкою графічних файлів у текстові матеріали все частіше використовується програмована графіка. Програмована графіка визначається SVG-зображеннями та побудовами за допомогою полотна `<canvas>`. Побудова діаграм на полотні здійснюється засобами CANVAS API. Програмований Javascript-сценарій здійснює побудову діаграми або графіка та створює в документі статичне графічне зображення. Унаочнення динаміки розвитку процесу потребує побудови діаграми, яка триває в часі. Для цього необхідно застосовувати анімацію елементів діаграми або графіка. Стандартні засоби трансформації та переходу CSS можуть бути використані для створення ефектів появи зображення на полотні. Вони не відображають динаміки побудови самої діаграми. Використання анімаційних GIF-зображень є надто об'ємним. Тому є необхідним розгляд питання про те, яким чином провести анімацію, кадрування діаграми. Одним зі способів анімації діаграми або графіка є використання методу `setTimeout`, що належить об'єкту `WindowOrWorkerGlobalScope`. Цей метод устанавлює таймер, що виконує функцію один раз, щойно спливе заданий час. Розбиття діаграми на складники та почерговий запуск побудови елемента діаграми через певний час створить динаміку та відповідну анімацію діаграми. У статті визначено Javascript-сценарії динамічної побудови стовпчикової та секторної діаграм. Описано програмування анімаційних ефектів: побудова за елементами діаграми, одночасна побудова всіх елементів.

**Ключові слова:** анімація діаграми, секторна діаграма, комп'ютерна графіка, CANVAS API, програмована анімація.

**Постановка проблеми.** Одним зі способів візуалізації числової інформації є використання діаграм та графіків. Будь-який графік чи діаграма – це графічний образ математичної моделі. Унаочнення динаміки розвитку процесу потребує побудови діаграми, яка триває у часі. Така анімація дозволяє спостерігати за розвитком процесу або явища у часі. Застосування GIF-зображень не є ефективним, оскільки вони є достатньо об'ємними та не дозволяють коригувати вхідні дані. Цю проблему можна розв'язати за допомогою програмованої графіки засобами CANVAS API.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У публікаціях Steve Fulton та Jeff Fulton висвітлено роботу з побудови графічних примітивів, а також розглянуто загальні принципи анімації зображення [2; 3]. Джош Маріначі розглядає методи побудови діаграм [4]. У роботі авторів розглянуто питання адаптивної побудови діаграми до

ширини контейнера публікації та способи відбору числових даних до Javascript-сценарію побудови інфографіки [6; 7]. Також на програмному ринку присутні бібліотеки для побудови інтерактивних діаграм. Серед таких бібліотек слід виділити Chartist JS, C3 JS, DC JS та Google Chart. Натепер відсутні розроблення, що стосуються анімації побудови самої діаграми.

**Постановка завдання.** Визначити методи програмної реалізації для створення анімаційного ефекту побудови стовпчикової гістограми та секторної діаграми. Розробити javascript-сценарій для побудови анімаційного зростання стовпчиків гістограми та секторів кругової діаграми засобами CANVAS API. Розробити загальний алгоритм створення анімації елементів діаграм для створення ефектної інфографіки.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У вебдизайні графіки є одним із кращих інстру-

ментів для візуалізації даних. Застосування ефекту анімації до інфографіки затримує увагу користувача на ній та створює позитивний момент під час перегляду текстової інформації. Під час побудови діаграм засобами CANVAS API доцільно розробити способи програмної анімації елементів діаграм.

Припустимо, що діаграма складається з чотирьох елементів. Визначимо такі сценарії анімації діаграм.

**Перший спосіб – почергова побудова елементів діаграми.** До кожного елемента діаграми застосуємо спосіб збільшення його розміру від 0 (нуля) до заданого числового значення. Спочатку будується перший елемент, за ним другий, третій та четвертий. Час побудови одного елемента діаграми залежить від фактичного числового значення, на основі якого будується елемент. Чим більше числове значення, тим довше будується елемент.

**Другий спосіб – одночасна побудова елементів діаграми.** Усі елементи будуються одночасно від нульового до відповідного числового значення масиву вхідних даних. Побудова закінчується тоді, коли вичерпано всі значення. Найдовше будується елемент із максимальним числовим значенням.

**Розглянемо детальніше перший спосіб (почергова побудова елементів діаграми).**

Алгоритм для створення анімації такий:

1) визначити, який складник діаграми буде програмно анімуватися;

2) сформувати числовий масив показників, на основі яких будується діаграма. Про способи відбору числових значень до діаграми детальніше описано у праці [6]. Провести масштабування числових значень відповідно до висоти полотна побудови canvas. Масштаб визначається коефіцієнтом  $k$ , як співвідношення висоти полотна  $H$  до максимального числового значення;

3) провести конструювання функції побудови статичного елемента діаграми. У параметрах функції необхідно передбачити передання параметрів зміни розміру елемента;

4) здійснити циклічне застосування методу `setTimeout()` для створення кадрування елемента діаграми та часову затримку в його відображенні. Це створить ефект анімації нашої інфографіки.

Цей алгоритм є універсальним та може бути застосований для довільного типу діаграми чи графіка.

Розглянемо реалізацію цього алгоритму для побудови вертикальної гистограми. Елементами гистограми є прямокутники, які будуть створю-

ватися командою `ctx.fillRect(x,y,w,h)`. Необхідно провести програмування **анімації одного стовпчика гистограми**, який буде основою для всієї інфографіки. Для прикладу візьмемо полотно canvas розміру 300px на 150px. Висоту полотна зафіксуємо у змінній  $H=150$ . Числове значення стовпчика гистограми записуємо у масив, наприклад: `var y=[300]`. Коефіцієнт масштабування  $k$  буде дорівнювати  $k=H/300=0,5$ . Формуємо новий масштабований масив значень `yy[0]=y[0]*k`.

Здійснюємо програмування функції користувача `plot` для побудови відображення прямокутника:

```
function plot(xx, hh) {
  ctx.fillStyle = '#67828E';
  ctx.fillRect(xx,H-hh,ww,hh);}

```

де  $xx$  та  $hh$  – формальні параметри початкової точки на осі  $X$  та висота прямокутника відповідно.

Здійснюємо побудову стовпчика зі зростання висоти  $h$  прямокутника від  $1px$  до масштабованого раніше значення `yy[0]` з кроком  $1px$ .

Для часової затримки у побудові наступного прямокутника застосуємо метод `setTimeout()[4]`. Числове значення часової затримки для побудови наступного прямокутника формуємо у змінній `time`. Змінну часу побудови збільшуємо на 10мс лічильником `time+=10`.

Фрагмент програмного коду для анімаційної побудови стовпчика гистограми є таким:

```
var time=0;
for(h=1;h<=yy[0];h++)
  {time+=10;setTimeout(plot,time,x,h);}

```

Параметрами методу `setTimeout()` є такі: функція побудови прямокутника `plot`, змінна `time` та параметри для побудови  $x$  – координата на осі  $X$  та  $h$  – висота чергового прямокутника, якій передаються функції `plot`. Оскільки значення координати  $x$  є незмінною величиною, то прямокутники будуються таким чином, що кожен наступний перекриває попередній. Таким чином, створюється анімаційний ефект плавного зростання прямокутника.

*Із результатом роботи JavaScript-сценарію анімації прямокутника детальніше можна ознайомитися за вказівкою <https://codepen.io/volodimir-kachurwskij/pen/qBOyEWN>.*

Тепер розглянемо програмну реалізацію **почергової побудови елементів гистограми**.

Припустимо, що наша гистограма повинна мати чотири стовпчики, які представляють такі числові дані: 200, 180, 100, 150. Формуємо масив вхідних даних:



```
var y = [200, 180, 100, 150]; var n = y.length;
```

де n – кількість числових значень масиву.

Побудову елементів гістограми будемо здійснювати поступово від першого стовпчика до останнього за допомогою циклу. Для створення анімаційної побудови застосуємо змінну time, у якій будемо формувати час запізнення побудови наступного кадру анімації. Після побудови відповідного кадру збільшимо значення time на 5 мілісекунд. Дана змінна буде накопичувати числове значення запізнення для побудови другого, третього та четвертого стовпчиків.

Фрагмент коду почергової побудови стовпчиків гістограми з анімаційним ефектом зростання висоти кожного прямокутника буде таким.

```
var time = 0;
for(j=0; j<n; j++)
  for (h = 1; h<=yy[j]; h++) {
    time+=5;setTimeout(plot, time, x, h, j);}
```

*Із результатом роботи JavaScript-сценарію почергової побудови стовпчиків гістограми з анімаційним ефектом зростання висоти прямокутника детальніше можна ознайомитися за вказівкою <https://codepen.io/volodimir-kachurwskij/pen/oNjPGGd>*

**Розглянемо другий спосіб анімації діаграми: одночасна побудова елементів діаграми.**

Для конкретизації JavaScript-сценарію розглянемо побудову гістограми на основі чотирьох числових значень.

Алгоритм побудови буде таким:

- 1) формування числового масиву показників гістограми. Припустимо  $var\ y = [200, 180, 100, 150]$ ;
- 2) обчислення коефіцієнта масштабування.  $k = N/\max$ , де  $\max$  – найбільше числове значення масиву даних  $\max = \text{Math.max}(\dots)$ ;

- 3) формування масштабованого масиву для побудови діаграми

```
var n=y.length; for(i=0; i<n; i++) yy[i]=y[i]*k;
де n=y.length – кількість елементів масиву;
```

- 4) зміна функції plot() для побудови чотирьох прямокутників. Побудову прямокутників визначимо у конструкції циклу.

```
function plot(xx, hh) {
  for(j=0; j<n; j++)
    if(hh<=yy[j])
      {ctx.fillStyle='#67828E';
       ctx.fillRect(xx+j*70,H-hh,ww,hh);}
```

Для зміщення побудови чергового прямокутника використаємо конструкцію  $xx+j*70$ , де  $j*70$  значення на зміщення. Число 70 – це крок зміщення на осі X;

- 5) застосування методу setTimeout() для створення кадрування та анімації прямокутників:

```
for (h = 1; h<=max*k; h++)
  {time+=10;setTimeout(plot, time, x, h);}
```

Щодо тривалості анімації. Оскільки висота побудови наступного прямокутника збільшується на одиницю, часова затримка збільшується на 10мс, то час анімації триватиме  $\max*k*10$  секунд, що створює приємну та м'яку анімацію.

*Із результатом роботи JavaScript-сценарію одночасної побудови чотирьох прямокутників гістограми детальніше можна ознайомитися за вказівкою <https://codepen.io/volodimir-kachurwskij/pen/yLYqMBw>.*

**Анімація побудови секторної діаграми.**

Програмна анімація секторної діаграми буде залежати від способу анімації:

- 1) почергова побудова кожного повного сектора діаграми із затримкою визначеного часу;
- 2) плавна побудова одного сектора діаграми з переходом до побудови кожного наступного сектора.

Побудова секторної діаграми здійснюється за допомогою команди побудови дуги `void ctx.arc(x, y, radius, startAngle, endAngle, anticlockwise)` [1];

Для побудови секторів діаграми використаємо заливку `ctx.fill()`; певним кольором `ctx.fillStyle = 'color'`;

Для побудови кожного сектора діаграми необхідно мати початковий та кінцевий кути. Проведемо формування кутів секторів у масиві `angel`. Для зручності обчислення кутів формуємо питому вагу кожного значення числового масиву, на основі яких необхідно будувати діаграму. Наприклад, необхідно побудувати секторну діаграму, яка буде мати шість секторів, які відповідають таким числовим даним: 14, 9, 7, 20, 28, 34. Знайдемо загальну суму.

```
var znach=[14,9,7,20,28,34];
var s=0; znach.forEach((item)=>{s+=item});
```

Для зручності обчислень – кути розраховуємо в діапазоні від 0 до 1. Перший кут рівний 0, кінцевий – 1. Кожен наступний кут побудови визначається як попередній, до якого додано величину питомої ваги числового значення.

```
var n=znach.length; var angel=[];
angel[0]=0; angel[n+1]=1;
for(i=0; i<n; i++){
  angel[i+1]=angel[i]+znach[i]/s;}
```

У результаті сформовано масив питомих значень кутів для побудови секторів діаграми.

Побудову конкретного сектора здійснюємо командою `ctx.arc(x,y,r,angel[i]*Math.PI*2, angel[i+1]*Math.PI*2,false)`; де  $i$  – це індекс сектора побудови. Побудова секторів діаграми здійснюється у циклі. Попередньо сформуємо кольорову заливку секторів у масиві `color_s`.

```
var color_s=['#FF7C00', '#BF7630', '#A65100', '#FF9D40','#FFB773','#8F4600'];
```

Функція `plot_sector()` побудови одного сектора діаграми є такою:

```
function plot_sector(ii) {
  ctx.beginPath();
  ctx.fillStyle = color_s[ii];
  ctx.moveTo(200,200); // центр дуги
  ctx.arc(200,200,180,angel[ii]*Math.PI*2,
  angel[ii+1]*Math.PI*2,false);
  ctx.fill();}
```

де  $ii$  – це формальний параметр, який визначає номер сектора побудови.

Для анімації елементів діаграми застосуємо метод `setTimeout()`, до якого передаємо значення визначеного номера сектора та час затримки для побудови наступного. Побудова секторів проводиться циклічно від першого до шостого.

Програмна реалізація почергової побудови кожного повного сектора діаграми із затримкою визначеного часу буде такою:

```
var time=0;
for (i= 0; i<=n; i++) {
  time+=200;
  setTimeout(plot_sector, time, i); }
```

*Із результатом роботи JavaScript-сценарію детальніше можна ознайомитися за вказівкою <https://codepen.io/volodimir-kachurwskij/pen/JjYaZpp>.*

Більш привабливою буде анімація секторної діаграми з плавною побудовою одного сектора діаграми з переходом до побудови наступного сектора.

Для плавної побудови секторів діаграми будемо здійснювати побудову одиничного сектора величиною в 1 градус тобто  $\pi/180$  радіан. Колір одиничного сектора буде визначатися поточним кольором доти, доки значення буде у кутових межах відповідного сектора, кути якого задані у масиві `angel`.

Умова для визначення кольору одиничного сектора є такою:

```
if(aa>=angel[i]*Math.PI*2&&aa<=angel[i+1]*
Math.PI*2)
```

```
c=i; ctx.fillStyle = color_s[c];
```

де  $aa$  – кут одиничного сектора.

Функція побудови сектора буде такою:

```
function plot_sector(aa) {
  ctx.beginPath ();
  for(i=0;i<=n;i++)
  if(aa>=angel[i]*Math.PI*2&& aa<=angel[i+1]*
  Math.PI*2)
```

```
c=i;
```

```
ctx.fillStyle = color_s[c];
```

```
ctx.moveTo(cen_x,cen_y);
```

```
ctx.arc(cen_x,cen_y,r,aa-Math.PI/180,aa,false);
```

```
ctx.fill();}
```

Побудова одиничного сектора здійснюється під час зміни кута побудови від 0 до 360 градусів. Затримка побудови одиничного сектора 5 мілісекунд. Уся побудова триватиме близько двох секунд.

Код побудови кругової діаграми є таким:

```
var time=20;
for (a= 0; a<=Math.PI*2;a+=Math.PI/360){
  time+=5;
  setTimeout(plot_sector,time,a);}
```

*Із результатом роботи JavaScript-сценарію детальніше можна ознайомитися за вказівкою <https://codepen.io/volodimir-kachurwskij/pen/oNjPaXo>.*

Описані Javascript-сценарії є валідними та можуть бути застосовані у HTML документах із прив'язкою до певної події під час формування аналітичних матеріалів.

**Висновки.** Розглянуті питання анімації елементів діаграми для відображення динаміки процесу не вичерпують усіх можливих підходів до розв'язання цієї проблеми. У статті розглянуто процедурний підхід до побудови діаграм. Особливої уваги заслуговує об'єктний підхід до елементів діаграми та відповідного програмування їх анімації.

Також потребують подальшого дослідження анімація звичайного декартового графіка, графіка в полярних та сферичних координатних для візуалізації об'ємних фігур.

#### Список літератури:

1. Canvas API. MDN web docs mozilla. URL: [https://developer.mozilla.org/uk/docs/Web/API/Canvas\\_API](https://developer.mozilla.org/uk/docs/Web/API/Canvas_API) (дата звернення: 11.01.2021)
2. Steve Fulton, Jeff Fulton. HTML5 Canvas. O'Reilly Media, 2011. 654 p.
3. Steve Fulton, Jeff Fulton. HTML5 Canvas: Native Interactivity and Animation for the Web. O'Reilly Media, 2011. 628 p.

4. WindowTimers.setTimeout(). MDN web docs mozilla. <https://developer.mozilla.org/uk/docs/Web/API/WindowTimers/setTimeout> (дата звернення: 11.01.2021)
5. Джош Мариначи. Практика: создание диаграмм. URL: <https://webref.ru/dev/canvasdeepdive/chapter02> (дата звернення: 11.01.2021)
6. Качурівська Г., Качурівський В. Способи відбору даних до Javascript сценарію побудови діаграми. «Інтернет-освіта-наука-2018»: збірник праць одинадцята міжнар. наук-практ. конф. (Вінниця, 22–25 травня 2018 р.). Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 238–240.
7. Качурівський В.О. Побудова адаптивних та динамічних діаграм засобами CANVAS API. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2018. Т. 29 (68) № 2. С. 132–137.

#### **Kachurivskii V.O., Kachurivska H.M. CONSTRUCTION OF ANIMATION DIAGRAMS BY CANVAS API**

*One way to visualize numerical information is to use charts and graphs. Diagrams with the help of geometric figures represent images of numerical data. Graphs show the development of a certain process depending on a certain factor. Any graph or diagram is a graphical representation of a mathematical model. Web technologies have the means to work with graphic information. Along with inserting graphic files into text materials, programmable graphics are increasingly used. Programmable graphics are defined by SVG images and constructions using the <canvas> canvas. Construction of diagrams on a cloth is carried out by means of CANVAS API. A programmable Javascript script builds a chart or graph and creates a static graphic image in the document. Visualizing the dynamics of the process requires the construction of a chart that lasts over time. To do this, use animation of chart or graph elements. Standard CSS transformation and transition tools can be used to create effects on the canvas. They do not reflect the dynamics of the diagram itself. Using animated GIFs is too extensive. Therefore, it is necessary to consider how to conduct animation, charting. One way to animate a chart or graph is to use the setTimeout method, which belongs to the WindowOrWorkerGlobalScope object. This method sets a timer that performs the function once as soon as the set time expires. Dividing the diagram into constituent elements and alternately starting the construction of the diagram element after a certain time will create the dynamics and the corresponding animation of the diagram. The article identifies Javascript-scenarios for dynamic construction of bar and pie charts. The programming of animation effects is described: construction on the element of the diagram, simultaneous construction of all elements.*

**Key words:** chart animation, pie chart, computer graphics, CANVAS API, programmable animation.

**Киричек Г.Г.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Гаркуша В.Ю.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## ВІРТУАЛІЗАЦІЯ ХОСТІВ НА ОСНОВІ PROXMOX VE В УМОВАХ НАДЛИШКОВОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕСУРСІВ

*На даний час Proxmox є вільним програмним забезпеченням, яке використовується під час виконання завдань із віртуалізації на базі QEMU/KVM. Він дозволяє розгортати та керувати віртуальними машинами і контейнерами, включає інструменти вебконсолі та командного рядка і надає API REST для сторонніх інструментів. При цьому підтримуються два типи віртуалізації: на основі контейнерів із LXC і з підтримкою повної віртуалізації з KVM. У роботі реалізовано засіб для проведення досліджень апаратної віртуалізації шляхом використання технологій Intel Hyper-V або AMD-V у процесорі. Метою роботи є проведення аналізу принципів віртуалізації і механізмів розподілення ресурсів у Proxmox VE та його модифікація для оптимізації використання ресурсів сервера системи. Об'єктом дослідження є система віртуалізації хостів на базі Proxmox VE в умовах надлишкового використання ресурсів. Предметом дослідження є моделі, методи, інструментальне та програмне забезпечення для реалізації системи віртуалізації хостів на базі Proxmox VE. Авторами для виконання віртуалізації обрано підхід із використанням QEMU-емулятора шляхом створення віртуальних машин із самостійним ядром. Під час проведення аналізу та задля порівняння обрано такі системи: RedHat OpenStack, Proxmox VE та Kubernetes. Основними завданнями роботи є порівняння та вибір типу віртуалізації; моделювання загальних модулів системи; реалізація алгоритмів та методів її розроблення; вибір методу конфігурації сервера та апаратного складника системи; конфігурування програмного комплексу Proxmox VE та дослідження характеру і динаміки використання ресурсів; аналіз отриманих результатів. Система підтримує конфігурацію високої доступності та систему кворум. Головним елементом архітектури є вузол, який виконує функцію керування та використання віртуальних машин, має підтримку шаблонування і менеджменту пам'яті віртуальних машин. Базовою абстракцією є віртуальна машина, яка має виділене ядро та підтримує власні модулі цього ядра.*

**Ключові слова:** віртуалізація, вузол, віртуальна машина, сервер, програмне забезпечення, ядро.

**Постановка проблеми.** Сьогодні реалізація та підтримка власного датацентру для малого та середнього бізнесу є неефективним. Тому більш раціонально використовувати послуги хмарних провайдерів типу Infrastructure-as-a-Service (IaaS). Для цього необхідно орендувати віртуальну машину, яка своїми можливостями не поступається звичайний сервер, а навіть перевершує його. Саме підхід із запуском великої кількості віртуальних машин на одному потужному сервері зараз є найбільш актуальним [1].

Розрізняють програмну та апаратну віртуалізації, а у апаратній – паравіртуалізацію та повну. Повна, окрім операційних систем (далі – ОС) та програм, підтримує емуляцію апаратних засобів. Паравіртуалізація – запуск ОС без емуляції апаратних засобів та координування з апаратними засобами через хуки до головної системи кінцевого вузла. Для апаратної – необхідно мати спеціальний процесор, який підтримує технології

Intel VT або AMD-V. А програмна означає, що для ОС віртуальної машини не створюється нове ядро ОС, тобто модулі фізичного ядра використовуються у віртуальному. Авторами для дослідження всіх особливостей віртуалізації пропонується спроектувати сервер віртуалізації [2].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У світі інформаційних технологій (далі – ІТ) віртуалізація серверів є перспективною та важливою темою, що потребує виконання низки завдань у цьому напрямі. Сьогодні є деякі методи та способи їх реалізації [3–5]. При цьому кожне окреме програмне забезпечення (далі – ПЗ) зазвичай використовує мінімальну апаратну конфігурацію мережі, кінцевих вузлів, серверу та сховищ даних, які є фізичною платформою під час реалізації хмарного кластера.

RedHat OpenStack є безкоштовною відкритою та хмарною обчислювальною платформою, що поставляється послугою IaaS для клієнтів

у загальнодоступних і приватних хмарах [3]. В основі проекту лежить принцип модульної архітектури. Як приклад модулів розглянуто три обов'язкові модулі Nova, Keystone та Neutron. Nova підтримує створення віртуальних машин, серверів без апаратної частини але має обмежену підтримку системних контейнерів [4]. Neutron – модуль, який забезпечує мережеве підключення «як послугу» між інтерфейсними пристроями, які керуються іншими службами OpenStack та реалізує OpenStack Networking API. Він керує всіма факторними мережами для інфраструктури віртуальних мереж (VNI) та аспектами рівня доступу фізичної мережевої інфраструктури (PNI). При цьому користувачі можуть використовувати програмно-визначені мережеві технології (SDN) для підтримки масштабованості [5]. Keystone є службою, яка забезпечує автентифікацію клієнта API, підключення сервісу та розподілену авторизацію з використанням API Identity OpenStack. Вона може інтегруватися із службами каталогів, які підтримують стандартні облікові дані користувача і паролі. Система розроблена для широкого горизонтального розгортання, є стандартом галузі IaaS, має гнучку систему модулів і можливості для вирішення широкого кола завдань але має такі мінуси, як занадто складна архітектура; високий рівень витрат на обслуговування системи і потребу в мінімальному обсязі пам'яті накопичувача в 50 гігабайтів [3].

Kubernetes є системою масштабування та розгортання контейнерів. Вона призначена для реалізації кластера на платформі хмарних провайдерів або на основі bare-metal серверів [6]. Система використовує абстракцію контейнерів для забезпечення гнучкого використання ресурсів та має розподілену архітектуру. Вона є досить відмовостійкою та універсальною але має труднощі в налаштуванні внутрішньої мережі кластера, контролюванні доступу до кластера (rbac система) та менш ізольовану абстракцію контейнера замість kvm.

Proxmox є вільним програмним забезпеченням, яке використовується під час виконання завдань із віртуалізації на базі QEMU\KVM (дистрибутив на базі Debian із модифікованим ядром Ubuntu LTS) [7]. Він дозволяє розгортати та керувати віртуальними машинами і контейнерами, включає інструменти вебконсолі та командного рядка і надає API REST для сторонніх інструментів. При цьому підтримуються два типи віртуалізації: на основі контейнерів з LXC і з підтримкою повної віртуалізації з KVM [8].

**Постановка завдання.** Метою роботи є проведення аналізу принципів віртуалізації і механізмів розподілення ресурсів у Proxmox VE та його модифікація для оптимізації використання ресурсів сервера системи. Об'єктом дослідження є система віртуалізації хостів на базі Proxmox VE в умовах надлишкового використання ресурсів. Предметом дослідження є моделі, методи, інструментальне та програмне забезпечення реалізації системи віртуалізації хостів на базі Proxmox VE. Під час проведення аналізу та задля порівняння обрано такі системи: RedHat OpenStack, Proxmox VE та Kubernetes. Під час проведення досліджень та реалізації загальних етапів роботи необхідно виконати такі завдання: провести порівняння та вибір типу віртуалізації; здійснити моделювання загальних модулів системи; виконати реалізацію алгоритмів та методів її створення; вибрати методи конфігурації серверу та апаратного складника системи; здійснити конфігурування програмного комплексу Proxmox VE та дослідити характер і динаміку використання ресурсів системи, а також провести аналіз отриманих результатів.

Ця система підтримує конфігурацію високої доступності (High Availability), систему кворуму, шаблонування, менеджмент пам'яті віртуальних машин, Cloud-init, а також вона позбавлена недоліків стосовно керування або особливих потреб в інфраструктурі. Вона встановлюється та запускається як звичайний дистрибутив Linux. Базовою абстракцією є віртуальна машина, яка має виділене ядро та власні модулі ядра. Тобто KVM повністю ізольована від системного ядра ОС (на відміну від контейнерів) (рис. 1). Головний елемент архітектури – вузол (нода), яка виконує функцію керування та використання віртуальних машин [9].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Процес реалізації та конфігурування умовно розділимо на 3 етапи: проектування апаратної частини, конфігурування сервера та програмного забезпечення. До конфігурування сервера належить налаштування RAID масивів, установлення ОС та сервера віртуалізації Proxmox VE. Налаштуванням програмної частини є конфігурація Proxmox VE, створення першої віртуальної машини та на її основі її шаблонів, реалізація і дослідження інших віртуальних машин (рис. 2).

Система віртуалізації проєктована як набір віртуальних машин для різних потреб користувачів, а саме: запуску програмного забезпечення у ізольованому середовищі; управління віртуальними машинами та використання більшої кількості

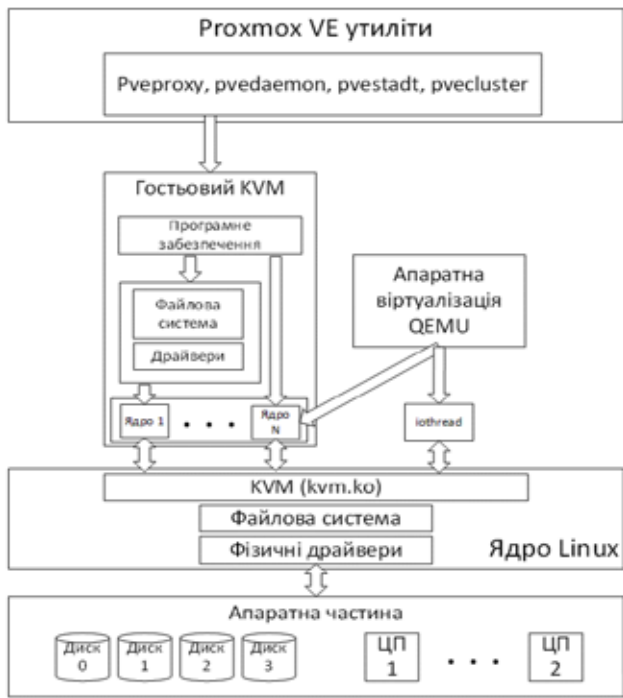


Рис. 1. Модель роботи Proxmox

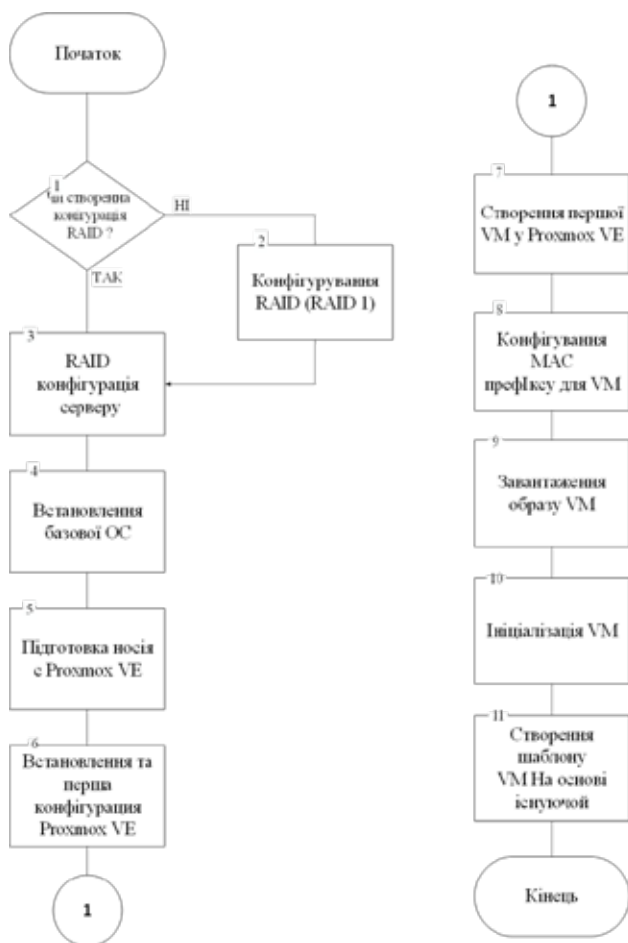


Рис. 2. Алгоритм реалізації системи віртуалізації на основі Proxmox VE

віртуальних машин ніж передбачено фізичними можливостями системи [9].

Апаратний складний системи реалізовано на основі сервера HPE ProLiant DL380 Gen10 8LFF with Universal Media Bay Configure-to-order Server та додаткових фізичних складників: відеокарти MSI GeForce GTX1650 4GB DDR5 OC Low Profile; жорстких дисків SATA 8TB 7200RPM 6GB/S 256MB GOLD WD8004FRYZ WDC та SSD 2.5" Samsung 860 PRO 512GB SATA V-NAND 3D MLC. Сервер використовує 28 ядер CPU, 56 потоків; 96 ГБ оперативної пам'яті (ОП); 512 ГБ SSD та 8 ТБ HDD накопичувачів. Налаштовано 2 RAID масиви типу 1 (SSD та HDD) та встановлено ОС із базовою конфігурацією Ubuntu Server 18.04.

Proxmox VE складається з набору демонів, які створюють віртуальні машини, забезпечують різні дії з боку менеджменту та забезпечують роботу з боку внутрішньої мережі віртуальних машин: rve-cluster – зберігає конфігурації у нормальному стані та забезпечує їх розповсюдження у кластері; pvdaemon – сервер REST API, обслуговує запит від rverproxy, який прослуховує загальнодоступні порти та працює як некореневий користувач; rverproxy – проксі-сервер REST API, прослуховує порт 8006 та працює від “www-data” користувача, пересилає запит на інші вузли (або pvdaemon); pvestadt – демон статусу PVE, запитує стан усіх ресурсів (віртуальних машин, контейнерів та сховища) і надсилає результат усім членам кластера.

Після встановлення виконуємо запуск першої віртуальної машини, конвертацію її у шаблон, конфігуруємо спеціальні MAC префікси та робимо налаштування мосту між мережами віртуальних машин та сервера системи [10,11]. Для налаштування мосту між мережами віртуальних машин та мережею сервера використовуємо файл конфігурації bridge та модулі «PVE::QemuServer», «PVE::Tools qw(run\_command)» та «PVE::Network».

**Дослідження та тестування системи.** Аналіз поведінки системи віртуалізації в умовах надлишкового використання ресурсів проводимо в динаміці використання цих ресурсів під час створення та запуску додаткових віртуальних машин, які реалізовані на основі одного шаблону і повинні використовувати однакову кількість апаратних ресурсів системи. Далі наведено принцип роботи системи моніторингу Proxmox VE (рис. 3).

Після створення віртуальних машин та на основі графіків моніторингу вебінтерфейсу і відповідей із сервера отримані результати використання ресурсів сервера у вигляді графіків залежності кількості ресурсів від фактичної кількості

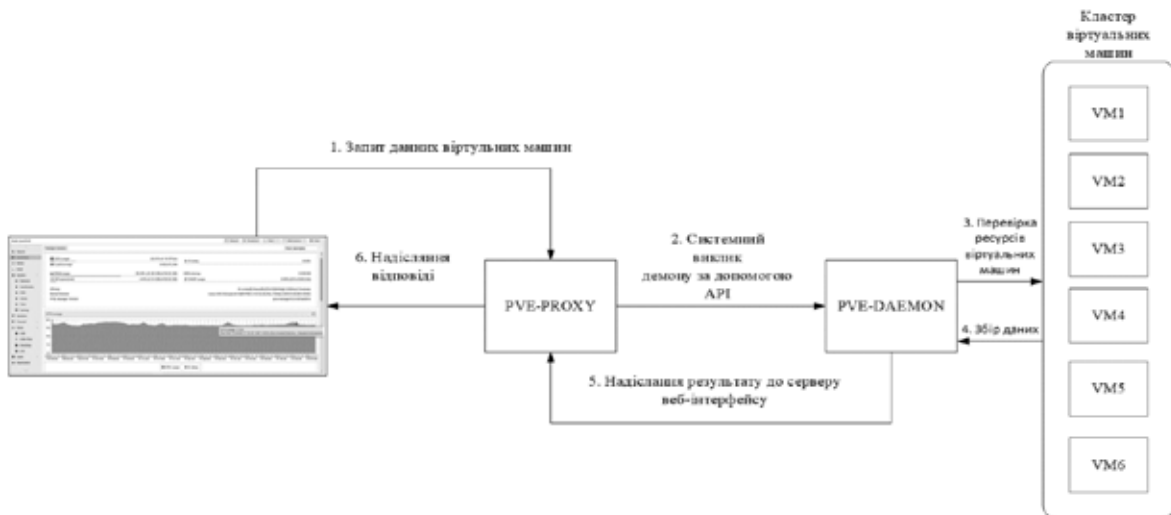


Рис. 3. Схема роботи системи моніторингу

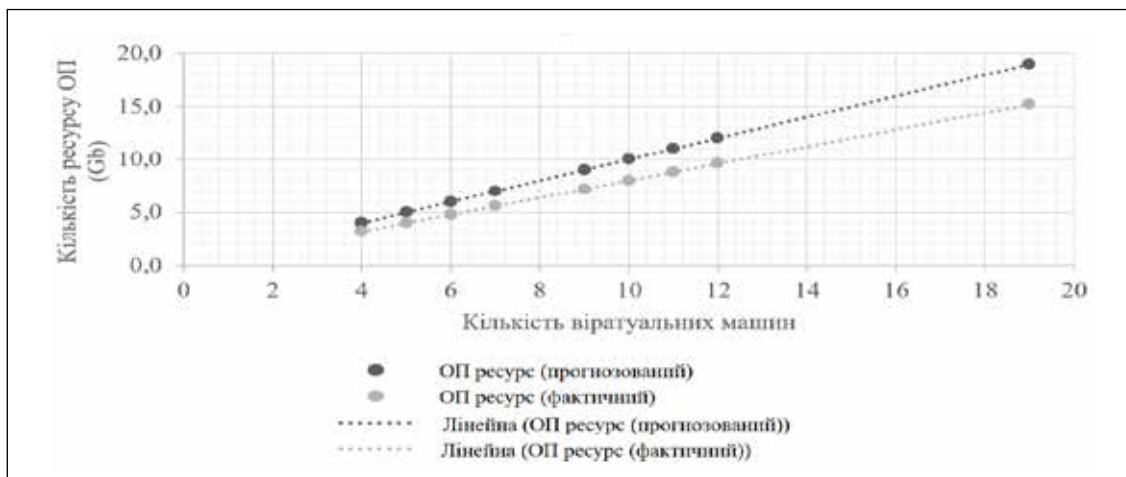


Рис. 4. Залежність кількості віртуальних машин від ресурсу ОП

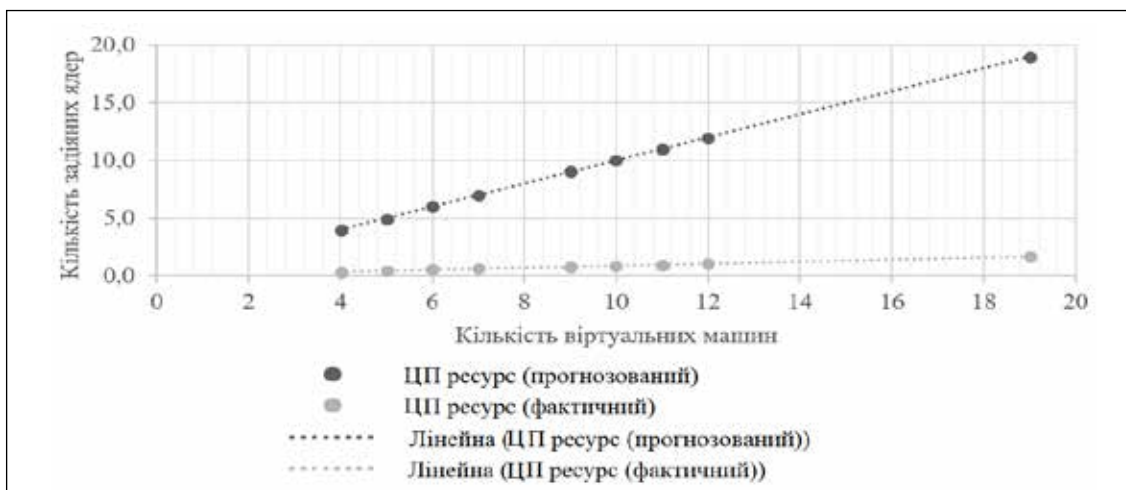


Рис. 5. Залежність кількості віртуальних машин від кількості ядер ЦП

віртуальних машин. На рисунках 4 та 5 показана залежність кількості віртуальних машин від обсягу ресурсу ОП та ядер ЦП.

Проаналізувавши дані системи моніторингу, виявлено, що ресурси ЦП та ОП не є зарезервованими, адже віртуальна машина не використовує

ці ресурси постійно, тому залежність виводимо на основі використання віртуальними машинами ресурсу постійної пам'яті (далі – ПП). Для оптимізації системи реалізуємо додаток, що збирає дані про запущені віртуальні машини та аналізує використання їх ресурсів. Додаток (наведено частково) написаний мовою Python [12] та використовує Proxmox API для аналізу та оптимізації віртуальних машин сервера (рис. 6).

Аналіз даних виконуємо 10 хвилин з інтервалом у 10 секунд. Якщо додаток не виявляє активності віртуальної машини, то виконується її снапшот і

вона архівується (видаляється). За необхідності її можна відновити зі зробленого снапшоту. Під час дослідження кластера на наявність активних та неактивних віртуальних машин знайдено лінійну залежність активності загальної кількості машин та машин, які можна оптимізувати. Під час аналізу активності віртуальних машин виконувалась перевірка задіяння ресурсу ЦП та ОП. Наведено величини ресурсів, за яких віртуальну машину можна вважати неактивною: менше 5% використання ресурсу ЦП та менше 1024 Мб використання ОП. На рисунку 7 наведено те, як викорис-

```
from time import sleep
import datetime
from proxmoxer import ProxmoxAPI
import pprint
import pydash
wait_time = 1
iterations = 5
timeout=10
def init_func():
    prox = ProxmoxAPI("10.1.0.12:8006", user='root@pam',
                    password='rootroot', verify_ssl=False)
    vm_full_dict = {}
    vm_opt_dict = {}
    tmp_dict_avg_load = {
        "vm_avg_disk_load": 0,
        "vm_avg_ram_load": 0,
        "vm_avg_cpu_load": 0    }
    # Verification
    for i in range(iterations):
        try:
            res_list = prox.cluster.resources.get()
            for i in res_list:
                if i["status"] == "running":
                    vm_full_dict = iterator_get(vm_full_dict, i)
            sleep(wait_time)
        except Exception as e:    print(e)
    ...
def vm_check(vm_dick):
    min_cpu = vm_dick["vm_max_disk_load"] * 0.15
    min_ram = 1024 if vm_dick["vm_max_ram_load"] > 1024 else (1024 * 0.3)
    min_disk = 1400
    cpu_state, ram_state, disk_state = False, False, False
    if vm_dick["vm_avg_cpu_load"] < min_cpu:
        disk_state = True
    if vm_dick["vm_avg_ram_load"] < min_ram:
        ram_state = True
    if vm_dick["vm_avg_ram_load"] < min_disk:
        ram_state = True
    if (cpu_state and ram_state) or disk_state:
        return True
    else: return False
init_func()
```

Рис. 6



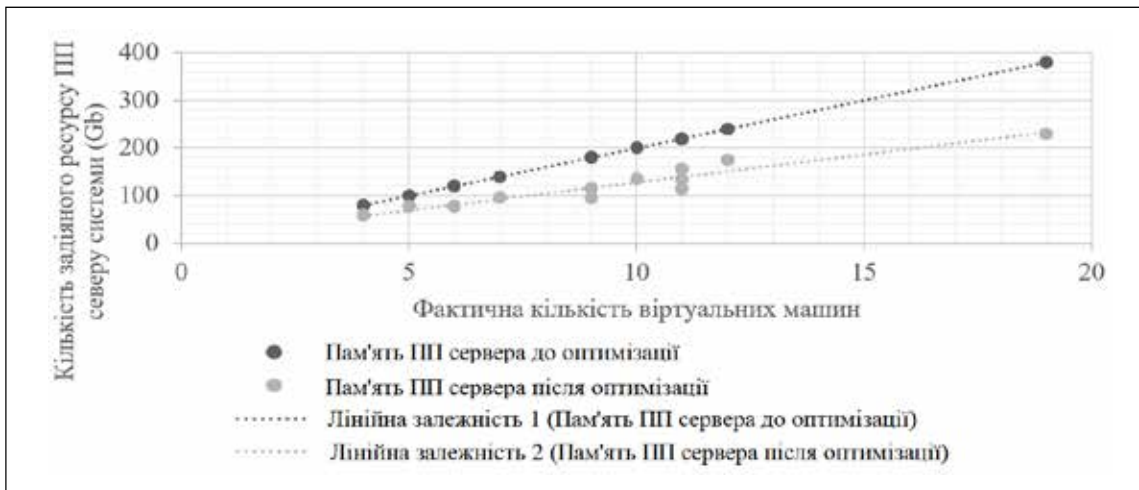


Рис. 7. Залежність ресурсу ПП до та після оптимізації

тання ресурсу ПП позитивно змінюється під час виявлення неактивних віртуальних машин. При цьому після оптимізації резервується 1.36Gb ПП, порівняно з 20Gb за звичайного використання віртуальних машин.

**Висновки.** У роботі реалізовано систему віртуалізації та досліджено розподілення і характер використання ресурсів її сервера. Виявлено, що ресурси ОП та ЦП сервера використовують shared-принцип – активне розподілення ресурсів між віртуальними машинами без їх резервування.

Удосконалено роботу системи шляхом використання постійною пам'яттю принципу створення логічного диску для резервування частини пам'яті сервера та виконано дослідження характеру і динаміки її роботи. Для збільшення ресурсу ПП сервера, віртуальні машини, що не задіяні, архівуються за допомогою реалізованої оптимізаційної утиліти. Під час реалізації шаблону ми визначили, що після оптимізації резервується 1.36Gb ПП, порівняно з 20Gb за умов звичайного використання віртуальних машин.

#### Список літератури:

1. Mohanty H., Bhuyan P., Chenthati D. Big data: A primer. Springer, 2015, vol. 11, 183 p.
2. Holovnia O. Criteria for selecting virtualization software in teaching unix-like operating systems. Information technologies in education, 2015, 24, pp. 119–133.
3. Клементьев И., Устинов В. Технологии виртуализации, Интуит, 2015, URL: <https://intuit.ru/studies/courses/673/529/lecture/11915>.
4. Kumar, R., Parashar, B.B. Dynamic resource allocation and management using OpenStack. Nova 1, 2010, p. 21.
5. Kominos, C. G., Seyvet, N., Vandikas, K. Bare-metal, virtual machines and containers in OpenStack. In ICIN-2017, IEEE, 2017, pp. 36–43.
6. Luksa, M. Kubernetes in action. Island:Manning Publications, 2018, 613 p.
7. Cheng S. Proxmox High Availability. Packt Publishing Ltd, 2014, 258 p.
8. Ahmed W. Mastering Proxmox: Build virtualized environments using the Proxmox VE hypervisor. Packt Publishing Ltd, 2017, 457 p.
9. Chang, B., Tsai, H., Wang, Y., Huang, C. Resilient distributed computing platforms for big data analysis using Spark and Hadoop. In ICASI, 2016, pp. 1–4.
10. Kirichek, G., Kyrychek, D., Hrushko, S., Timenko, A.: Implementation the Protection Method of Data Transmission in Network. In: АТІТ-2019, pp. 29–132.
11. Киричек Г.Г., Гаркуша В.Ю. Процес виявлення зловживань і аномалій в мережі. Наукові праці ДонНТУ. Серія: ІКОТ, 2019, 1–2 (28–29), С. 42–46.
12. Kirichek, G., Tymoshenko, V., Rudkovskiy, O., Hrushko, S.: Decentralized System for Run Services. In: CEUR Workshop Proceedings 2353, 2019, pp. 860–872.

**Kirichek G.G., Harkusha V.Yu. HOSTS VIRTUALIZATION ON BASED PROXMOX VE IN CONDITIONS EXCESSIVE USE OF RESOURCES**

*Currently, Proxmox is a free software that is used to solve virtualization problems based on QEMU \ KVM. It allows you to deploy and manage virtual machines and containers, includes web console and command line tools, and provides a REST API for third-party tools. It supports two types of virtualization: the first – based on containers with LXC and the second – with support for full virtualization with KVM. The work implemented method for research on hardware virtualization using Intel Hyper-V or AMD-V technologies in the processor. The aim of the work is to analyze the principles of virtualization and resource allocation mechanisms in Proxmox VE and its modification to optimize the use of system server resources. The object of the research is the virtualization hosts system based on Proxmox VE in the conditions of excessive using resources. The subject of the research are models, methods, tools and software for the implementation of the virtualization hosts system based on Proxmox VE. The authors, for implementation of virtualization, chose the approach using QEMU emulator, by creating virtual machines with independent core. In carrying out analysis and for comparison, selected systems: RedHat OpenStack, Proxmox VE and Kubernetes. The main objectives of the work are: comparison and choose the type of virtualization; simulation general modules of system; implementation of algorithms and methods for its development; choice of server and hardware component configuration method; configuration software system Proxmox VE and study the nature and dynamics of resource use; analysis of the obtained results. The system supports high availability configuration and quorum system. The main of architecture element is a node that performs the function of managing and using virtual machines, has support template creation and memory management of virtual machines. The basic abstraction is a virtual machine that has a dedicated core and supports its own modules of core.*

**Key words:** virtualization, node, virtual machine, server, software, core.

**Коломосць Г.П.**

Запорізький національний університет

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПЕРЕВІРКИ ДОДАТКІВ ДО ДИПЛОМІВ ПРО ВИЩУ ОСВІТУ

Єдина державна електронна база з питань освіти сьогодні не містить повної інформації, достатньої для автоматизованого створення додатків до дипломів про вищу освіту, тому більшість закладів вищої освіти готують додатки вручну за допомогою текстового редактора у затвердженій Міністерством освіти і науки України формі. У таких обставинах актуальною є автоматизована перевірка додатків до дипломів, зокрема такої їх інформації, як сума ECTS кредитів освітньої програми, середній бал випускника та наявність номерів диплому та додатка, які зазвичай уносяться на останній стадії підготовки додатків.

У статті описуються постановка завдання, підходи та розв'язання проблеми перевірки даних додатків до дипломів про вищу освіту за допомогою програмного забезпечення, розробленого засобами програмування пакета Microsoft Office. Окрім вирішення поставлених функціональних завдань, передбачено елементи управління, що дозволяють користувачу програми змінювати рік серії дипломів у рядку, за яким ведеться пошук абзаців із номерами дипломів та додатків, і, таким чином, використовувати програму під час наступних випусків та повторного виготовлення додатків випускникам минулих років. Під час виконання завдання застосовувались інструменти програмної інженерії, які надає об'єктна модель документа Microsoft Word та мова програмування Visual Basic for Application, включаючи процедури та функції, користувацькі форми та елементи управління контентом, обробники подій, пов'язані з документом та елементами управління контентом.

Розроблене програмне забезпечення продемонструвало свою ефективність під час підготовки додатків до дипломів про вищу освіту для бакалаврів та магістрів Запорізького національного університету у 2020 році. Функціонал програми може бути легко розширений та адаптований до змін форм документів про вищу освіту.

**Ключові слова:** додаток до диплома про вищу освіту, кількість кредитів, середній бал, номер диплома, номер додатка, Visual Basic for Application, процедура, функція, елемент управління контентом, користувацька форма.

**Постановка проблеми.** Підготовка та виготовлення документів про вищу освіту державного зразка відповідно до статті 7 Закону України «Про вищу освіту» [1] покладені на заклади вищої освіти. При цьому використовується інформація випускників, яка зберігається в Єдиній державній електронній базі з питань освіти (далі – ЄДЕБО) [2]. Але наявної в ЄДЕБО інформації (персональних даних випускників, даних про здобуту кваліфікацію (ступінь вищої освіти, назву спеціальності, назву освітньої програми тощо), облікових даних документів про вищу освіту тощо) достатньо тільки для підготовки до друку дипломів про вищу освіту [3]. У попередній версії ЄДЕБО була спроба автоматизувати ведення даних про навчальні плани та успішність здобувачів освіти, але з переходом до поточної версії ЄДЕБО ця функціональність була усунена. Таким чином, для підготовки додатків до дипломів про вищу освіту частина даних експортується з ЄДЕБО, а інша інформація про зміст та результати навчання,

інформація про академічні та професійні права та деякі додаткові дані вноситься іншим способом у додатки до дипломів про вищу освіту, форми яких затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 12.05.2015 р № 525 [4]. Ураховуючи досить велику кількість випускників та різноманітність спеціальностей та освітніх програм, за якими вони навчались, для закладів вищої освіти проблема автоматизації процесу підготовки додатків до дипломів про вищу освіту є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз XML-даних, експортованих із ЄДЕБО, був виконаний автором цієї статті під час розроблення програми підготовки до друку дипломів про вищу освіту [3]. Деякі заклади вищої освіти мають або власні [5] або впроваджені комерційні комплексні інформаційні системи з інтеграцією до ЄДЕБО, у яких реалізована функціональність підготовки до друку додатків до дипломів про вищу освіту, авторіві відомі такі системи, як Education [6] та МКР [7]. Однак у багатьох закладах вищої освіти

підготовка додатків виконується з використанням текстового редактора для створення шаблонів та подальшого їх копіювання та заповнення співробітниками відповідних структурних підрозділів. Тому питання перевірки великої кількості підготовлених вручну додатків до дипломів про вищу освіту залишається актуальним. У цій статті описана програмна реалізація автоматизованої перевірки додатків до дипломів про вищу освіту засобами вбудованої до офісного пакета Microsoft мови програмування Visual Basic for Application (VBA) [8], за допомогою якої можна працювати з об'єктною моделлю документа Microsoft Word та її складниками [9]. Обрання цих засобів обґрунтоване наявністю в широко застосовуваному текстовому редакторі Microsoft Word необхідних для використання програми засобів і легким доступом до об'єктної моделі документів, якими є файли додатків до дипломів про вищу освіту.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення та впровадження програми автоматизованої перевірки сумарної кількості кредитів освітньої програми, середнього балу випускника та наявності номерів диплома та додатка в підготовлених за допомогою текстового редактора Microsoft Word файлах додатків до дипломів про вищу освіту бакалаврів та магістрів. При цьому необхідно передбачити перевірку як декількох файлів з одним додатком, так і одного файлу з декількома додатками. Також було поставлено завдання встановлення користувачем року серії дипломів із метою використання програми під час

наступних випусків, а також для можливого перевипуску додатків випускників минулих років.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Програма організована як документ Microsoft Word із макросами (.docm), який містить процедури, функції, форму та елементи управління, що реалізують завдання розроблення. У цьому документі викладено інструкції з роботи з програмою та розміщено кнопки запуску відповідних перевірок (рис. 1).

Блок-схема програми наведена на рис. 2. Макроси обробки натискань на кнопки запуску програми передають цілочисельний ідентифікатор, призначений кожній із кнопок, до процедури OpenDocs, яка виконує по чергове відкриття усіх файлів із розширенням \*.doc? у поточному каталозі, де розміщується файл із програмою (таким чином, додатки можуть створюватись у файлах як старого (\*.doc), так і нового (\*.docx) форматів). Для уникнення обробки файлу з програмою (з розширенням.docm, яке також збігається із символами підстановки), у процедурі OpenDocs виконується перевірка наявності в другому параграфі документа рядка "Diploma Supplement". Оскільки такі перевірки в програмі трапляються не раз, то було розроблено функцію CheckParagraph, яка приймає як параметри посилання на документ, що обробляється, номер параграфа документа, що підлягає перевірці, та рядок, із яким повинен збігатись початок параграфа, який перевіряється, щоб функція повертала true (рис. 2).

Для дійсних додатків до дипломів за першим параграфом за допомогою функції

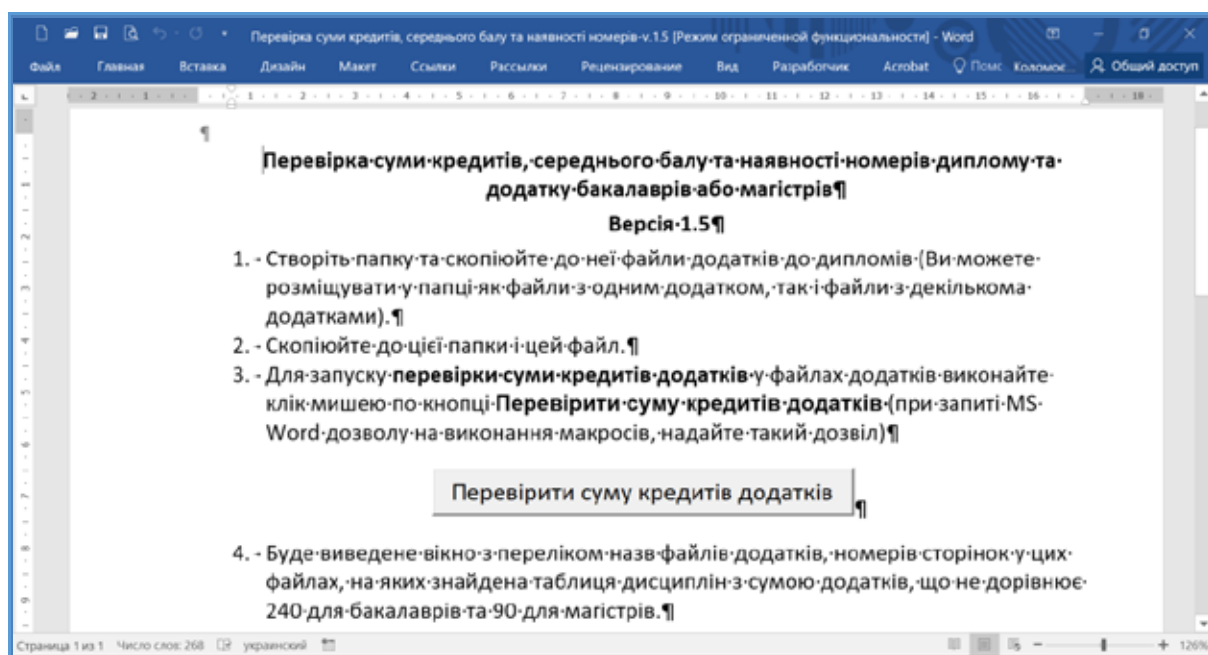


Рис. 1. Файл документа Microsoft Word із макросами, що реалізують функціонал програми

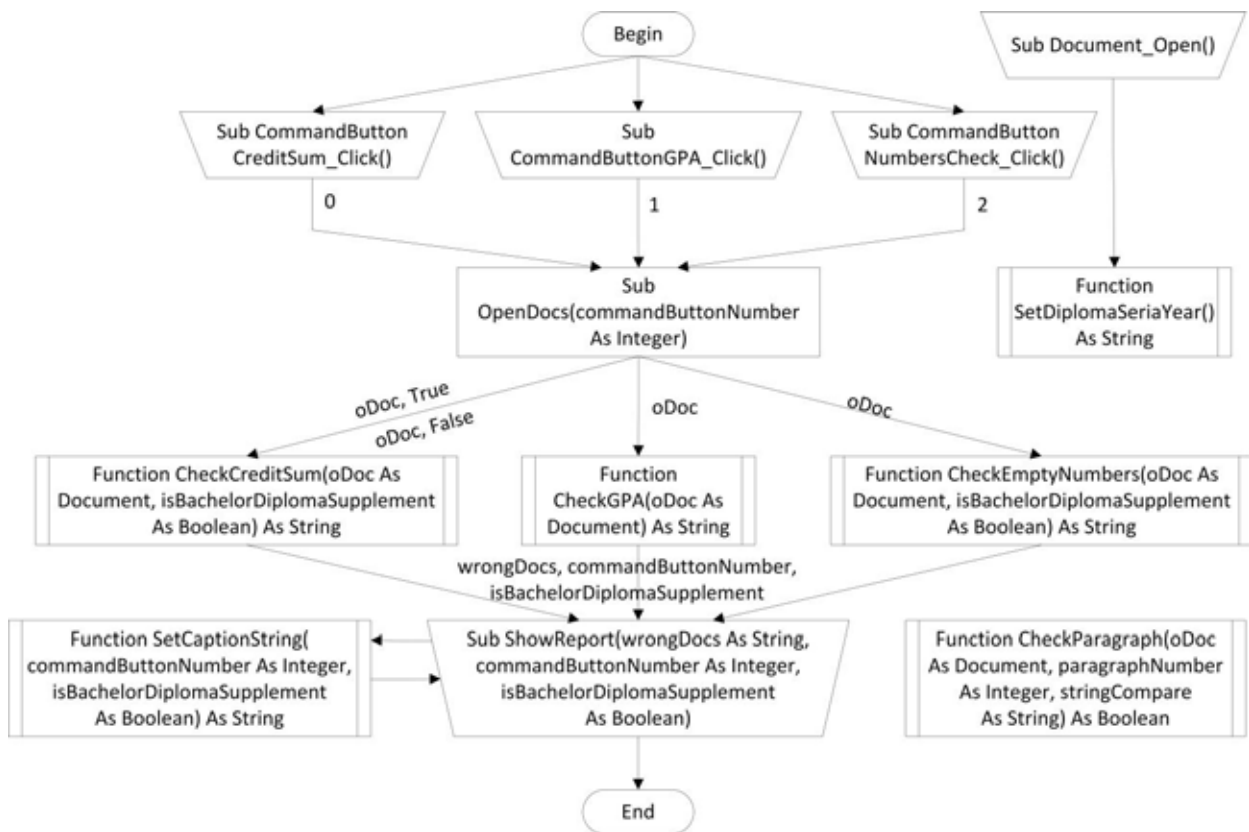


Рис. 2. Блок-схема програми

CheckParagraph визначається, чи є цей додаток додатком до диплома бакалавра або додатком до диплома магістра. Ця інформація використовується функцією CheckCreditSum, яка підраховує суму ECTS кредитів освітньої програми та порівнює їх із 240 кредитами для бакалаврів або з 90 кредитами для магістрів, функцією CheckEmptyNumbers, що виконує перевірку наявності номерів дипломів та додатків за шаблонами параграфів, які містять літеру «В» або «М» (з цих літер починаються серії номерів дипломів бакалаврів або магістрів відповідно) та функцією ShowReport і її допоміжною функцією SetCaptionString, які виводять результати обробки документів у користувацьку форму. Слід зауважити, що використання функції MsgBox було відхилене внаслідок обмеження на обсяг тексту в 1024 символи [8]. Тому було розроблено користувацьку форму, яка містить компонент TextBox із визначеною властивістю ScrollBars, що забезпечує вертикальну прокрутку, та кнопку закриття форми (рис. 3).

Функції, які реалізують вимоги до програми (CheckCreditSum, CheckGPA та CheckEmptyNumbers) повертають рядок, що містить опис відповідних помилок із зазначенням назви документа, сторінки з помилкою та типу помилки (рис. 4).

Функція перевірки суми кредитів CheckCreditSum і функція перевірки середнього балу випускника CheckGPA працюють із моделлю документа, виконуючи пошук інформації тільки в його таблицях. Ураховуючи те, що кількість таблиць у документі суттєво менша за кількість параграфів, цим досягається ефективність програми. Визначення необхідної для підрахунку кількості кредитів (а також обчислення середнього бала) таблиці виконується за наявності в другому стовпчику першого рядка таблиці рядка “Course title” (рис. 5).

Певні рішення були реалізовані для перетворення кількості кредитів та балів, що містяться в документі в текстовій формі, у числа, які можна обраховувати. По-перше, вміст комірки з числом потрібно було «обрізати» так, щоб відкинути два останні символи кінця параграфу. По-друге, необхідно передбачити заміну крапки як роздільника цілої та дробової частини числа на кому, що потрібно для обчислень із використанням актуальної локалі.

Також потрібно було визначити сторінку з помилкою. Це виконувалось виділенням таблиці та опитуванням властивості Information виділеної області. На рис. 6 наведено фрагмент коду функції CheckCreditSum з описаними вище рішеннями.

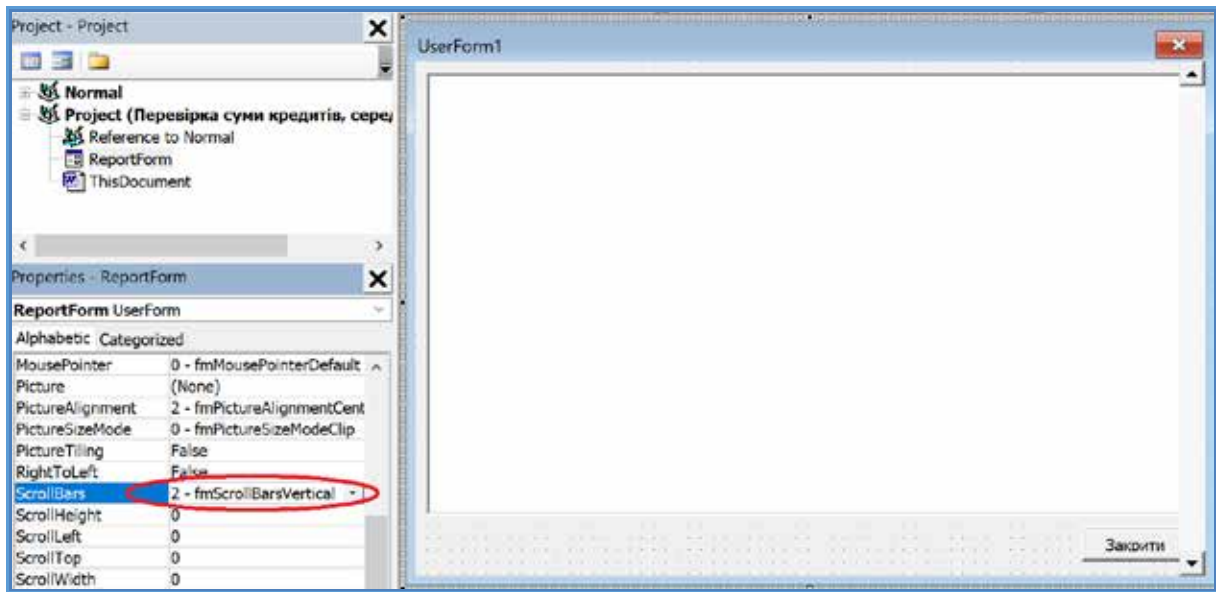


Рис. 3. Користувацька форма для виведення результату перевірки

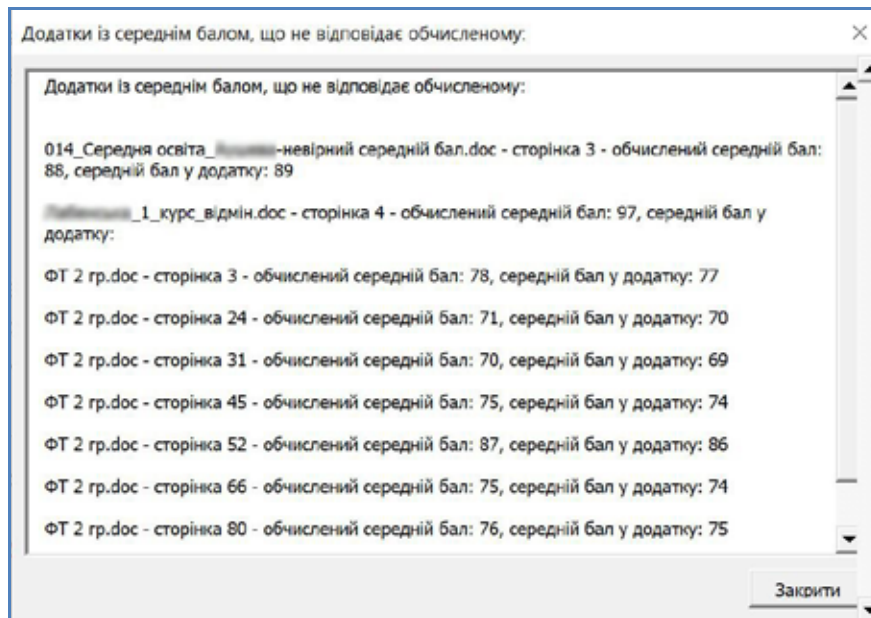


Рис. 4. Користувацька форма з прикладом результату перевірки

У функції CheckGPA під час визначення середнього бала випускника (*Grade Point Average*) використовувалась функція VBA Format для округлення розрахованого середнього балу до цілих [8].

Функція перевірки наявності номерів дипломів та додатків CheckEmptyNumbers використовує регулярні вирази (*RegExp*) для перевірки формату номерів: номер диплома складається з шести цифр, які йдуть поспіль після серії та символу «№», яка починається з літери «В» для дипломів бакалаврів або «М» для дипломів магістрів, а номер додатка – із семи цифр, які йдуть поспіль після символу «№» (рис. 7).

Для роботи з регулярними виразами використовувалась бібліотека “Microsoft VBScript Regular Expressions 5.5”, яка підключалась до редактора VBA стандартним способом [10]. Ураховуючи можливість розміщення декількох додатків до дипломів в одному документі Microsoft Word, було ухвалено рішення використовувати пошук у документі збігів із текстовим шаблоном замість прив’язування до номерів параграфів (були випадки, коли у кінці додатка розміщувався зайвий символ абзаца). Для цього використовувався об’єкт Range об’єктної моделі Microsoft Word, який має властивість Find, що дозволяє задавати

4.3. Дітальні відомості про освітні компоненти та результати навчання за кожним з них (за необхідності), кредити Європейської кредитної трансферно-накопичувальної системи, оцінки, рейтинги, бали

Detailed information about the educational components and the learning outcomes, including European Credit Transfer and Accumulation System credits, grades, rating points, scores

Номер за порядком або код Course unit code	Назва дисципліни Course titles	Кредити ЄКТС ECTS credits	Бали Marks	Оцінка за національною шкалою National grade	Рейтинг ЄКТС ECTS grade
1	Інноваційні технології навчання фізики Innovative Technologies of Physics Teaching	3	90	Зараховано Passed	A
2	Інноваційні технології навчання хімії Innovative Technologies of Chemistry Teaching	3	90	Зараховано Passed	A
3	Критичний аналіз навчально-методичної літератури Critical Analysis of Learning and Methodical Literature	4	90	Зараховано Passed	A
4	Курс біології у старшій школі Biology Course in High School	3	90	Відмінно Excellent	A
5	Курс фізики у старшій школі Physics Course in High School	3	91	Відмінно Excellent	A
6	Курс хімії у старшій школі Chemistry Course in High School	3	90	Відмінно Excellent	A
7	Методика навчання природничих наук Methods of Natural Sciences Teaching	6	97	Відмінно Excellent	A

Рис. 5. Таблиця додатку з кількістю кредитів та оцінками дисциплін

```

rowCount = currentTable.Rows.Count
CreditSum = 0
For i = 1 To rowCount - 2
    cellContent = currentTable.Cell(i, 3)
    cellValue = Trim(Left(cellContent, Len(cellContent) - 2))
    'If decimal separator is dot (.) replace it by comma (,)
    If InStr(cellValue, ".") > 0 Then
        cellValue = Replace(cellValue, ".", ",")
        currentTable.Cell(i, 3).Range = cellValue
    End If
    isNumber = IsNumeric(cellValue)
    'Summation only numbers
    If isNumber Then
        CreditSum = CreditSum + cellValue
    End If
Next i

If (isBachelorDiplomaSupplement And CreditSum <> 240) _
    Or (Not isBachelorDiplomaSupplement And CreditSum <> 90) Then
    currentTable.Select
    currentPageNumber = Selection.Information(wdActiveEndPageNumber)
    CheckCreditSum = CheckCreditSum & vbCrLf & oDoc.Name & " - сторінка " _
        & currentPageNumber & " - сума кредитів: " & Str(CreditSum)
End If
    
```

Рис. 6. Фрагмент коду функції перевірки суми кредитів

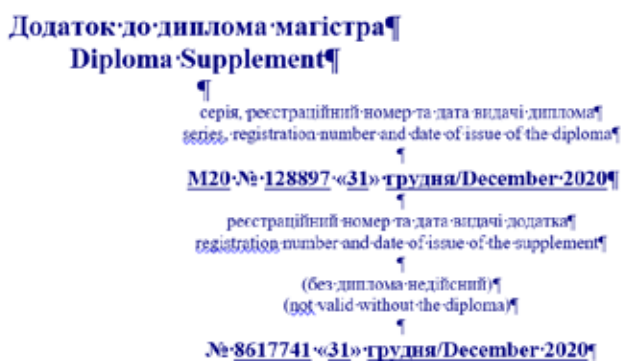


Рис. 7. Заголовок додатка до диплома

критерії пошуку [8]. На рис. 8 наведено фрагмент коду функції CheckEmptyNumbers, що демонструє організацію пошуку текстових шаблонів.

Для першого збігу з тестовим шаблоном виконується пошук позиції курсора для останнього

символу збігу та визначається номер параграфу для цієї позиції (також визначається номер сторінки, яка буде зазначатись у разі, якщо номерів не буде або вони не відповідатимуть регулярному виразу). Після визначення параграфу, що містить номер диплому, та параграфу, що містить номер додатку, виконується їх перевірка на відповідність регулярним виразами і, у разі невідповідності, формується рядок для повідомлення про помилку.

Процедура ShowReport викликає функцію SetCaptionString, що формує заголовок у вікні з результатами перевірки залежно від обраної функції програми (натиснутої кнопки) та типу диплома (бакалавр або магістр). Після чого у процедурі організовується відображення користувачької форми з результатами перевірки.

Для можливості використання програми користувачами у подальших роках було перед-

```

Set rng = oDoc.Content
With rng.Find
    If isBachelorDiplomaSupplement Then
        .Text = "B" & diplomaYear & " №"
    Else
        .Text = "M" & diplomaYear & " №"
    End If
    .Forward = True
    Do While .Execute
        countCheck = countCheck + 1
        curPos = rng.Words(1).End
        Set rParagraphs = oDoc.Range(Start:=0, End:=curPos)
        paragraphNumber = rParagraphs.Paragraphs.Count
        pageNumber = rng.Information(wdActiveEndPageNumber)

        diplomaNumberParagraph = oDoc.Paragraphs(paragraphNumber).Range.Text
        supplementNumberParagraph = oDoc.Paragraphs(paragraphNumber + 8).Range.Text
        isMatch = regexpDiploma.Test(diplomaNumberParagraph)
        If Not isMatch Then
            CheckEmptyNumbers = CheckEmptyNumbers & vbCrLf & oDoc.Name &
                " не містить номеру диплому на " & pageNumber & " сторінці" & vbCrLf
        End If
        isMatch = regexpSupplement.Test(supplementNumberParagraph)
        If Not isMatch Then
            CheckEmptyNumbers = CheckEmptyNumbers & vbCrLf & oDoc.Name &
                " не містить номеру додатку на " & pageNumber & " сторінці" & vbCrLf
        End If
    Loop
    If countCheck = 0 Then
        If isBachelorDiplomaSupplement Then
            CheckEmptyNumbers = oDoc.Name & " не містить серію B" & diplomaYear & " №" & vbCrLf
        Else
            CheckEmptyNumbers = oDoc.Name & " не містить серію M" & diplomaYear & " №" & vbCrLf
        End If
    End If
End With

```

Рис. 8. Пошук текстових шаблонів та перевірка номерів

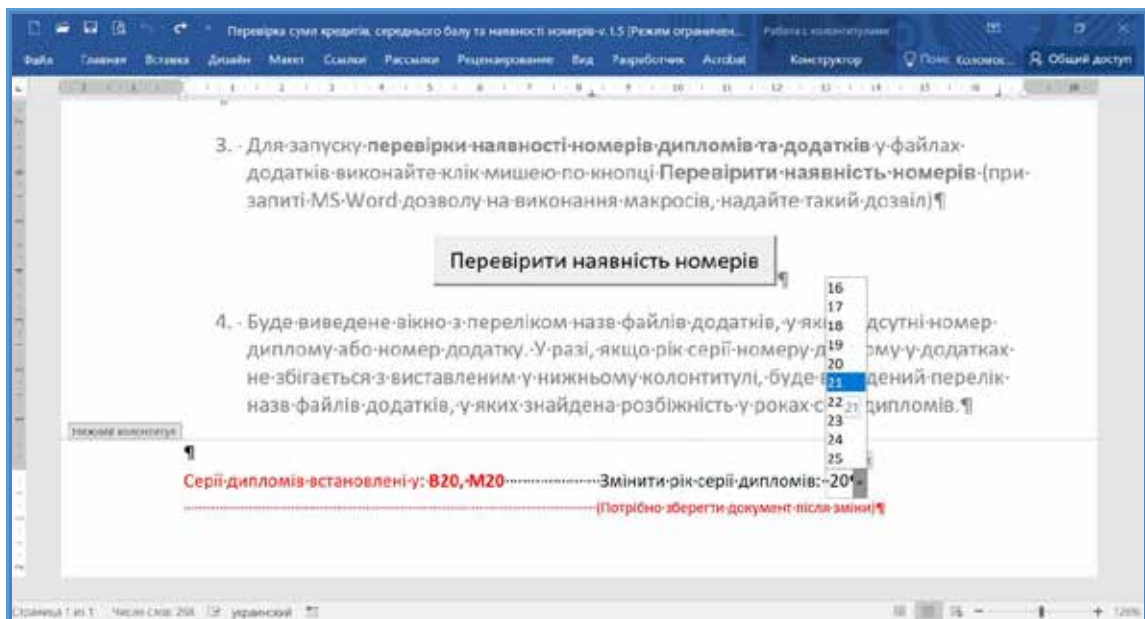


Рис. 9. Установлення року серії диплома у рядок, за яким ведеться пошук

бачене розміщення у нижньому колонтитулі елементів управління, які дозволяють користувачу змінювати рік серії диплома в рядку, за яким виконується перевірка наявності номерів у додатках (рис. 9).

Розміщення елементів управління в колонтитулі мало за мету запобігти ненавмисним змінам року серії диплома. Також було відкинуто часто

живану практику розміщення елементів управління у додатковій користувацькій формі, оскільки таке використання для двох елементів управління, на думку автора, є надмірним. Тому як елементи управління були обрані елементи управління контентом Microsoft Word (*Content Controls*) [11] – випадний список із роками серії дипломів та текстове поле, у якому виводиться поточний вигляд



```

'Set the Diplomas Seria Year from dropdown list in footer
Function SetDiplomaSeriaYear() As String

    Dim oCC As ContentControl
    Dim OCCEnter As ContentControlListEntry
    Dim i As Integer

    Set oCC = ActiveDocument.Sections(1).Footers(wdHeaderFooterPrimary).Range. _
        ContentControls.Item(2)
    If oCC.Type = wdContentControlDropDownList Then
        With oCC
            For i = 1 To .DropDownListEntries.Count
                If .DropDownListEntries(i).Text = .Range.Text Then
                    SetDiplomaSeriaYear = .DropDownListEntries(i).Value
                    Exit For
                End If
            Next
        End With
    Else
        MsgBox "DropDownList not found."
    End If
End Function

```

Рис. 10. Функція зчитування року серії дипломів зі списку в нижньому колонтитулі

серії дипломів. Для роботи з елементами управління контентом було використано обробник події `Document_ContentControlOnExit`, у якому виконувалося зчитування виставленого року серії дипломів із випадного списку та формування поточного вигляду серії дипломів у текстовому полі, а також обробник події завантаження документа з програмою `Document_Open`, у якому виконувалося зчитування виставленого року серії дипломів із випадного списку. Оскільки зчитування зі списку використовувалося двічі, воно було оформлене у функцію `SetDiplomaSeriaYear` (рис. 10).

**Висновки.** Безумовно, найкращим рішенням для автоматизації виготовлення додатків до дипломів про вищу освіту було б використання для цієї цілі ЄДЕБО, як це робиться для виготовлення дипломів про вищу освіту. Але це потребує ведення та підтримки в актуальному стані досить великого обсягу інформації для кожного здобувача вищої освіти, включаючи інформацію про вивчені ним дисципліни, отримані під час їх складання оцінки, назву дипломної роботи тощо. Тому цю функцію виконують інтегровані з ЄДЕБО автоматизовані системи управління

навчальним процесом, що є комерційними або розробленими власними силами закладів вищої освіти. На жаль, це рішення пов'язане з досить суттєвими матеріальними затратами у будь-якому випадку, а також системи відрізняються кожна своєю архітектурою, функціоналом та засобами реалізації [5–7]. Також проблемою є оперативність оновлення рішень під час оновлення нормативної бази. Так, сьогодні відомо, що з 01.01.2021 р. форми документів про вищу освіту та додатків до них будуть змінені [12], зараз очікується наказ Міністерства освіти і науки України, який їх затвердить. Вочевидь, відповідні зміни в інформаційних системах потребують досить значного обсягу часу та матеріальних ресурсів, натомість адаптація програми перевірки даних додатків у будь-якому разі може буде виконана дуже швидко.

Програма перевірки додатків до дипломів про вищу освіту була апробована в Запорізькому національному університеті під час випуску бакалаврів улітку 2020 р (приблизно 2 100 осіб) та магістрів узимку 2020 р (приблизно 1 800 осіб) і довела свою ефективність.

#### Список літератури:

1. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 р № 1556–VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (дата звернення: 04.01.2021).
2. Єдина державна електронна база з питань освіти. Офіційний сайт. URL: <https://info.edbo.gov.ua> (дата звернення: 04.01.2021).
3. Коломоець Г.П. Програма підготовки до друку дипломів про вищу освіту за даними ЄДЕБО із використанням сучасних технологій Java. *Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво»*, Луцьк, 2018, Вип. № 30–31. С. 57–65.
4. Про затвердження форм документів про вищу освіту (наукові ступені) державного зразка та додатків до них, зразка академічної довідки : наказ Міністерства освіти і науки України від 12.05.2015 р. № 525. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0551-15#Text> (дата звернення: 04.01.2021).

5. Голошук Р. Організація інформаційно-виробничого процесу виготовлення документів про вищу освіту державного зразка у видавництві Львівської політехніки. *Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі* : матеріали ІХ наук.-практ. конф. Львів, 2017. С. 146–151.

6. Інформаційно-виробнича система «Освіта». Офіційний сайт. URL: <https://osvita.net/ua> (дата звернення: 04.01.2021).

7. Автоматизированная система управления учебным заведением. Официальный сайт. URL: <http://mkr.org.ua> (дата звернення: 04.01.2021).

8. Language reference for Visual Basic for Applications (VBA). URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/office/vba/api/overview/language-reference> (дата звернення: 04.01.2021).

9. Михеев Р.Н. VBA и программирование в MS Office для пользователей. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. 384 с.

10. VBA Regex. Сайт Automate Excel. URL: <https://www.automateexcel.com/vba/regex> (дата звернення: 04.01.2021).

11. Content Controls. The Anchorage – Personal website of Gregory K. Maxey. URL: [https://gregmaxey.com/word\\_tip\\_pages/content\\_controls.html](https://gregmaxey.com/word_tip_pages/content_controls.html) (дата звернення: 04.01.2021).

12. Про документи про вищу освіту (наукові ступені) : постанова Кабінету Міністрів України від 09.09.2020 р № 811. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/811-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 04.01.2021).

### **Kolomoiets H.P. AUTOMATION OF HIGHER EDUCATION DIPLOMAS SUPPLEMENTS VERIFICATION**

*The Unified State Electronic Database on Education (USEDE) does not contain complete information sufficient for the automated creation of supplements to higher education diplomas, so most higher education institutions prepare diploma supplements manually by text processor in a form approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine. In such circumstances, automated verification of diploma supplements is relevant, in particular the information about the amount of the educational program ECTS credits, the graduate grade point average and the diploma and supplement numbers presence, and we usually enter these numbers at the last stage of the diploma supplements preparation.*

*The paper describes the task, approaches and solutions to the problem of higher education diplomas supplements verification using software developed by Microsoft Office programming tools. In addition to solving the set functional tasks, there are controls that allow the software user to change the diploma series year in the line searched for paragraphs with diploma and supplement numbers, and thus use the software for subsequent graduations and re-production of former graduates' supplements. We used software engineering tools provided by the Microsoft Word document model and the Visual Basic for Application programming language, including procedures and functions, user forms and content controls, event handlers related to the document, and content controls.*

*The developed software has demonstrated its effectiveness while preparing of higher education diploma supplements for bachelors and masters of Zaporizhzhia National University in 2020. It is possible to easily expand and adapt the functionality of the program to changes in the forms of documents on higher education.*

**Key words:** *higher education diploma supplement, number of credits, grade point average, diploma number, supplement number, Visual Basic for Application, procedure, function, content control, user form.*

**Кравець А.М.**

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

**Сімоненко В.П.**

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

## МЕТОД ЗНАХОДЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ ПАМ'ЯТОК НА ЗОБРАЖЕННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

У статті описано метод знаходження визначних місць та історичних пам'яток на зображенні в системі для проведення екскурсій у віртуальній та доповненій реальності. Зважаючи на стрімкий розвиток та впровадження нейромереж і машинного навчання, людство отримало змогу залучити певні системи штучного інтелекту для виконання практичних завдань, проте далеко не всі завдання було охоплено. Система надає користувачеві вебресурс, який може бути використаний для проведення екскурсій у віртуальній та доповненій реальності за попередньо складеним сценарієм. Екскурсії поділені на точки, кожна з яких демонструє користувачу доповнену або віртуальну реальність. Задля покращення наявної системи було ухвалено рішення додати функцію розпізнавання визначних місць природи та архітектури для точки, де використовується доповнена реальність. Для вирішення цього завдання розглянуто наявні рішення у сфері технологій комп'ютерного зору. Використання технологій комп'ютерного зору для вирішення цього завдання є виправданим із точки зору надійності та швидкодії. Однак завдання розпізнавання пам'яток не є тривіальним та потребує більшої уваги, ніж просто розпізнавання об'єкта якогось класу (людина, предмет, природа тощо). Вона потребує не лише виокремлення об'єкта в деякий клас, а і визначення того, чи є цей об'єкт пам'яткою архітектури, чи це просто будівля, чи взагалі на зображенні наявна пам'ятка. Цей напрям у технології комп'ютерного зору є порівняно новим та, безперечно, цікавим і важливим для навчальних, наукових та розважальних цілей. Метою розроблення є покращення наявних рішень у форматі вебресурсу. Для досягнення кращих результатів було оцінено рішення та методи з точки зору можливості їх використання у вебдодатку. Виявлено недоліки та шляхи вдосконалення. Запропоновано підхід, який дає високу точність визначення пам'яток. Цей підхід може бути використаний у системі для проведення екскурсій у віртуальній та доповненій реальності. Актуальність проблеми підкріплюється необхідністю вдосконалення наявних програмних рішень та підходів до розпізнавання об'єктів за допомогою комп'ютерного зору.

**Ключові слова:** комп'ютерний зір, машинне навчання, згорткова нейронна мережа, доповнена реальність, пам'ятки архітектури.

**Постановка проблеми.** Розпізнавання визначних місць за допомогою комп'ютерного зору відрізняється від інших проблем розпізнавання зображень щонайменше за трьома характеристиками:

1) проблема розпізнавання на рівні екземпляру, а не категорії: замість визначення загальних об'єктів, таких як будівлі чи природа, метою є визначення конкретних історичних пам'яток або природних заповідників, таких як Біг-Бен чи Великий каньйон;

2) кількість різних сутностей набагато більше, ніж у класичних завданнях розпізнавання зображень [1]; деякі пам'ятки архітектури не мають достатньо фотографій;

3) історичні пам'ятки – це статичні об'єкти, які рідко змінюються. Варіації в їх зображеннях виникають унаслідок умов зйомки, таких як експозиція або оглядова площа. Це є відмінною рисою від загального розпізнавання зображень, коли предмети (люди, тварини, будівлі тощо) мають багато варіантів розташування та зовнішності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виявлення зображень із відомими спорудами та розпізнавання історичних надбань людства – основні теми досліджень, які проводились десятиліттями у сфері технологій комп'ютерного зору. Загальне завдання пошуку зображень полягає в ранжуванні зображень у деякий словник (так званий індекс) та встановлення відповідності щодо запиту.

Завдання розпізнавання визначних місць та споруд полягає у визначенні конкретного екземпляра класу об'єктів (наприклад екземпляр «Мона Ліза» з класу об'єкта «живопис») [2]. Оскільки методи для виконання обох завдань розвиваються і дотепер, у результаті підходи стали більш надійними та масштабованими, що дозволяє використовувати навіть маловідомі набори даних. Більше того, хоча масштаби класифікаційних наборів даних, таких як ImageNet, COCO і OpenImages (які вже зарекомендували себе як еталон), зростають із кожним днем, отримання достовірних результатів можливе і на малих датасетах. Наприклад, оригінальний Oxford5k та датасет Paris6k, випущені у 2007 р. та 2008 р. відповідно, мають лише 55 зображень у кожному класі, але сьогодні все ще широко використовуються. Це пов'язано з тим, що обидва набори даних містять лише зображення з одного міста, тому результати можна не узагальнювати для масштабованих налаштувань.

Google вже дозволяє розпізнавання пам'яток у мобільних телефонах за допомогою API Firebase ML-kit, який пропонує спеціальну функцію ідентифікації пам'ятки. Цей спосіб розпізнавання вимагає від користувача підключення до мережі інтернет та встановлення спеціального додатка, що є недоліком та обмеженням певних груп користувачів.

Інші компанії, такі як Vlipar, також розробляють реальні програми розпізнавання об'єктів, які включають розпізнавання відомих об'єктів. Ці програми доступні для користувачів Android та iOS (рис. 1).

Перші спроби Google розпізнати відомі споруди датуються 2009 р., коли була розроблена система розпізнавання пам'яток, яка вважається

точною на 80%. Сьогодні системи здатні розпізнавати зображення з вищою точністю.

**Постановка завдання.** Метою роботи є отримання більш сучасного та покращеного методу розпізнавання об'єктів на зображенні та його впровадження. Для досягнення цієї мети було поставлено такі основні завдання: дослідження наявних алгоритмів та методів комп'ютерного зору і розпізнавання образів пам'яток, аналіз їх сильних та слабких сторін, розроблення способу інтеграції компонентів для розпізнавання образів, пошук та постачання контекстно-релевантної інформації, розроблення складного програмного продукту, який поєднує цей функціонал та розширює його.

Завдання цієї роботи є розроблення більш продуктивного та оптимізованого методу розпізнавання зображень, проектування та розроблення прототипу з використанням розробленого підходу з технологіями машинного навчання та віртуальної й доповненої реальності з подальшою інтеграцією цього функціоналу з навчальними цілями.

Предметом дослідження є покращення наявних характеристик нейронних мереж для роботи у сфері розпізнавання об'єктів, що спрощує сприйняття нової інформації під час екскурсії, аналогів якого в широкому доступі знайдено не було.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для досягнення мети розроблення було спроектовано вдосконалений метод розпізнавання об'єктів на зображенні. Як і більшість методів пошуку зображень, цей метод заснований на глибокій згортковій нейронній мережі (далі – ЗНМ) [3]. Для отримання результату використовується прототипний підхід, де всі класи характеризуються відповідними центроїдами. Цей тип метричного навчання поєднує швидкість і точність для широ-



Рис. 1. Додаток Vlipar для iOS

комасштабного завдання розпізнавання. Далі описується архітектура мережі, функція втрат, методологія навчання та аспекти ухвалення рішень.

Нещодавні успіхи в розвитку технології комп'ютерного зору та пошуку зображень тісно пов'язані зі згортковими нейронними мережами [4]. Еталонна ЗМН складається з трьох частин: згорткової мережі, агрегувального шару та повноз'язного шару (рис. 2).

Насамперед слід було обрати оптимальну архітектуру мережі. Для того, щоб отримати ЗМН, придатну для навчання моделі розпізнавання пам'яток, було використано тонке налаштування, як дуже ефективна техніка в різних сферах застосування комп'ютерного зору. Ця архітектура мережі продемонструвала компроміс між якістю та часом виведення [5].

По-друге, був доданий шар вбудовування в магістраль ЗМН. Потім були вирізані останні повноз'єднані шари після середнього агрегувального шару мережі, а замість них додано один повноз'єднаний шар та нормалізацію.

Розмір шару вбудовування є важливим параметром. Після серії експериментів із даними, 512 був обраний оптимальним. Зазвичай цей параметр визначається емпіричним шляхом [6]. Третім компонентом ЗМН є класифікаційний повноз'єднаний шар. Для перевірки вивченої ЗМН використано карти активації класів, отримані за найбільшим значенням активацій із вбудованого шару. карти активації класів є одним із найпоширеніший методів визначення класу образу на зображенні. Таким чином, ЗМН виділяє частини зображень із правильним зображенням.

Конвеєр розпізнавання образів під час логічної оцінки використовує центроїди, що описують

кожен клас образу. Щоб максимізувати ефективність цього підходу, довелося навчити мережу так, щоб члени кожного класу були якомога ближче до якогось елемента, який називається «центр» (або «центроїд») [7].

Були проведені експерименти з кількома придатними функціями втрат: контрастними втратами, втратами від Arcface та Center loss. Найкращі результати тестів були досягнуті емпіричним шляхом за допомогою Center loss, який одночасно навчає центр для вбудовувань кожного класу й оцінює відстань між вбудованими зображеннями та відповідними центрами класів (рис. 3). Важливою перевагою функції втрати Center loss є те, що це просте додавання до втрати Softmax, і, на відміну від контрастної втрати або втрати триплетом, немає необхідності відбирати негативні пари, що може бути досить складним завданням [8].

Важливою особливістю розпізнавання історичних пам'яток є те, що фотографії запитів можуть взагалі не містити їх, тому функція втрат повинна

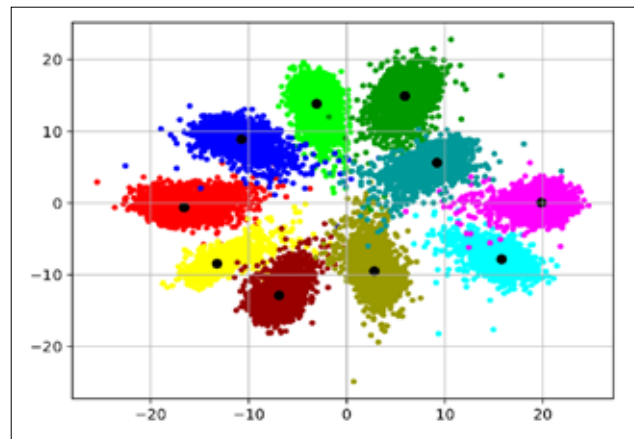


Рис. 3. Поведінка Center loss

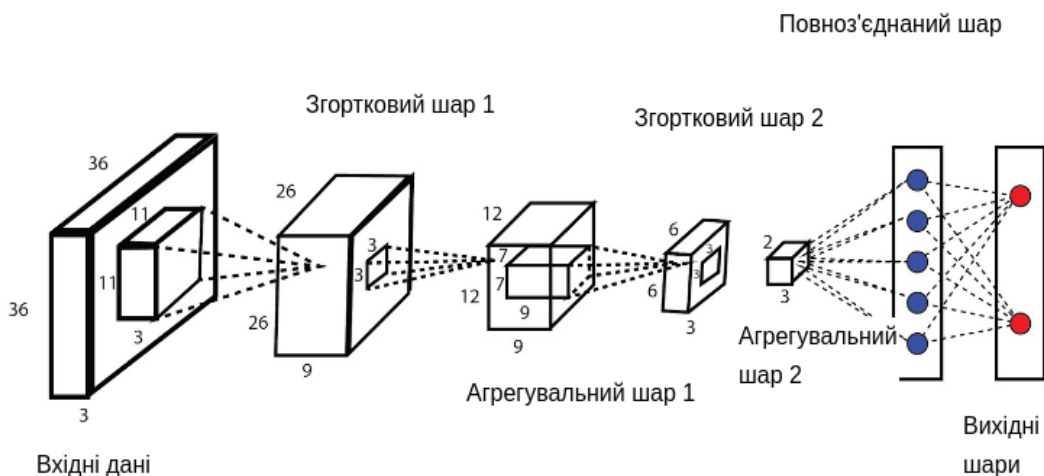


Рис. 2. Структура конволюційної нейронної мережі

це обов'язково враховувати. Таким чином, розглядається додатковий клас не-пам'ятки, який включає буквально все, що не є пам'яткою (люди, тварини, будівлі, природні об'єкти, машини тощо). Отже, кількість елементів не-пам'яткового класу набагато більше загальної кількості елементів у всіх класах пам'яток. Крім того, на відміну від пам'яток, не-пам'ятки класу не мають структури (оскільки вона включає неструктуровані об'єкти), тому немає сенсу застосовувати функцію втрати для цього класу. Щоб вирішити цю проблему, було модифіковано Center loss, щоб обчислити центри лише для класів пам'яток, але не для класу, що не є пам'яткою.

Для того, щоб вирішити, чи містить зображення запиту пам'ятку, необхідно порівняти вектор вбудовування, отриманий із ЗНМ із деякими іншими векторами, що описують класи пам'яток [9]. Назвемо ці вектори центроїдами, тому що вони обчислюються шляхом усереднення вкладених векторів.

Основне питання використання центроїд полягає в даних, які використовувати для їх розрахунку. Спочатку було використано повні навчальні дані для кожної пам'ятки. Цей підхід дав задовільні результати, але цього було не зовсім достатньо для врахування всіх особливостей архітектури будівель. Незважаючи на очищення даних у датасеті, під час якого було видалено більшість невідповідних даних, деякі з них все-таки могли залишитись, що могло вплинути на центроїд. Наприклад, якщо пам'яткою архітектури, яка нас цікавить, є собор, який розташований на міській площі, то в ансамбль собору може бути помилково включена сусідня будівля.

По-друге, кожне визначне місце може мати кілька типових ракурсів зйомки. Змішування

їх в одному центроїді призводить до його недостатньої чутливості. Тому ефективніше розраховувати окремий центроїд для кожного типового ракурсу окремо. Для досягнення цієї цілі застосовано ієрархічний агломеративний алгоритм кластеризації та розділення даних тренування на кілька кластерів для кожного орієнтира. Кластером вважається множина, що містить більше 50 елементів. Якщо всі кластери для пам'ятки не є дійсними, то обчислюється лише один центроїд, використовуючи найбільший кластер.

**Висновки.** Був запропонований та обґрунтований спосіб покращення класичного використання алгоритму комп'ютерного зору, який дає можливість гарантувати підвищення ефективності роботи та швидкості навчання мережі.

Основою методу є використання вбудовувань у глибокій згортковій нейронній мережі. Ця нейронна мережа пройшла навчання з використанням функції втрат Center loss. Ця функція втрат забезпечує кращі результати швидкодії та точності (порівняно з відомим алгоритмом). Для визначення того, чи є пам'ятка на цьому зображенні, використовуються відстані між вектором вбудовування зображення та центроїдом класу. Для кожної пам'ятки розраховуються центроїди над кластерами, отриманими в результаті ієрархічної процедури кластеризації. На думку авторів, це є однією з характеристик, які покращують класичний метод розпізнавання образів на зображенні.

Практичне значення одержаних результатів роботи визначається тим, що розроблений підхід дає можливість ефективно використовувати ресурси системи та підвищити ефективність розпізнавання конкретних об'єктів на зображенні.

#### Список літератури:

1. Höppner, F., Klawonn, F., Kruse, R., & Runkler, T. Fuzzy cluster analysis: methods for classification, data analysis and image recognition. John Wiley & Sons. 1999.
2. Созыкин, А. В. Обзор методов обучения глубоких нейронных сетей. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика*, 2017, № 6.3. 32 с.
3. Бринк Х., Ричардс Д., Феверолф М. Машинное обучение. Издательский дом «Питер», 2017. 54 с.
4. David A., Ponce J. Computer vision: a modern approach. Prentice Hall Professional Technical Reference, 2002. p. 78.
5. Hoff, W. A., Nguyen, K., & Lyon, T. Computer-vision-based registration techniques for augmented reality. In *Intelligent Robots and Computer Vision XV: Algorithms, Techniques, Active Vision, and Materials Handling* (Vol. 2904). International Society for Optics and Photonics. 1996, pp. 538–548.
6. Wang, C., Komodakis, N., & Paragios, N. Markov random field modeling, inference & learning in computer vision & image understanding: A survey. *Computer Vision and Image Understanding*, 117(11), 2013, 1610–1627.
7. Liu, Y., Song, G., Shao, J., Jin, X., & Wang, X. Transductive centroid projection for semi-supervised large-scale recognition. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*, 2018. (pp. 70–86).
8. Kalchbrenner, N., Grefenstette, E., & Blunsom, P. A convolutional neural network for modelling sentences. 2014.
9. O'Shea, K., & Nash, R. An introduction to convolutional neural networks. 2015.

**Kravets A.M., Simonenko V.P. LANDMARKS RECOGNITION METHOD  
USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES**

*The article describes the method of detecting landmarks and historical monuments in the image in the system for excursions in virtual and augmented reality. Due to the rapid development and implementation of neural networks and machine learning, humanity has been able to attract certain artificial intelligence systems to solve practical problems, but not all tasks were covered. The system provides the user with a web resource that can be used to conduct excursions in virtual and augmented reality according to a pre-compiled script. Excursions are divided into points, each of which shows the user augmented reality or virtual. To improve the existing system, it was decided to add the function of recognizing the sightseeing places and architecture for the point where augmented reality is used. To solve this problem, the existing solutions in the field of computer vision technology were considered. The use of computer vision technology to solve this problem is justified in terms of reliability and speed. However, the task of recognizing monuments is not trivial and requires more attention than just recognizing an object of a class – person, object, nature, etc. It requires not only the extraction of an object into a class, but also the determination of whether the object is an architectural monument, whether it is just a building, or whether there is a landmark in the image at all. This direction in computer vision technology is relatively new and, of course, interesting and important for educational, scientific and entertainment purposes. The purpose of the development is to improve existing solutions in the format of a web resource. For best results, solutions and methods were evaluated in terms of their use in the web application. Shortcomings and ways to improve have been identified. An approach that provides high accuracy in the identification of monuments is proposed. This approach can be used in the system to conduct excursions in virtual and augmented reality. The urgency of the problem is supported by the need to improve existing software solutions and approaches to object recognition using computer vision.*

**Key words:** *computer vision, machine learning, convolutional neural network, augmented reality, landmarks.*

**Левкін Д.А.**

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

**Бережна Н.Г.**

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

**Макаров О.А.**

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

**Кутья О.В.**

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*У статті розглянуті питання математичного моделювання багатошарових систем, які містять джерела термічних навантажень. Мета досліджень – розробка математичних моделей таких систем, а також модифікація наявних чисельних методів у частині врахування специфіки модельованих систем і технічних параметрів випромінювачів. Як досліджуваний об'єкт автори розглядають багатошаровий кулястий матеріал під дією джерел термічних навантажень. Унікальність досліджень полягає в урахуванні багатошарової структури модельованих систем і технічних параметрів випромінювачів, що дозволяє зменшити витрати технічних ресурсів, а також знизити втрати досліджуваного матеріалу.*

*Авторами цієї роботи наведено один із можливих алгоритмів для розрахунку температурного поля кулястого матеріалу. Запропоновано дві розрахункові математичні моделі (крайові задачі) процесу термічної дії, визначено умови їх коректності та розв'язані крайові задачі. Оскільки в основі крайових задач лежать системи багатовимірних, неоднорідних, нестационарних диференціальних рівнянь теплопровідності у сферичній системі координат, то для доказу існування і єдиності розв'язків скористалися теорією псевдодиференціальних операторів у просторі узагальнених функцій. Це дозволило визначити умови коректності не тільки розглянутих у цій роботі крайових задач, але й низки розрахункових математичних моделей процесу термічної дії на багатошарові матеріали. Реалізація розглянутих розрахункових математичних моделей на комп'ютерах для конкретного досліджуваного об'єкта в перспективі дасть можливість забезпечити контроль за розподілом температурних полів і знизити втрати досліджуваного матеріалу. Отримані результати можуть бути використані для розв'язування багатьох прикладних задач розрахунку параметрів температурних полів у різних багатошарових системах.*

**Ключові слова:** математичні моделі, коректність, псевдодиференціальні оператори, узагальнені функції, прикладні задачі.

**Постановка проблеми.** У зв'язку зі значними втратами досліджуваного матеріалу і витратами технічних ресурсів багатошарових систем, які містять джерела фізичних полів, збільшується роль математичного моделювання та оптимізації таких систем. Оскільки при цьому здебільшого доводиться розв'язувати прикладні задачі нелінійного математичного програмування, то не можна стверджувати про коректність крайових задач, що лежать в основі розрахункових математичних моделей.

Об'єктом дослідження є технічні системи, які містять джерела термічного навантаження. Зважаючи на те, що особливістю матеріалів, окрім багатошарової структури, є характеристики джерел впливу, то виникають труднощі в реалізації етапу математичного моделювання на комп'ютерах. Як приклад, до них зараховують збільшення часу і пам'яті при реалізації розрахункових математичних моделей. Це призводить до того, що модельовані системи розглядають без урахування багатошарової структури дослі-



джуваних об'єктів з усередненими значеннями технічних параметрів випромінювачів, і сприяє отриманню досить грубих оцінок технічних параметрів випромінювачів, а також наближеного розв'язку диференціальних рівнянь.

У статті представлено один із можливих алгоритмів розрахунку температурних полів багат шарового кулястого матеріалу під впливом джерел термічного навантаження. Наведено приклади двох розрахункових математичних моделей процесу термічного впливу на багат шарові кулясті матеріали, в основі яких лежать крайові задачі систем багатовимірних, нестационарних, неоднорідних диференціальних рівнянь теплопровідності у сферичних координатах. Для доказу коректності крайових задач використано теорію псевдодиференціальних операторів у просторі узагальнених функцій, представлено схему для розв'язування крайових задач. Дослідження цієї роботи можна застосувати для розрахунку температурних полів довільних багат шарових технічних систем. При цьому зазначають зміни постановка і методи реалізації крайових задач, але алгоритм для їх чисельної реалізації залишиться майже без змін.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Універсальність і широке застосування тематики досліджень цієї роботи привертала увагу багатьох учених [1–5]. У монографіях [1; 2] наведено розрахунок і оптимізацію технічних систем, які містять джерела дії фізичних полів. У цих роботах здійснено формалізацію і систематизацію прикладних задач оптимізації, що дозволило запропонувати чисельні методи і програмно-апаратні засоби для автоматизації досліджень технічних систем. Для досліджень цієї статті важливість результатів монографій [1; 2] полягає в універсальності наведених методів розрахунку і оптимізації технічних систем. Водночас їх авторами не наведено розподіл температурних полів у технічних системах залежно від характеристик параметрів випромінювачів. Розв'язанню прикладних задач оптимізації біотехнологічних систем під дією лазерного променя присвячено результати публікацій [3–5]. Незважаючи на те, що в цих роботах вказується на важливість етапу математичного моделювання та оптимізації під час побудови програмно-апаратних засобів процесу впливу, автори не розглядають теплових режими впливу на ембріон, а технічні характеристики випромінювачів усереднені. Це призводить до додаткових похибок під час розрахунку значень функції мети і параметрів випромінювачів.

**Постановка завдання.** Запропонувати підхід до чисельної реалізації процесу моделювання технічних систем, які містять джерела термічного навантаження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо крайову задачу системи диференціальних рівнянь теплопровідності процесу термічної дії на кулястий двошаровий матеріал:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} - \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r_1} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + q_1 = 0; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} - \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r_2} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + q_2 = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де  $\rho_1, \rho_2$  – коефіцієнти густини зовнішнього та внутрішнього шарів матеріалу;  $c_1, c_2$  – коефіцієнти теплоємності зовнішнього та внутрішнього шарів матеріалу;  $T_1 = T_1(r, t)$ ,  $T_2 = T_2(r, t)$  – температурні поля шарів;  $r$  – просторова координата;  $t$  – час термічної дії;  $\lambda_1, \lambda_2$  – коефіцієнти теплопровідності шарів;  $q_1, q_2$  – питомі густини потужності термічних навантажень у матеріалі.

Граничні умови Діріхле:

$$\begin{cases} T(r_0, t_0) = T_0; \\ T(r_n, t_n) = T_n, \end{cases} \quad (2)$$

де  $T_0$  – температура зовнішнього шару матеріалу на початку термічної дії;  $T_n$  – температура внутрішнього шару матеріалу наприкінці термічної дії.

Рівності розділу середовищ у матеріалі:

$$T_1(r_1, t_1) = T_2(r_2, t_2), \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}. \quad (3)$$

Рівності неперервності температурних полів:

$$\begin{cases} T(r_1, t_1 - 0) = T(r_1, t_1 + 0); \\ T(r_2, t_2 - 0) = T(r_2, t_2 + 0). \end{cases} \quad (4)$$

Граничні умови теплового обміну на границі розділу зовнішнього шару сферичного матеріалу та навколишнього середовища:

$$\left( \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} - A(T_1 - T_{env}) \right) \Big|_{r=0} = 0, \quad (5)$$

де  $A$  – параметр тепловіддачі зовнішнього шару матеріалу;

$T_{env}$  – температура навколишнього середовища.

Розглянемо крайову задачу системи диференціальних рівнянь теплопровідності процесу термічної дії на кулястий багат шаровий матеріал:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} - \lambda_1 \left( \frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r_1} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + q_1 = 0; \\ \rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} - \lambda_2 \left( \frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r_2} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + q_2 = 0; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \rho_N c_N \frac{\partial T_N}{\partial t} - \lambda_N \left( \frac{\partial^2 T_N}{\partial r^2} + \frac{2}{r_N} \frac{\partial T_N}{\partial r} \right) + q_N = 0, \end{cases} \quad (6)$$

де  $T_e = T_e(r, t)$  – температурні поля багатошарового матеріалу;  $r_e$  – просторова координата, в якій розраховано значення температурного поля;  $t_e$  – часова координата.

Інші позначення залишаються такими ж, як у крайовій задачі (1) з урахуванням багатошарової структури матеріалу. Граничні умови Діріхле (2) встановлюють початок та кінець термічної дії на багатошаровий матеріал.

Рівності розділу середовищ застосовані для урахування багатошарової структури матеріалу:

$$\begin{cases} T_1(r_1, t_1) = T_2(r_2, t_2), \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r}; \\ T_2(r_2, t_2) = T_3(r_3, t_3), \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial r}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ T_{N-1}(r_{N-1}, t_{N-1}) = T_N(r_N, t_N), \quad -\lambda_{N-1} \frac{\partial T_{N-1}}{\partial r} = -\lambda_N \frac{\partial T_N}{\partial r}. \end{cases} \quad (7)$$

Позначення такі ж, як у системі (6).

Рівності неперервності температурних полів:

$$\begin{cases} T(r_1; t_1 - 0) = T(r_1; t_1 + 0); \\ T(r_2; t_2 - 0) = T(r_2; t_2 + 0); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ T(r_N; t_N - 0) = T(r_N; t_N + 0). \end{cases} \quad (8)$$

Для врахування теплового обміну застосовано граничні умови (5).

Використовуючи результати публікацій [6; 7], перевіримо коректність розглянутих крайових задач. Для цього проведемо дослідження диференціального рівняння:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q = 0. \quad (9)$$

Диференціальний символ рівняння:

$$P(r, \tau, \eta) = P_0(r, \tau, \eta) + P_1(r, \tau, \eta) = i\tau + \frac{\lambda}{\rho c} \eta^2 - \frac{2\lambda i\eta}{\rho c r}. \quad (10)$$

Поліном  $P_0(r, \tau, \eta)$  за  $\text{Im } \tau < 0$  буде експоненціально-коректним та вдовольнить умову сталості сили. За  $\text{Im } \tau \rightarrow -\infty$  і  $r > \delta$  псевдодифе-

ренціальний оператор  $P_1(r, D)T$  є підлеглим оператору  $P_0(r, D)T$ .

Отримані результати дозволяють стверджувати, що розглянуті в роботі крайові задачі будуть коректними в просторі узагальнених функцій гладко залежних від часу.

О.А. Макаровим і Д.А. Левкіним запропоновано універсальний алгоритм для розв'язування крайової задачі (6) – (8). Розглянемо в загальному випадку однорідну та неоднорідну крайові задачі:

$$\begin{cases} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = P_1 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t); \\ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = P_2 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = P_N \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t), \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} D_0 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, 0) + D_1 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t_1) + \dots + \\ + D_N \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t_N) = \varphi(x), \end{aligned} \quad (12)$$

де  $P_j \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right)$  і  $D_j \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right)$  – псевдодиференціальні оператори із символами з простору нескінченно диференційованих функцій степеневого зростання,  $j = 1, \dots, N$

$$\begin{cases} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = P_1 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t) + f(x, t); \\ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = P_2 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t) + f(x, t); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} = P_N \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t) + f(x, t). \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} D_0 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, 0) + D_1 \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t_1) + \dots + \\ + D_N \left( \frac{\partial}{i\partial x} \right) T(x, t_N) = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Позначення залишаються такими ж, як у крайовій задачі (11) – (12).

Подіємо перетворенням Фур'є на рівняння з однорідної й неоднорідної крайових задач (11) – (12), (13) – (14) відповідно:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \tilde{T}(s,t)}{\partial t} = P_1(s)\tilde{T}(s,t); \\ \frac{\partial \tilde{T}(s,t)}{\partial t} = P_2(s)\tilde{T}(s,t); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\partial \tilde{T}(s,t)}{\partial t} = P_N(s)\tilde{T}(s,t), \end{array} \right. \quad (15)$$

$$D_0(s)\tilde{T}(s,0) + D_1(s)\tilde{T}(s,t_1) + \dots + D_N(s)\tilde{T}(s,t_N) = \tilde{\varphi}(s), \quad (16)$$

де  $\tilde{T}(s,t)$  – перетворення Фур’є функції  $T(x,t)$ ;  $\tilde{\varphi}(s)$  – перетворення Фур’є функції  $\varphi(x)$ . Аналогічно, отримали:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \tilde{T}(s,t)}{\partial t} = P_1(s)\tilde{T}(s,t) + \tilde{f}(s,t); \\ \frac{\partial \tilde{T}(s,t)}{\partial t} = P_2(s)\tilde{T}(s,t) + \tilde{f}(s,t); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \frac{\partial \tilde{T}(s,t)}{\partial t} = P_N(s)\tilde{T}(s,t) + \tilde{f}(s,t), \end{array} \right. \quad (17)$$

$$D_0(s)\tilde{T}(s,0) + D_1(s)\tilde{T}(s,t_1) + \dots + D_N(s)\tilde{T}(s,t_N) = 0, \quad (18)$$

де  $\tilde{f}(s,t)$  – перетворення Фур’є функції  $f(x,t)$ . З умови неперервності отримали:

$$\tilde{\varphi}_k(s) = \exp(t_1 P_1(s) + (t_2 - t_1)P_2(s) + \dots + (t_{j-1} - t_{j-2})P_{j-1}(s))\tilde{\varphi}_1(s). \quad (19)$$

Провівши низку алгебраїчних перетворень, знайшли розв’язок крайової задачі (15) – (16):

$$\tilde{T}(s,t) = \left\{ \begin{array}{l} \tilde{\varphi}(s) \cdot \exp(t P_1(s) / \Delta(s)); \\ \tilde{\varphi}(s) \cdot \exp(t P_2(s) / \Delta(s)); \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \tilde{\varphi}(s) \cdot \exp(t_1 P_1(s) + \dots + (t - t_{N-1})P_N(s) / \Delta(s), \end{array} \right. \quad (20)$$

$$\Delta(s) = D_0(s) + \dots + D_N(s) \exp(t_1 P_1(s) + (t_2 - t_1)P_2(s) + \dots + (t_N - t_{N-1})P_N(s)).$$

Отримані результати можуть бути використані для дослідження прикладних оптимізаційних математичних моделей, розглянутих, наприклад, в роботі [8]. На думку Д.А. Левкіна, для оптимізації технічних систем із метою підвищення якості технологічних процесів необхідна одночасна реалізація хоча б двох прикладних оптимізаційних математичних моделей.

лізація хоча б двох прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Математична модель мінімізації (за параметрами термічного навантаження  $Y$ ) максимального значення температурного поля:

$$\min_Y \max T(x, y, z, t, Y), \quad (21)$$

де  $(x, y, z) \in \Omega^*$  – область матеріалу;  $t$  – час дії.

Математична модель мінімізації (за параметрами термічного навантаження  $Y$ ) травмування матеріалу:

$$L = \frac{V_{\text{segm}}}{V} \times 100\% \rightarrow \min, \quad (22)$$

де  $V_{\text{segm}}$  – об’єм частини матеріалу, що піддається термічному навантаженню;  $V$  – об’єм матеріалу.

Зазначимо, що для оптимізації багатьох технічних систем необхідні додаткові витрати часу та пам’яті під час реалізації прикладних задач оптимізації на комп’ютерах. Зазначені труднощі можна подолати за рахунок використання аналогових чи гібридних сіткових процесорів. Різновид математичного моделювання розглянуто в публікаціях [9; 10] для визначення надійності надання транспортних послуг та підвищення ефективності функціонування транспортних підприємств.

**Висновки.** У статті досліджені питання розв’язання прикладних задач нелінійного математичного програмування. Авторами запропоновано один із можливих алгоритмів для чисельної реалізації розрахункових математичних моделей. Наведено приклади двох розрахункових математичних моделей для багатошарових матеріалів, які перебувають під впливом джерел термічного навантаження, визначено й обґрунтовано умови коректності розглянутих крайових задач, а також у загальному вигляді здійснено їх реалізацію. З огляду на те, що досить часто під час моделювання технічних та інших систем доводиться мати справу з багатовимірними, нелінійними і нестационарними диференціальними рівняннями, то не можна гарантувати їх коректність. Тому для визначення умов існування і єдиності розв’язування крайових задач можна скористатися теорією псевдодиференціальних операторів у просторі узагальнених функцій. Це дозволить гарантувати коректність розглянутих розрахункових математичних моделей для багатьох технічних систем, які містять джерела термічного навантаження. Дослідження статті вирізняються універсальністю і можуть бути використані для розв’язування багатьох прикладних задач розрахунку та оптимізації багатошарових систем.

Список літератури:

1. Стоян Ю.Г., Путятин В.П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. Киев : Наук. думка, 1988. С. 44–48.
2. Стоян Ю.Г., Путятин В.П. Размещение источников физических полей. Киев : Наук. думка, 1981. С. 59–87.
3. Levkina R., Levkin A., Petrenko A., Kolomic N. Current approaches to biotechnology in animal husbandry. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29, Issue 8. P. 2463–2469.
4. Antinori S. Experience with the UV non contact laser in a assisted hatching in human. *Journal of Assist Reprod and Genet*. 1997. Vol. 14, Issue 5. 200 p.
5. Douglas-Hamilton D.H., Conia J. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling. *Journal of Biomedical Optics*. 2001. Vol. 6, Issue 2. P. 205. DOI: 10.1117/1.1353796.
6. Левкин Д.А. Адекватность расчетной математической модели процесса лазерного воздействия на эмбрион. *Вчені записки Таврійського Національного Університету імені В.І. Вернадського. Серія: «Технічні науки»*. Київ, 2018. Т. 29 (68), № 3., Частина 1. С. 166–169.
7. Makarov A.A., Levkin D.A. Boundary-value problems in a layer for evolutionary pseudo-differential equations with integral conditions. *Вісник Харківського національного університету імена В.Н. Каразіна. Серія: «Математика, прикладна математика і механіка»*. 2018. Т. 87. 2018. С. 61–68.
8. Мегель Ю.Е., Путятин В.П., Левкин Д.А., Левкин А.В. Математическое моделирование и оптимизация параметров действия лазерного луча на многослойные биоматериалы. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси». Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 20 (1242). С. 60–64.
9. Vojtov V., Kutuya O., Berezhnaja N., Karnaukh M., Bilyaeva O. Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4, No. 3. P. 15–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.175064.
10. Volkov V., Taran I., Volkova T., Pavlenko O., Berezhnaja N. Determining the efficient management system for a specialized transport enterprise. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2020. Vol. 4. P. 185–191. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/185>.

**Levkin D.A., Berezhnaja N.G., Makarov O.A., Kutuya O.V. MATHEMATICAL MODELING OF TECHNICAL SYSTEMS**

*The article considers the issues of mathematical modeling of the multilayer systems that contain sources of thermal loads. The purpose of the research is to develop mathematical models of such systems, as well as modification of existing numerical methods in terms of taking into account the specifics of the modeled systems and technical parameters of emitters. As the object under study, the authors consider a multilayer spherical material under the action of thermal loads. The uniqueness of the research is to take into account the multilayer structure of the simulated systems and technical parameters of the emitters, which reduces the cost of technical resources, as well as reduce the loss of the studied material.*

*The authors of this work present one of the possible algorithms for the calculating the temperature field of the spherical material. Two calculated mathematical models (boundary value problems) of the thermal action process are proposed, the conditions of their correctness are determined and boundary value problems are solved. Since the boundary value problems are based on systems of multidimensional, inhomogeneous, nonstationary differential thermal equations in a spherical coordinate system, the theory of pseudodifferential operators in the space of generalized functions was used to prove the existence and uniqueness of solutions. This allowed us to determine the conditions for the correctness not only of the boundary value problems considered in this paper, but also of a number of calculated mathematical models of the thermal action process on multilayer materials. The implementation of the considered calculation mathematical models on computers for a specific object under study in the future will provide control over the distribution of temperature fields and reduce the loss of the studied material. The obtained results can be used to solve many applied problems of calculating the parameters of temperature fields in different multilayer systems.*

**Key words:** *mathematical models, correctness, pseudodifferential operators, generalized functions, applied problems.*

**Логвін А.О.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

## ТИПИ ГЕНЕРАТИВНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

*Розкрито основні типи генеративних нейронних мереж та окреслено поняття генеративної моделі. Наголошується, що глибокогенеративні моделі сформовано за рахунок комбінації генеративних моделей і глибоких нейронних мереж. Наведено математичну складову частину набору даних для реалізації генеративних нейронних мереж, описано процес навчання мереж і вимоги до нього. Як типи генеративних мереж визначається класифікація трьох напрямів: варіаційний автоенкодер, генеративні змагальні мережі й авторегресивні мережі. Наведено переваги та недоліки кожного типу. Варіаційний автоенкодер має структуру кодувальника-декодера за допомогою імовірнісних графічних моделей, де нижня межа максимізується на логарифмічній ймовірності даних, генеративні змагальні мережі мають структуру генератора-дискримінатора через змагальну навчальну гру, в якій зразки даних генеруються безпосередньо, а авторегресивні мережі будуються на принципі факторизації спільного розподілу даних в умовних розподілах, моделюючи кожний окремий вимір з урахуванням попередніх вимірювань. Підкреслено, що у разі дієвого навчання варіаційний автоенкодер може виступати у двох варіаціях: як потужна дієва генеративна модель і як ефективне середовище навчання уявлення для природної мови. Генеративна змагальна мережа виступає ефективним механізмом для генерації зображень, що працює на базі двох мереж: генератора для синтезу та дискримінатора для розрізнення зображень.*

**Ключові слова:** генеративна мережа, генеративна модель, нейронна мережа, навчання, масштабованість, генерація зображень.

**Постановка проблеми.** Одним із основних напрямів штучного інтелекту є розробка алгоритмів і методів, які наділяють комп'ютери здатністю синтезувати дані, що спостерігаються в навколишньому світі. Щоразу, коли дослідники створюють модель, котра імітує цю здатність, модель називається генеративною. Якщо в цій моделі задіяні глибокі нейронні мережі, то вона є глибокогенеративною моделлю (DGM). Як окрема гілка методів самостійного навчання у глибокому навчанні DGM спеціально зосереджені на характеристиці процесів генерації даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останнє десятиліття чимало як зарубіжних, так і вітчизняних учених здійснили відкриття у сфері генеративних нейронних мереж.

І.В. Гарячевська та С.Ю. Мовенко [1] дослідили процес розробки та впровадження нейронних мереж для прогнозування. Авторами здійснено розробку моделей прогнозування часових рядів для отримання якомога точнішого прогнозу споживання та вироблення електроенергії з урахуванням використання альтернативних джерел енергії.

Л.І. Коротка [2] навела визначення функціональної підсистеми раціонального вибору архітектури нейронної мережі. Авторка запропонувала інформаційну підсистему, яка дозволяє обрати архітектуру слоїстої нейронної мережі та

визначитися з її параметрами: кількістю шарів, функцією активації, кількістю епох, похибкою мережі, кроком навчання.

У [3] розкрито сучасні інформаційні технології: штучні нейронні мережі, нечітку логіку, генетичні алгоритми, указані шляхи використання цих технологій і наведено приклади розв'язання практичних завдань.

В.М. Мельник, К.В. Мельник і Б.В. Шульга [4] дослідили питання ідентифікації емоцій людини за допомогою нейронної мережі на основі Keras і TensorFlow. Авторами наведено результати досліджень визначення емоцій людини за допомогою нейронних мереж.

Johannes Linder, Nicholas Bogard Alexander, V. Rosenberg, Georg Seelig [5] розкрили моделі глибоких нейронних мереж разом із оптимізацією стилю градієнтного підйому, які демонструють перспективу для проектування послідовностей. Створені послідовності, однак, можуть застрягти в локальних мінімумах і часто мають низьку різноманітність. Тут автори запропонували розробити мережі глибоких досліджень (DEN), клас генеративних моделей, що максимізують активацію та мінімізують вартість нейронної мережі шляхом градієнтного спуску. Використовуючи DEN, науковці спроектували сигнали поліаденілювання з більш ніж у 10 разів вищими шансами відбору,

ніж найкращі шаблони, сформовані градієнтним підйомом, визначили регулюючі послідовності сплайсингу, які, як передбачається, призведуть до високодиференціального сплайсингу між клітинними лініями.

Jason Brownlee [6] описав генеративну змагальну мережу (GAN). Автор називає генеративну змагальну мережу типом архітектури нейронної мережі для генеративного моделювання. Генеративне моделювання передбачає використання моделі для генерування нових прикладів, котрі правдоподібно походять із наявного розподілу зразків, наприклад, створення нових фотографій, подібних, але особливо відмінних від набору даних наявних фотографій.

Також варто відзначити роботи таких вчених, як К.В. Мельник, В.М. Мельник, Ю.Ю. Коптюк [7], Д.А. Гончаров [8], В.Ю. Саган [9], Vikas P. Deshpande, Robert F. Erbacher, Chris Harris [10], Graham P. [11], A. Radford, L. Metz, S. Chintala [12], M. Mirza, S. Osindero [13], X. Chen, Y. Duan, R. Houthoof, J. Schulman, I. Sutskever, P. Abbeel [14], A. Odena, C. Olah, J. Shlens [15], A. Makhzani, J. Shlens, N. Jaitly, I. Goodfellow [16], Dumoulin, I. Belghazi, B. Poole, O. Mastropietro, A. Lamb, M. Arjovsky, A. Courville [17], D. Ulyanov, A. Vedaldi, V. Lempitsky [18], A.B.L. Larsen, S.K. Snderby, H. Larochelle, O. Winther [19] та ін.

Однак, незважаючи на всю масштабність наявних наукових досліджень, питання типів генеративних нейронних мереж залишається відкритим і потребує детального опрацювання.

**Постановка завдання.** Мета статті – розкрити основні типи генеративних нейронних мереж.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основні види генеративних моделей діляться на три фундаментальні класи: Optimus – це перша

великомасштабна мовна модель варіаційного автоенкодера (VAE), що демонструє можливості DGM, наступна за тенденцією попередньо навчених мовних моделей. FQ-GAN вирішує проблеми масштабності з генерацією зображень у генеративні змагальні мережі (GAN). Prevalent – перший попередньо навчений універсальний агент для візуальної та мовної навігації.

Генеративні моделі мають довгу історію у традиційному машинному навчанні, і їх часто відрізняють від іншого основного підходу – дискримінаційних моделей. Із розвитком глибокого навчання нове сімейство методів, що називаються глибокими генеративними моделями (DGM), формуються за рахунок комбінації генеративних моделей і глибоких нейронних мереж. Оскільки нейронні мережі, які використовуються як генеративні моделі, мають ряд параметрів, менших, ніж обсяг даних, на яких вони навчаються, є особлива властивість, що стосується тільки DGM. DGM змушені виявляти й ефективно засвоювати сутність даних, щоб їх генерувати.

Математично для набору даних прикладів  $\{x_i | x_i \in \mathbb{R} \langle \sup \rangle \langle em \rangle D \langle /em \rangle \langle /sup \rangle, i = 1, \dots, N\}$ , як зразки з істинного розподілу даних  $q(x)$ , мета DGM – побудувати глибокі нейронні мережі з параметрами  $\theta \in \mathbb{R} \langle \sup \rangle \langle em \rangle P \langle /em \rangle \langle /sup \rangle$ , щоб описати розподіл  $p(x)$  так, що параметри  $\theta$  можна навчити, щоб гарантувати  $p_\theta(x)$  кращу відповідність  $q(x)$ . Всі DGM використовують одну і ту саму базову настройку й описану вище властивість DGM, але вони розрізняються способами вирішення проблеми.

Згідно з таксономією OpenAI існують три популярні типи генеративних мереж: VAE, GAN і авторегресивні мережі. Кожен із них докладно описаний в табл. 1.

Таблиця 1

Типи генеративних нейронних мереж

Тип	Ключове поняття	Плюси	Мінуси
Варіаційний автоенкодер	Структура кодувальника-декодера за допомогою імовірнісних графічних моделей, де нижня межа максимізується на логарифмічній імовірності даних.	Одночасно виконує генерацію і логічний висновок із моделюванням прихованих змінних	Зразки зображень, згенеровані VAE, мають тенденцію бути трохи розмитими
Генеративні змагальні мережі	Структура генератора-дискримінатора через змагальну навчальну гру, в якій зразки даних генеруються безпосередньо	Створює різкі зразки зображень	Складніше оптимізувати через нестабільну динаміку тренування
Авторегресивні мережі	Факторизується спільний розподіл даних в умовних розподілах, моделюючи кожний окремий вимір з урахуванням попередніх вимірювань.	Просте і стабільне навчання, що забезпечує найкращу логарифмічну ймовірність	NLM неефективні під час вибірки і не можуть легко забезпечити низькорозмірні функції

Перехід від дрібномасштабних до великомасштабних глибинних генеративних моделей у всіх трьох типах можливий. Завдяки багаторічним зусиллям по розвитку їх теоретичних принципів DGM тепер відносно добре вивчені на малих вибірках. Згадана вище властивість DGM передбачає, що моделі будуть нормально працювати за умов:  $P < N * D$ . Це було підтверджено в багатьох роботах [5; 10]. Однак в останні роки здійснено величезний прогрес завдяки попередньому навчанню великих моделей на масивних даних (у контексті наведеного вище рівняння  $N$  різко збільшується).

Дослідники з OpenAI вважають, що генеративні моделі – один із найбільш багатообіцяючих підходів до досягнення мети – наділити комп'ютери розумінням навколишнього світу. Відповідно до цього в 2018 р. дослідники з Open AI розробили генеративне попереднє навчання (GPT), авторегресійну нейронну мовну модель (NLM), навчену на різноманітному корпусі немаркованого тексту, з подальшим точним налаштуванням для кожного конкретного завдання, що демонструє значно поліпшену продуктивність.

Optimus – перша великомасштабна глибоко прихована модель змінної для природної мови, яка попередньо підготовлена з використанням пропозицій – рівневі (варіаційні) завдання автоенкодера на великому текстовому корпусі.

Попередньо навчені мовні моделі значно покращилися в рішенні безлічі завдань обробки природної мови. PLM часто навчаються передбачати слова на основі їхнього контексту в масивних текстових даних, а вивчені моделі можна налаштувати для адаптації до різних завдань. PLM зазвичай можуть грати дві різні ролі: загальний кодувальник, такий як BERT і Roberta, і потужний декодер, такий як GPT-2 та Megatron. Іноді обидва завдання можуть бути виконані в одному уніфікованому середовищі, наприклад, в UniLM, BART і T5. У цих моделях відсутнє явне моделювання структур у компактному прихованому просторі, що ускладнює управління генерацією та поданням природної мови на основі семантики рівня пропозицій.

За ефективного навчання варіаційний автоенкодер (VAE) може бути як потужною генеративною моделлю, так і ефективним середовищем навчання уявлення для природної мови. Представляючи пропозиції в низькорозмірному латентному просторі, VAE дозволяють легко маніпулювати пропозиціями, використовуючи відповідні компактні векторні уявлення (наприклад, гладку

регуляризацію ознак, задану попередніми розподілами) і керовану генерацію пропозицій за допомогою інтерпретованих прихованих векторних операторів. Незважаючи на привабливі теоретичні переваги, наявні мовні віртуальні інтерфейси часто будуються з використанням неглибоких мережових архітектур, таких як дворівневі LSTM. Це обмежує можливості моделі та призводить до неоптимальної продуктивності. Коли надається великий обсяг даних, виверти DGM можуть зламатися, якщо використовується неглибокий VAE.

$$p(x) = \prod_{t=1}^T p_{\theta}(x_t | x_{<t}) \quad (1)$$

$$p_{\theta}(x | z) = \prod_{t=1}^T p_{\theta}(x_t | x_{<t}, z) \quad (2)$$

Для довгого речення  $T, x = [x_1, \dots, x_T]$ , авторегресійний NLM генерує поточний токен  $x_t$  за умови токенів попереднього слова  $x \langle sub \rangle < t \langle /sub \rangle$ , як показано в рівнянні 1 вище, існує обмежена можливість для генерації, яка повинна керуватися семантикою більш високого рівня. GPT-2, мабуть, найвідоміший приклад NLM, попередньо навчений роботі з великими обсягами тексту. VAE генерує  $x_t$ , що зумовили обидва токени попереднього слова  $x \langle sub \rangle < t \langle /sub \rangle$  і прихована змінна  $z$ , як показано у рівнянні 2. Прихований  $z$  визначає семантику високого рівня (тобто «схему») пропозиції, таку як час, теми або тональність, направляючи процес послідовного декодування для заповнення деталей схеми. Декодер  $\theta$  суміщений з енкодером  $\phi$ . VAE вивчає параметри, максимізуючи нижню межу логарифмічної ймовірності даних.

Архітектура Optimus показана на рис. 1а, щоб допомогти навчанню системи, ініціалізуємо кодер за допомогою BERT та ініціалізуємо декодер за допомогою GPT-2. Вихідна ознака токена [CLS] використовується для отримання прихованої змінної  $z$ . Щоб полегшити  $z$  при декодуванні GPT-2 без повторного навчання wag із нуля вивчаємо дві схеми, ілюстровані на рис. 1б. У першій схемі  $z$  грає роль додаткового вектора пам'яті для декодера. У другій схемі  $z$  додається на нижній шар вбудовування декодер і безпосередньо використовується в кожному кроці декодування. Емпірично виявлено, що перша, заснована на пам'яті схема працює краще. Щоб запобігти проблемі зникнення KL, використовуємо циклічний графік відпалу і методи розмірного порогу. Як новий тип PLM, запропонований Optimus показує кращі результати, демонструючи свої унікальні переваги порівняно з наявними PLMs.

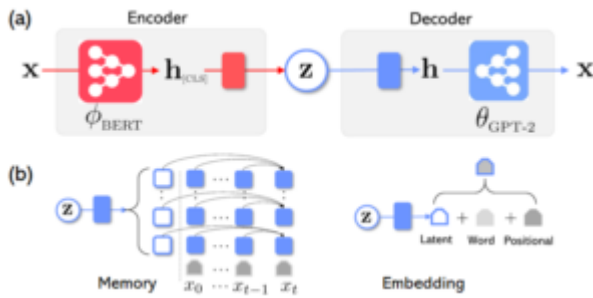


Рис. 1. (а) архітектура Optimus, що складається з кодувальника і декодера, та (б) впровадження прихованого вектора

Optimus вивчає більш гладкий простір і більш розділені шаблони об'єктів, ніж BERT (рис. 2а та 2б нижче). Це дозволяє Optimus забезпечити кращу продуктивність класифікації та більш швидку адаптацію, ніж BERT, при використанні як функціонального підходу (магістральна мережа заморожується й оновлюється тільки класифікатор), оскільки це дозволяє Optimus підтримувати і використовувати латентну структуру,

вивчену в ході попереднього навчання. На рис. 2с показані результати з різним числом позначених зразків для кожного класу в цьому наборі даних Yelp review, Optimus показує набагато кращі результати у сценаріях із низьким рівнем обчислень (налаштування на основі функцій).

GAN – популярна модель для генерації зображень. Вона складається з двох мереж – генератора для безпосереднього синтезу підроблених зразків, що імітують реальні зразки, та дискримінатора для розрізнення реальних зразків ( $x$ ) і підроблених зразків ( $x^{\wedge}$ ). Ці дві мережі навчаються у змагальному порядку, щоб підроблений розподіл даних міг відповідати реальному розподілу даних.

Зіставлення ознак – це важливий спосіб, який переводить завдання зіставлення розподілу даних GANs у задачу зіставлення розподілу у просторі ознак дискримінатора. Це вимагає, щоб статистика ознак (моменти першого або другого порядку), оцінена із сукупності як підроблених, так і реальних вибірок, була подібною. На практиці ці статистичні дані об'єктів оцінюються за

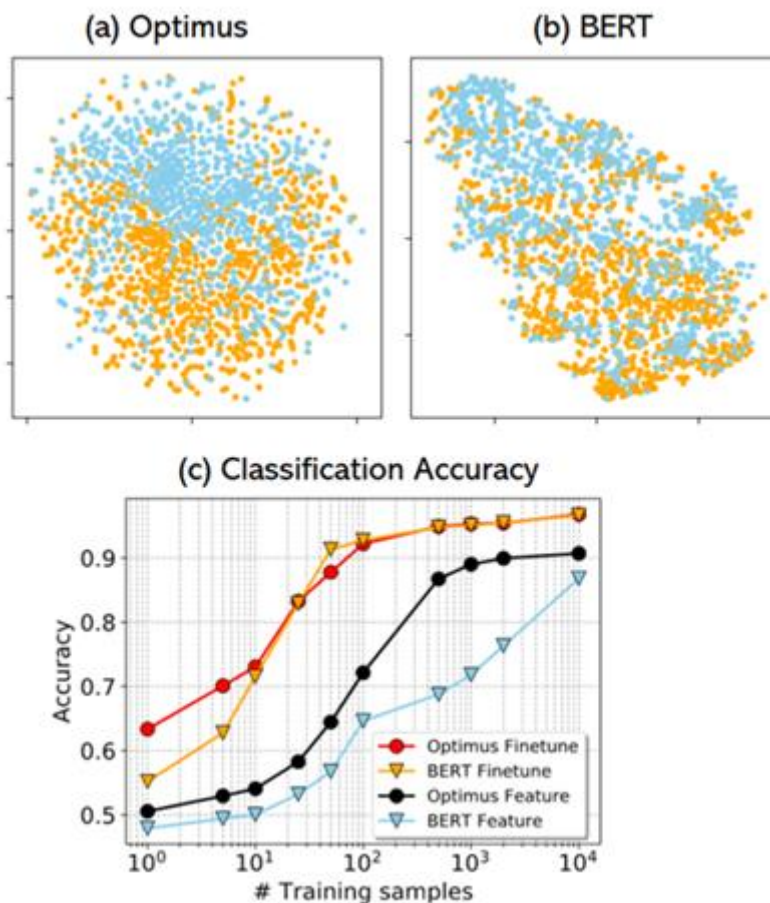


Рис. 2. (а) і (б) візуалізація простору ознак із використанням tSNE для Optimus і BERT відповідно. Пропозиції з різними мітками відображаються в різних кольорах; с) результати з різними маркувальними даними



допомогою міні-пакетів в безперервному просторі об'єктів. Оскільки набір даних стає багатим і складнішим (наприклад, із більшою високою роздільною здатністю), якість оцінки на основі міні-пакетів стає поганою, оскільки дисперсія оцінки велика для фіксованого розміру пакета. Ця проблема є особливо серйозною для GANs, оскільки індукований підроблений вибірковий розподіл генератора завжди змінюється при навчанні, що створює нову проблему в масштабуванні GANs для великомасштабних налаштувань.

Для вирішення цієї проблеми пропонується квантування ознак (FQ) для дискримінатора, яке представляє зображення у квантовому, а не в безперервному просторі. Нейромережева архітектура FQ-GAN показана на рис. 3а, FQ вводиться в дискримінатор стандартних GANs. Він обмежує безперервні об'єкти заданим набором значень, зокрема центроїдами об'єктів зі словника.

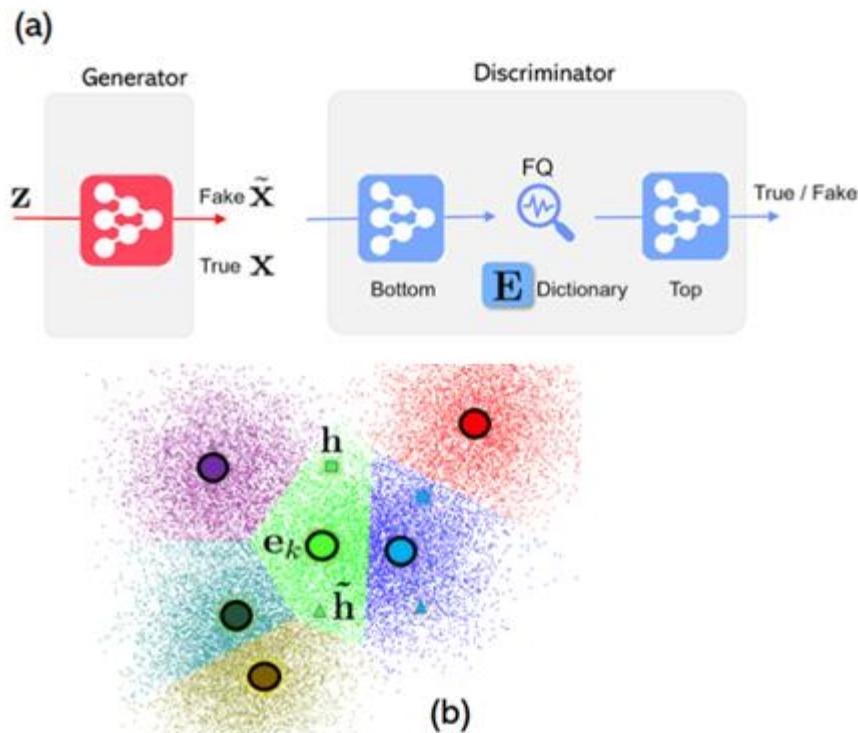
Оскільки як справжні, так і помилкові зразки можуть вибирати свої уявлення тільки з обмежених елементів словника, FQ-GAN побічно виконує зіставлення об'єктів. Це можна проілюструвати за

допомогою прикладу візуалізації на рис. 3б, де показані справжні об'єкти (h) і підроблені функції  $h \sim$  квантованими в ті самі центроїди (найближчі центроїди представлені в тому самому кольорі в цьому прикладі). Використовуємо поновлення ковзної середньої для реалізації словника E. Це гарантує, що словник містить набір центроїдів, які узгоджуються з останніми функціями в навчанні.

Запропонована методика FQ може бути легко підключена до наявних моделей GAN із невеликими обчислювальними витратами в навчанні. Експериментальні результати показують, що запропонований FQ-GAN може поліпшити якість формування зображень базових методів із великим запасом за різними завданнями, включаючи три репрезентативні моделі GAN за дев'ятьма критеріями:

BigGAN для генерації зображень. BigGAN, представлений Google DeepMind у 2018 р., є, мабуть, найбільшою моделлю GAN;

StyleGAN для синтезу особи. StyleGAN, представлений NVIDIA у грудні 2018 р., може генерувати високоякісні зображення, які виглядають як



**Рис. 3. (а) архітектура FQ-GAN: FQ доданий як новий шар у дискримінаторі стандартних GANs; (б) пошук словника як неявного зіставлення об'єктів**

Примітки: точки одного кольору становлять безперервні об'єкти, які квантовані в один і той самий центр ваги (представлений великими колами). Справжні об'єкти (квадрат) і підроблені об'єкти (трикутник) змушені спільно використовувати один і той самий центр ваги після FQ

портрети людей. Він побудований на прогресивних GANs, але дає дослідникам більше контролю над конкретними візуальними особливостями;

U-GAT – це додаток для безконтрольного перетворення зображень. Це сучасний метод передачі стилю зображення, який з'явився на ICLR 2020. На п'яти контрольних наборах даних видно, що FQ значно покращує продуктивність і показує кращу оцінку сприйняття людини.

**Висновки.** Розкрито типи генеративних нейронних мереж, які сформовано за рахунок ком-

бінації генеративних моделей і глибоких нейронних мереж. За подальшого розуміння образів і мови на семантичному рівні наступним кроком є наділення агента здатністю до дії для виконання завдання з мультимодальними вхідними даними. Навчання навігації у візуальному середовищі, дотримуючись інструкцій природною мовою, є однією з основних задач на шляху до цієї мети. В ідеалі потрібно навчити універсальний агент один раз і дозволити йому швидко адаптуватися до різних завдань.

#### Список літератури:

1. Гарячевська І.В., Мовенко С.Ю. Розробка штучних нейронних мереж для прогнозування споживання електроенергії. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2018. № 3 (1). С. 250–259.
2. Коротка Л.І. Функціональна підсистема раціонального вибору архітектури нейронної мережі. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2017. № 3 (1). С. 55–59.
3. Дранишников Л.В. Д72 Інтелектуальні методи в управлінні : навчальний посібник. Кам'янське : ДДТУ, 2018. 416 с.
4. Мельник В.М., Мельник К.В., Шульга Б.В. Дослідження моделювання ідентифікатора емоцій людини за допомогою загорткової нейронної мережі з використанням Keras. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2019. № 36. С. 109–122.
5. Мельник К.В., Мельник В.М., Коптюк Ю.Ю. Дослідження методів розпізнавання зображень на основі нейронних мереж. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2019. № 35. С. 161–165.
6. Linder, J., Bogard, N., Rosenberg, A.B., Seelig, G. A Generative Neural Network for Maximizing Fitness and Diversity of Synthetic DNA and Protein Sequences. *Cell Systems*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405471220301927> – !Vol. 11. Issue 1. P. 49–62.e16
7. Brownlee J. 18 Impressive Applications of Generative Adversarial Networks (GANs) in Generative Adversarial Networks Tweet Share. 2019. URL: <https://machinelearningmastery.com/impressive-applications-of-generative-adversarial-networks/> (дата звернення: 10.12.2020).
8. Гончаров Д.А. Програмні засоби розпізнавання акустичної інформації в сенсорних мережах : дис. ... магістра зі спец. 123. Київ : КПІ, 2018. 122 с.
9. Саган В.Ю. Система аналізу біомедичних сигналів для контролю стану водіїв : дис. ... магістра зі спец. 122. Київ : КПІ, 2018. 122 с.
10. Vikas P. Deshpand. An Evaluation of Naive Bayesian Anti-Spam Filtering Techniques. Proceedings of the 2007 IEEE Workshop on Information Assurance United States Military Academy, West Point, 2007. NY 20–22 June. URL: <http://digital.cs.usu.edu/~erbacher/publications/Bayes-Vikas2.pdf> (дата звернення: 10.12.2020).
11. Graham P. A Plan for Spam. 2002. URL: <http://www.paulgraham.com/spam.html> (дата звернення: 10.12.2020).
12. Radford A., Metz L., Chintala S. 5 “Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks,” in International Conference on Learning Representations, 2016. URL: <https://arxiv.org/abs/1511.06434> (дата звернення: 10.12.2020).
13. Mirza M., Osindero S. Conditional Generative Adversarial Nets. arXiv e-prints, p. arXiv:1411.1784, Nov. 2014. URL: <http-s://arxiv.org/abs/1411.1784> (дата звернення: 10.12.2020).
14. Chen X., Duan Y., Houthoof R., Schulman J., Sutskever I., Abbeel P. Infogan: Interpretable representation learning by information maximizing generative adversarial nets,” in Advances in Neural Information Processing Systems 29, 2016, pp. 2172–2180. URL: <http://papers.nips.cc/paper/6399-infogan-interpretation-learning-by-information-maximizing-generative-adversarial-nets.pdf> (дата звернення: 10.12.2020).
15. Odena A., Olah C., Shlens J. Conditional image synthesis with auxiliary classifier GANs. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*, Vol. 70. P. 2642–2651.
16. Makhzani A., Shlens J., Jaitly N., Goodfellow I. Adversarial autoencoders. *International Conference on Learning Representations*. 2016. URL : <http://arxiv.org/abs/1511.05644> (дата звернення: 10.12.2020)
17. Dumoulin V., Belghazi I., Poole B., Mastropietro O., Lamb A., Arjovsky M., Courville A. Adversarially learned inference. *International Conference on Learning Representations*. 2017. URL: <https://arxiv.org/abs/1606.00704> (дата звернення: 10.12.2020).

18. Ulyanov D., Vedaldi A., Lempitsky V. It takes (only) two: Adversarial generator-encoder networks. *AAAI Conference on Artificial Intelligence*. 2018. URL: <https://www.aaai.org/ocs/index.php/AAAI/AAAI18/paper/view/16568> (дата звернення: 10.12.2020).

19. Larsen A.B.L., Snderby S.K., Larochelle H., Winther O. Autoencoding beyond pixels using a learned similarity metric. *Proceedings of The 33rd International Conference on Machine Learning*. 2016. P. 1558–1566. URL: <http://proceedings.mlr.press/v48/larsen16.htm> (дата звернення: 10.12.2020).

### **Lohvin A.O. TYPES OF GENERATIVE NEURAL NETWORKS**

*The main types of generative neural networks are revealed and the concept of generative model is outlined. It is emphasized that deep generative models are formed due to a combination of generative models and deep neural networks. The mathematical component of the data set for the implementation of generative neural networks is given, and the process of learning networks and requirements to it is described. The classification of three directions is defined as types of generative networks: variational autoencoder, generative adversarial networks and auto regressive networks. The advantages and disadvantages of each type are given and the main, key direction of implementation is emphasized. It is noted that the variational autoencoder has an encoder-decoder structure using probabilistic graphical models, where the lower limit is maximized on the logarithmic probability of data, generative adversarial networks have the structure of a discriminator generator through a competitive training game in which data samples are generated directly and autoregressive networks are built. the principle of factorization of the joint distribution of data in conditional distributions, modeling each individual dimension taking into account previous measurements. It is emphasized that in the case of effective learning, the variational autoencoder can act in two variations, as a powerful effective generative model and as an effective learning environment for natural language. The generative competition network is an effective mechanism for generating images, which works on the basis of two networks: a generator for synthesis and a discriminator for image resolution.*

**Key words:** generative network, generative model, neural network, learning, scalability, image generation.

**Логінова Н.І.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

**Янковський О.Г.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

**Лобода Ю.Г.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

**Толокнов А.А.**

Національний університет «Одеська юридична академія»

## **ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗОВАНОГО ФОРМУВАННЯ РОЗПОДІЛУ НАВЧАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНИХ ПРАЦІВНИКІВ КАФЕДРИ**

*Розподіл навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри вищого навчального закладу належить до стандартних завдань управління навчальним процесом, є трудомістким і займає багато часу. У статті запропонована програмна реалізація задачі автоматизованого формування розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри за допомогою широко розповсюдженого табличного процесору Microsoft Excel і технологій об'єктно-орієнтованого програмування в середовищі VBA, що входять до складу застосунку Office 365 (Microsoft Office). Розроблено загальний алгоритм розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри, на основі якого реалізований програмний продукт. Представлена блок-схема запропонованого алгоритму та наведено призначення її складових частин. Описано принцип побудови програмного продукту, який складається з декількох модулів, що розташовані на окремих аркушах електронної таблиці. Головний модуль програми побудований у вигляді електронної таблиці та містить різні елементи управління – кнопки та поля зі списками, які за допомогою програмних кодів пов'язані з іншими аркушами електронної таблиці. Наведено перелік послідовних операцій щодо формування розподілу навчального навантаження, які вдалося автоматизувати. Результати використання програмного продукту свідчать про скорочення часу, що витрачається на формування розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри. Введення вхідних даних для розрахунку шляхом копіювання з керівних плануючих документів мінімізує вірогідність помилкового введення даних. Розроблений програмний продукт має зручний інтерфейс користувача. Програма не потребує додаткового встановлення та налаштування, прив'язки до мережі інтернет і дає можливість працювати із флеш-носія.*

**Ключові слова:** алгоритм, автоматизація навчальної діяльності, навчальне навантаження, інформаційна система, VBA, об'єктно-орієнтоване програмування, табличний процесор, програмний продукт.

**Постановка проблеми.** Ефективність функціонування закладу освіти залежить від багатьох факторів, у т. ч. й від автоматизації різноманітних напрямів навчальної діяльності. Розподіл навчального навантаження на кафедрі є одним із клопітних і складних завдань, які щорічно виконують завідувачі кафедр.

На ринку інформаційних продуктів існує багато інформаційних систем, що призначені для автоматизації навчального процесу у вишах. Прикладами є автоматизована система управління

вищим навчальним закладом АСУ «ВНЗ», розроблена Науково-дослідним інститутом Прикладних інформаційних технологій Кібернетичного центру Національної академії наук України [1], комп'ютерні системи «Деканат», «Колоквіум», «ПС-Персонал» приватного підприємства «Політек-Софт» [2], «ВНЗ АЛЬМА-МАТЕР» [3] тощо, але всі вони розроблені для рішення багатofункціональних завдань і містять зайві функції, які, як показує практика, ніколи не будуть використовуватися на кафедрах. Це підтверджує

актуальність розробки та впровадження у систему організації навчального процесу кафедри вищого навчального закладу простої інформаційної системи на основі електронної книги, створеної за допомогою широко розповсюдженого табличного процесору Microsoft Excel і мови програмування Visual Basic for Applications (VBA), що входять до складу застосунку Office 365 (Microsoft Office).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** свідчить про те, що чимала кількість наукових праць присвячена вивченню різноманітних аспектів використання інформаційних технологій і розробці програмного забезпечення для автоматизації діяльності викладача навчального закладу. Зокрема, В. Григорович [4] розглядає різноманітні підходи до проектування та розроблення інформаційних систем оптимізації структури й автоматизації управління вищим навчальним закладом, а саме систем формування обсягу навчального навантаження кафедр і систем управління розподілом ставок заробітної плати професорсько-викладацького складу. Напрями вдосконалення програми автоматичного робочого місця викладача для інтеграції її до інформаційної системи управління навчальним процесом сформував вчені П. Гроза, С. Сомов, Т. Сайко [5]. У наукових працях А. Смолянова досліджувалися та висвітлювалися програмні продукти, призначені для автоматизованої обробки інформації організації та управління навчальним процесом на рівні кафедри. Це програми, які дозволяють автоматизувати процеси розрахунку навчального навантаження кафедри та генерації звітних документів стандартного вигляду [6]. На думку А. Сеньківської, І. Фураєвої, для реалізації завдань автоматизації процесу розподілу навчального навантаження кафедри необхідно розглядати жадібні алгоритми, спрямовані на оптимізацію цього процесу [7], проте ці дослідження показують, що така задача специфічна для кожного вишу і вимагає індивідуального підходу.

**Постановка завдання.** Для підвищення ефективності функціонування навчального закладу перед колективом кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія» була поставлена задача створення якісного і доступного для широкого кола підрозділів університету програмного продукту, який володіє простотою користування, мінімізує вірогідність помилкового введення даних і забезпечує елементи автоматичного розподілу навчального навантаження викладачів кафедри.

Метою статті є розробка алгоритму формування розподілу навчального навантаження нау-

ково-педагогічних працівників кафедри й описання його програмної реалізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розподіл навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри вищого навчального закладу належить до стандартних завдань управління навчальним процесом. Зазвичай цей процес є трудомістким і займає багато часу. При розподілі навантаження треба враховувати багато факторів: обмеження з можливої загальної кількості аудиторних годин на кожного викладача; відповідність дисципліни фаху викладача; погодинний режим роботи; розподіл навчального навантаження за семестрами; можливість проведення занять у підгрупах (що є актуальним на період карантинних обмежень) тощо.

Шаблони подання вхідних даних і результати розподілу навантаження створюються за допомогою електронних таблиць. Зазвичай це робиться у табличному процесорі Microsoft Excel, тому для автоматизації процесу розподілу зручно використовувати вбудовані в електронні таблиці рішення, оскільки вони не вимагають встановлення додаткового програмного забезпечення та вивчення нових програмних продуктів.

Розподіл навчального навантаження на кафедрі складається з декількох етапів. У цій роботі був розроблений загальний алгоритм розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри. Блок-схема алгоритму наведена на рис. 1. Розглянемо призначення її складників.

Блок 1 – отримання загального навчального навантаження кафедри з навчального відділу (у вигляді файлу).

Блок 2 – введення даних про загальне навчальне навантаження кафедри.

Блок 3 – організація циклу за викладачами.

Блок 4 – введення анкетних даних викладачів кафедри (прізвище, ім'я, по батькові, посада, вчене звання, штатний/сумісник).

Блок 5 – створення аркуша індивідуального навантаження викладача (на основі шаблону).

Блок 6 – введення даних про параметри навчального навантаження (семестр навчання, вид навантаження (бюджет/погодинне), форма навчання).

Блок 7 – введення даних про параметри навчальної дисципліни (назва дисципліни, відомості про навчальні підрозділи, розрахунок годин за видами занять, загальний бюджет дисципліни).

Блок 8 – заповнення вхідних даних для розрахунку навантаження.

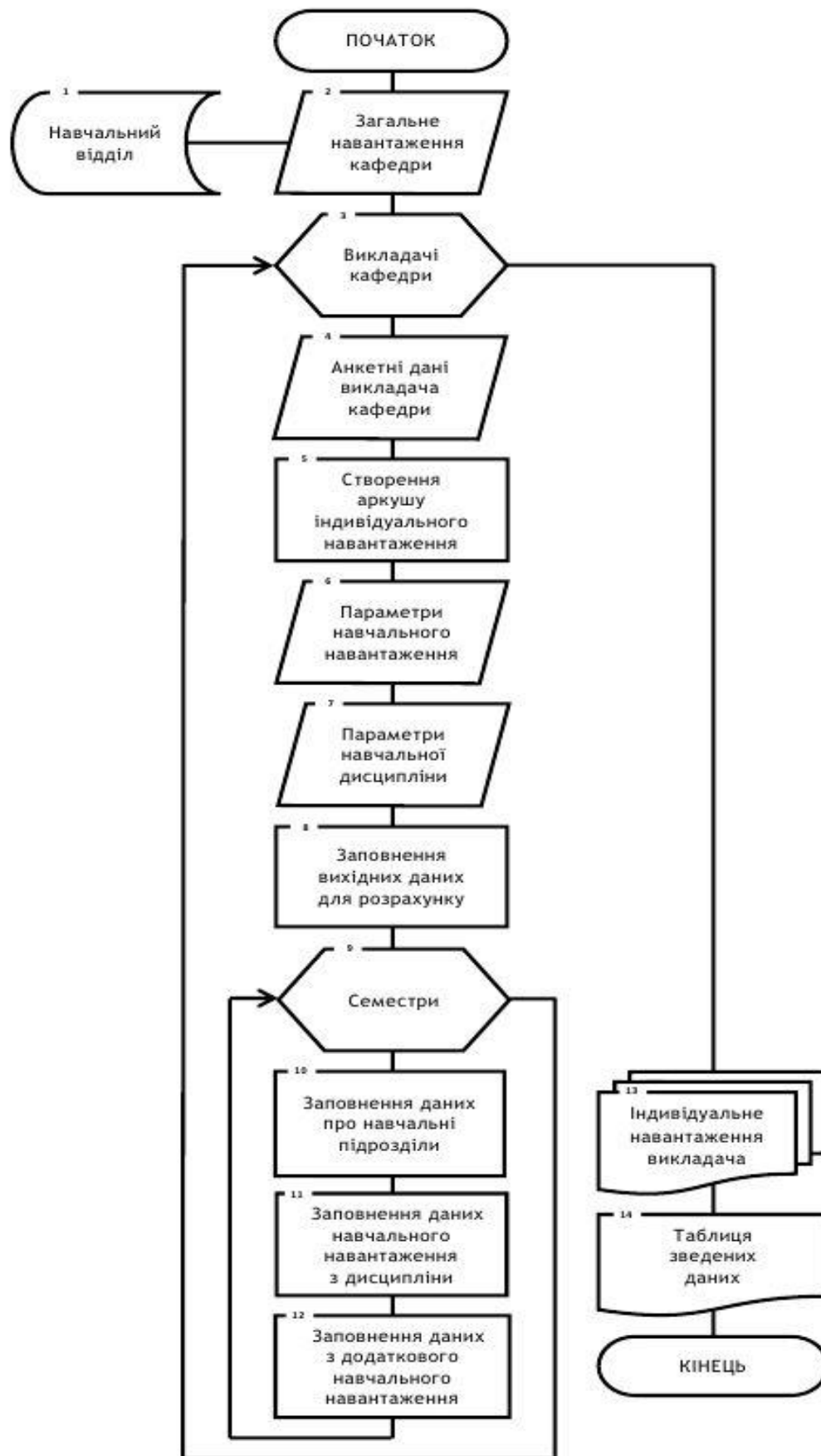


Рис. 1. Загальний алгоритм розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри

Блок 9 – організація циклу за семестрами навчання.

Блок 10 – заповнення даних про навчальні підрозділи (назва дисципліни, факультет, курс, кількість студентів, кількість груп, кількість потоків).

Блок 11 – заповнення годин навчального навантаження з дисципліни (лекції, консультації, практичні/лабораторні заняття, курсові роботи, контрольні роботи, заліки/іспити).

Блок 12 – заповнення годин із додаткового навчального навантаження (аспірантура, практика, ДЕК, кваліфікаційні роботи).

Блок 13 – формування таблиць індивідуального навантаження викладачів.

Блок 14 – формування таблиці зведених даних із навантаження кафедри.

Для реалізації цього алгоритму та рішення задачі автоматизації формування розподілу індивідуального навантаження були використані програмні рішення, засновані на інтеграції вбудованих функцій табличного процесору Microsoft Excel і технології об'єктно-орієнтованого програмування у середовищі VBA.

Мова програмування VBA дозволяє створювати користувацькі форми з наборами елементів управління та відповідним їм процедурами обробки подій, що виникають при взаємодії користувача програми та інформаційної системи. Поєднання мови програмування VBA та можливостей табличного процесора Microsoft Excel надає програмі гнучкості та технологічності, дозволяє використовувати електронні таблиці як

інструмент розробки прикладного програмного забезпечення для автоматизації задач управління, зокрема розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри.

Програма формування автоматизованого розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри побудована з декількох програмних модулів, які розташовані на окремих аркушах електронної книги, створеної у табличному процесорі Microsoft Excel.

Вхідними даними для рішення задачі розподілу є загальне навчальне навантаження кафедри, що надається навчальним відділом у формі електронної таблиці з формулами розрахунків дисциплін кафедри за групами і кількістю студентів. На основі цих даних і визначається кількість викладачів кафедри на навчальний рік. Для роботи у програмі ці дані копіюються на аркуші семестрів (1с та 2с).

Наступним етапом роботи із програмою є заповнення даних про науково-педагогічних працівників кафедри за допомогою екранної форми «Викладачі» (рис. 2).

При натисканні кнопки «Введення» дані зберігаються на аркуші «Викладачі». Водночас для кожного викладача на основі еталонного аркуша навантаження формується аркуш індивідуального навантаження й автоматично заповнюється зведена таблиця навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри.

Шаблонний аркуш індивідуального навантаження містить іменовані діапазони клітинок,

Рис. 2. Форма «Викладачі»

розподілені на навантаження, що входить до бюджетних годин, і на погодинну оплату. Також за допомогою іменованих діапазонів відбувається розподіл годин навчального навантаження за семестрами.

Після формування списку науково-педагогічних працівників кафедри можна виконувати формування розподілу індивідуального навчального навантаження. Розробити повністю автоматичне виконання такої задачі не є можливим, оскільки існує низка умов, які індивідуальні для кожного викладача, але можна максимально спростити її.

Головним модулем програми є аркуш «Розподіл» (рис. 3), на якому розміщені елементи управління – кнопки та поля зі списками, що за допомогою програмних кодів пов'язані з аркушами індивідуального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри.

Формування розподілу навчального навантаження за допомогою програми – це виконання послідовних операцій, які повторюються:

1. Очищення даних перед виконанням розподілу бюджету дисципліни. Ця операція видаляє всі зайві дані з аркуша й оновлює формули у клітинках електронної таблиці за допомогою кнопки

«Очистити діапазон», програмний код якої складається із присвоювання діапазону змінних і заповнення їх формулами розрахунків годин за видами навчального навантаження (рис. 4).

2. Вибір дисципліни з аркушів 1с або 2с здійснюється за допомогою форми «Вибір дисципліни», котра відкривається натисканням однієї кнопки. Дисципліна з аркуша семестру копіюється на аркуш «Розподіл». Для зручності обрана дисципліна виділяється кольором, що свідчить про її розподіл.

3. За допомогою списків, які відкриваються, потрібно обрати семестр, у якому вивчається дисципліна, вид навантаження (бюджет або погодинна) та форму навчання (денна чи заочна). Від цих даних залежить заповнення аркушів індивідуального навчального навантаження кожного науково-педагогічного працівника кафедри.

4. У розділі «Викладачі» на аркуші «Розподіл» розташовані списки із прізвищами викладачів, які будуть виконувати навчальне навантаження за дисципліною, та кнопка «Копіювати навантаження», за допомогою якої розподілене навантаження буде скопійоване на аркуші індивідуального навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри.

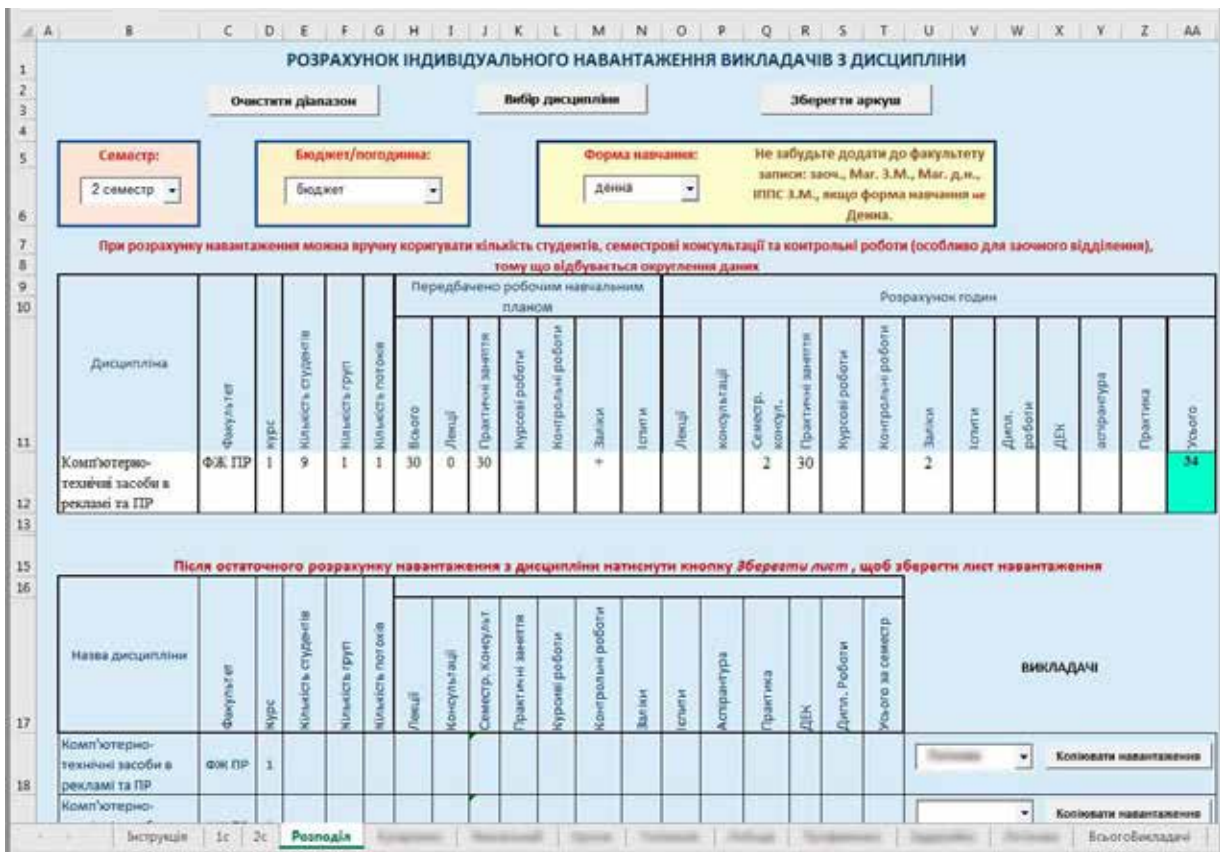


Рис. 3. Аркуш «Розподіл»



```

cmbOchistDiapazon
Click

'Заливка очищеного діапазону кольором фону
With Selection.Interior
    Discipl.Interior.Color = 16247773
End With

'Заповнення очищеного діапазону формулами

Nazva.Formula = "=$B$12"
Facult.Formula = "=$C$12"
Kurs.Formula = "=$D$12"
KolStud.Formula = "=F18*$F$14"
Leccs.Formula = "=G18*$I$12"
Kons.Formula = "=IF($N$12=""+"", F18*2, 0)"
SemKons.Formula = "=ROUND($H$12*6*$F18, 0)"
Pract.Formula = "=$J$12*F18"
Kursovo.Formula = "=$K$12*3"
KontrRab.Formula = "=ROUND($L$12*0.33, 0)"
Zalik.Formula = "=IF($M$12=""+"", F18*2, 0)"

```

Рис. 4. Фрагмент програмного коду процедури обробки події натиснення кнопки «Очистити діапазон»

5. У таблиці розрахунку навантаження з дисципліни потрібно ввести тільки кількість груп і потоків, і на основі цих значень програма автоматично розрахує години за видами навчальних занять для кожного викладача. У підсумковому рядку відображається сумарне значення годин на вивчення дисципліни, яке порівнюється із загальними даними з таблиці з навчального відділу. Якщо у клітинках «Всього бюджет» або «Всього погодинно» відображається помилка, можна вручну відкоригувати кількість студентів, години на консультації та контрольні роботи, оскільки програма виконує округлення даних. Після остаточного корегування за допомогою кнопки «Копіювати навантаження» напроти кожного прізвища викладача розподілене навантаження за конкретною дисципліною буде скопійоване на аркуш індивідуального навчального навантаження науково-педагогічного працівника кафедри.

6. Для зручності подальших розрахунків передбачена форма для збереження аркуша розподілу годин на вивчення конкретної дисципліни, яка відкривається натисканням кнопки «Зберегти аркуш». Аркуш розподілу бюджету дисципліни зберігається у робочій книзі та за необхідності надає можливість перерахувати ці дані.

При заповненні аркушів індивідуального навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри автоматично заповнюється аркуш зведеного навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри.

**Висновки.** У статті було описано загальний алгоритм розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри вищого навчального закладу та його програмна реалізація за допомогою табличного процесору Microsoft Excel і мови програмування VBA.

Використання запропонованої програми дозволяє скоротити час, який витрачається на формування розподілу навчального навантаження науково-педагогічних працівників кафедри. Введення вхідних даних для розрахунку шляхом копіювання з керівних плануючих документів мінімізує вірогідність помилкового введення даних. У програмі передбачена можливість збереження результатів розподілу навчального навантаження з дисциплін між викладачами, що дозволяє за необхідності ввести зміни.

Розроблений програмний продукт не потребує встановлення та налаштування, прив'язки до мережі інтернет і дозволяє працювати із програмою із флеш-носія.

#### Список літератури:

1. Автоматизована система управління ВНЗ. URL: <http://ndipit.com.ua/ua/#tab2> (дата звернення 16.12.2020).
2. Програмне забезпечення для вищих навчальних закладів України. URL: <http://www.politek-soft.kiev.ua/ru/> (дата звернення 16.12.2020).

3. Програма автоматизації ВНЗ «АЛЬМА-МАТЕР». URL: <http://www.alma-mater.org.ua> (дата звернення 16.12.2020).
4. Григорович В.Г. Інформаційні системи розрахунку навчального навантаження та розподілу штатів ВНЗ. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп'ютерні науки та інформаційні технології*. 2016. № 843. С. 94–103.
5. Гроза П.М., Сомов С.В., Гроза О.П., Сайко Т.С. Застосування інформаційних технологій для автоматизації діяльності викладача вишу. *Системи обробки інформації*. 2016. Вип. 2. С. 209–211.
6. Смолянов А.Г. Управление кафедрой: автоматизированный расчёт учебной нагрузки. *Международный журнал «Символ науки»*. 2015. № 10-2. С. 45–51.
7. Сеньковская А.А., Фураева И.И. Моделирование процесса распределения учебной нагрузки кафедры с использованием жадного алгоритма. *Математические структуры и моделирование*. 2017. № 4 (44). С. 101–108.

**Loginova N.I., Iankovskii O.G., Loboda Yu.G., Toloknov A.A. SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE TASK FOR AUTOMATED FORMATION DISTRIBUTION OF THE STUDY LOAD FOR THE TEACHING SCIENTIFIC STAFF OF THE DEPARTMENT**

*The distribution of the study load of the teaching scientific staff of the Department of Higher Education relates to the standard tasks of educational management. This process is labor-intensive and time-consuming. The article proposes a software implementation of the task of automated formation distribution of the study load of the department. To do this, use popular spreadsheet program Microsoft Excel and technology of object-oriented VBA programming, which are part of the Microsoft Office applications. The authors developed a general algorithm for distribution the study load. Based on which the software product was implemented. The flowchart of the proposed algorithm is presented, and the assignment of its components is described. The principle of building a software product that consists of several modules is described. These modules are placed on separate sheets of the spreadsheet. The main module of the program is structured in the form of a spreadsheet and contains various control elements (buttons and combo boxes) which are connected to other spreadsheet sheets by program codes. The list of sequential operations that have been automated to create a study load is presented. The results of using the software product indicate a decrease in the time spent on the formation of the distribution of the study load. Copying incoming data for calculation from planning documents minimizes the probability of erroneous data entry. The developed software product has a convenient user interface. The program does not require additional installation and configuration. Does not require internet connection. It is possible to work from a flash drive.*

**Key words:** algorithm, learning automation, study load, information system, VBA, object-oriented programming, table processor, software product.

**Мануляк І.З.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Мельничук С.І.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОГО ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ ЗІ ЗБЕРЕЖЕННЯМ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ ДАНИХ**

*Побудова інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем ґрунтується на використанні первинних перетворювачів, які забезпечують формування сигналів щодо контрольованого параметру із визначеною інформаційною продуктивністю. На сучасному етапі розвитку цифрових систем формування і передача сигналів сенсорів в аналоговому представленні зазнає значних спотворень внаслідок дії завад комунікаційного каналу. З іншого боку, суттєве здешевлення та мініатюризація цифрових компонентів зумовили спрощення інтеграції АЦП у первинний перетворювач із подальшою організацією передачі даних у дискретному представленні.*

*У такій ситуації швидкість перетворення АЦП практично визначає інформаційну продуктивність первинного перетворювача як джерела інформації про контрольований параметр. Наявність похибки перетворення сенсора й АЦП, яка залежить від використаних схемних рішень, а також від швидкості перетворення, зумовлює потребу додаткового цифрового опрацювання таких сигналів, однак такий підхід, у свою чергу, приводить до зменшення інформаційної продуктивності джерела, оскільки потребує використання деякої множини вимірюваних даних, що може бути компенсовано зменшенням швидкості перетворення АЦП.*

*У статті розглянуто можливість застосування методів попереднього опрацювання сигналів первинних перетворювачів на прикладі інфрачервоного сенсора відстані SHARP 2Y0A21. Згаданий перетворювач має конструктивну можливість змінювати частоту формування вимірювальних даних, орієнтовно від 9 до 300 кГц. Проаналізовано можливість застосування ковзних методів опрацювання, що ґрунтуються на статистичному оцінюванні послідовних фрагментів сигналу сенсора і практично не зменшують інформаційної продуктивності, однак приводять до затримки появи вимірювальних даних після включення. Розглянуто статистичні оцінки, зокрема ковзні значення середнього, медіани та рекурсивного фільтру першого порядку з різними параметрами, а також досліджено вплив розміру фрагмента сигналу на середній квадратичний відхил внаслідок опрацювання.*

**Ключові слова:** *первинний перетворювач, вимірювальний сигнал, інформаційна продуктивність, статистичні оцінки, цифрове опрацювання.*

**Постановка проблеми.** Однією із проблем, що виникають при проектуванні та імплементації цифрових інформаційно-вимірювальних каналів комп'ютерних систем, є забезпечення прийнятної продуктивності зі збереженням експлуатаційної ефективності та точності. На сучасному етапі розвитку вимірювальні канали розподілених комп'ютерних систем здатні формувати потоки цифрових даних, що потребує створення спеціалізованих засобів для їх опрацювання та інтерпретації. До впливових чинників у такій ситуації слід віднести функціональні параметри сенсора та швидкість перетворення АЦП, зростання якої практично прямо пропорційно впливає на зростання похибки перетворення.

Вирішення такої проблеми може здійснюватися за рахунок вдосконалення апаратної частини або шляхом використання наявних чи розробки нових методів опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів. Слід зазначити, що використання сучасних платформ із обмеженими обчислювальними ресурсами може забезпечити прийнятну універсальність, а також відповідну компактність без суттєвого зростання вартості такого перетворювача порівняно з апаратними удосконаленнями, які практично потребують заміни частини обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1] розглянуто методи цифрового опрацювання аналогових і дискретних сигналів, описано їхні

переваги та недоліки, однак слід зазначити, що характеристики інформаційно-вимірювальних сигналів первинних перетворювачів не завжди дозволяють ефективно застосовувати традиційні методи опрацювання. У матеріалах [2; 3] розглянуто методи опрацювання, які ґрунтуються на використанні частотних характеристик сигналів сенсорних елементів перетворювача, а також запропоновано застосування інформаційної ентропії для їх ідентифікації, що лише частково вирішує питання впливу спотворень, які зазнають вимірювальні дані. При створенні вимірювальних каналів із високою інформаційною продуктивністю виникає низка проблем, пов'язаних із опрацюванням потоків вимірювальних даних, зокрема експлуатаційної надійності та точності, які часто потребують застосування різних підходів і методів при опрацюванні.

**Постановка завдання.** Одним із варіантів вирішення вище описаних проблем може бути використання алгоритмічно простих методів попереднього опрацювання вимірювальних сигналів, котрі порівняно нескладно реалізувати на базі обчислювальних платформ із обмеженими обчислювальними ресурсами. Таким чином, провівши дослідження зміни середнього квадратичного відхилення результатів опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів первинного перетворювача, можна зробити обґрунтовані висновки щодо ефективності використання методів статистичного оцінювання, зокрема ковзні значення середнього, медіани, а також рекурсивного фільтру першого порядку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У ході експериментальних досліджень використано ІЧ первинний перетворювач відстані SHARP 2Y0A21 F88, структурна схема якого подана на рис. 1а [4].

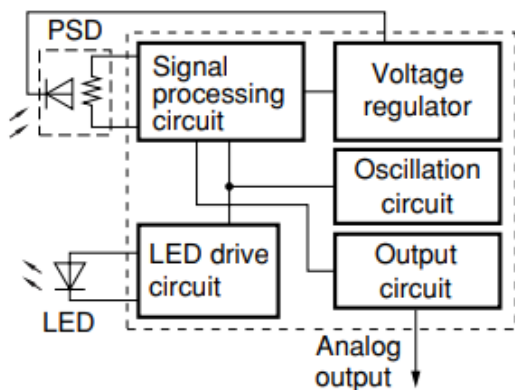


Рис. 1. Структурна схема перетворювача SHARP 2Y0A21 F88

Компактний перетворювач містить ІЧ-фотопару, виконання корпусу якої запобігає паразитному засвіченню фотоелемента, й апаратну реалізацію схеми формування аналогового вимірювального сигналу напруги, що пропорційна до відстані, яка вимірюється, див. рис. 1б. Діапазон можливих вимірювань відстані становить від 4 до 80 см.

Важливою конструктивною особливістю обраного первинного перетворювача є можливість апаратного налаштування частоти перетворення, яке задається через Prescaler шляхом управління бітами ADPS у регістрі ADCSRA. Значення біт і відповідно розраховані частоти формування вимірювального сигналу подано в табл. 1.

Таблиця 1

Зміна частоти перетворення через управління бітами АЦП prescaler ADP2.0

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Prescaler	Частота, кГц
0	0	1	2	-
0	1	0	4	307,6923
0	1	1	8	153,8462
1	0	0	16	76,92308
1	0	1	32	38,46154
1	1	0	64	19,23077
1	1	1	128	9,615385

Керування бітами у регістрі ADCSRA реалізовано на основі функцій cbi() та sbi(), які відповідно позначають обнулення (Clear Bit) і встановлення одиничного значення (Set Bit) вказаного біту, фрагменти реалізації програмного коду подано на рис. 3.

Цифри реалізації вимірювального сигналу із SHARP 2Y0A21 F88 формувалися за допомогою 12-тирозрядного аналого-цифрового перетворювача, інтегрованого в мікроконтролер ATmega

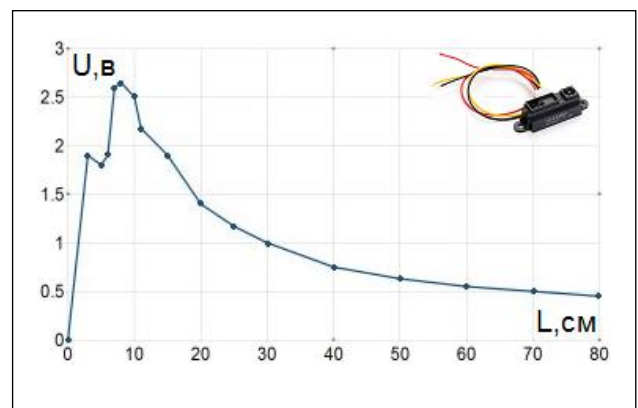


Рис. 2. Залежність напруги вихідного сигналу SHARP 2Y0A21 F88 від вимірюваної відстані

```

cbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) &= ~_BV(bit))
sbi(sfr, bit) (_SFR_BYTE(sfr) |= _BV(bit))

cbi(ADCSRA, ADPS2);
cbi(ADCSRA, ADPS1);
sbi(ADCSRA, ADPS0);
    
```

**Рис. 3. Програма вимірювання відстані з використанням SHARP 2Y0A21**

Установка подільника, що дорівнює 64 – частота дискретизації 19 кГц

328PU. Слід зазначити, що подальша реалізація нижче розглянутих методів попереднього опрацювання оцифрованого сигналу здійснювалися на базі згаданого мікроконтролера.

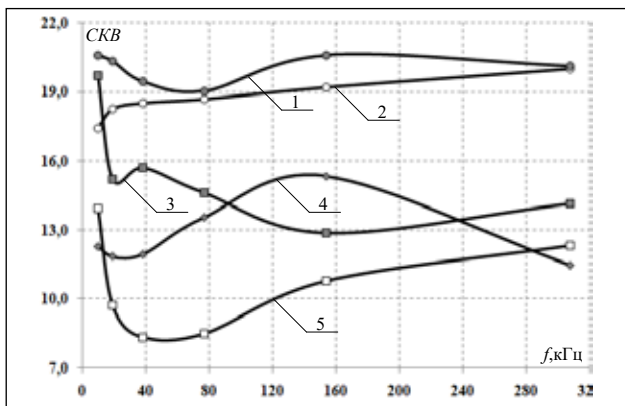
Експериментальні дослідження проводилися для відстаней: 5, 10, 30, 50 і 70 см до перпендикулярно розташованої поверхні білого кольору а також для різної частоти формування вимірювального сигналу, див. табл. 1. Частота перетворення обчислювалася як тактова частота АЦП (для ATmega 328PU складає 16 000 кГц), поділена на значення параметру Prescaler (128, 64, 32, 16, 8 або 4) і поділена на кількість тактів перетворення (13).

У ході дослідження було сформовано 5 вибірок розміром 2 048 елементів для кожної зі згаданих відстаней, за якими здійснювалися оцінювання СКВ до потокового опрацювання, результати подані у табл. 2.

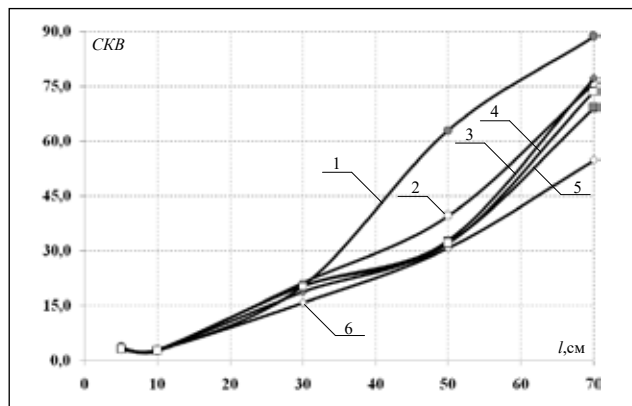
Як можна побачити, величина СКВ збільшується зі збільшенням частоти формування вимірювальних даних (див. рис. 4), що приводить до збільшення похибки.

Крім того, проведено дослідження середнього квадратичного відхилення вимірювальних даних від відстані розташування датчика, результати яких представлено на рис. 5.

Як і в попередньому випадку, СКВ зростає зі зростанням відстані. Крім того, можна побачити, що при наближенні до межі діапазону вимірювання СКВ зростає як при збільшенні відстані, так і при збільшенні частоти формування вимірюваних даних. Одним із варіантів зменшення СКВ може бути використання потокових методів опрацювання сигналів, що ґрунтуються на ковзному статистичному оцінюванні його фрагментів. Зокрема, доцільно розглянути такі методи згладжування: ковзної медіани, ковзного середнього та фільтрів низьких порядків.



**Рис. 4. Результати залежності середнього квадратичного відхилення від частоти вимірювання для відстані:**  
1 – 5 см, 2 – 10 см, 3 – 30 см, 4 – 70 см, 5 – 50 см



**Рис. 5. Залежність СКВ від відстані для частот (кГц):** 1 – 9,6; 2 – 19,2; 3 – 38,4; 4 – 76,9; 5 – 153,8; 6 – 307,7

Таблиця 2

**Зміна СКВ залежно від частоти та відстані**

Prescaler	Частота, кГц	СКВ				
		Відстань L (см)				
		5	10	30	50	70
128	9,615385	20,58119	17,39522	19,71240	13,90998	12,29046
64	19,23077	20,33863	18,26234	15,20889	9,707699	11,83141
32	38,46154	19,43639	18,52103	15,69466	8,330393	11,95170
16	76,92308	19,03617	18,68877	14,58861	8,480343	13,56093
8	153,8462	20,61447	19,18501	12,87286	10,76953	15,35073
4	307,6923	20,14672	20,00339	14,12450	12,30210	11,46320

За методу ковзної медіани медіана визначається у ковзному вікні, тобто середнє значення рівня у межах вікна замінюється медіаною рівнів у вікні [5, с. 111]. Ковзна медіана (SMM) – функція, значення якої в кожній точці визначення чисельно дорівнює медіані значень вихідної функції за встановлений період:

$$SMM_v = \text{Median}(y_i, y_{i-1}, \dots, y_{i-n+1})$$

де  $SMM_i$  – значення простої ковзної медіани в точці  $t$ ;  $n$  – кількість значень вихідної функції для розрахунку ковзної медіани (згладжуючий інтервал);  $y_{i-1}$  – значення вихідної функції у точці  $i-1$ .

Результати використання методу ковзної медіани представлені на рис. 6 (крива 4 та 5).

Суть методу ковзного середнього полягає у тому, що вздовж часового ряду переміщується від рівня до рівня «вікно» розміром  $w = 2k + 1$  рівнів, всередині якого визначається значення середнього арифметичного рівнів у вікні та замінюється ним значення відповідного рівня оригінального ряду за алгоритмом [2]:

$$\tilde{y}_i = y_1^* + y_2^* + K + y_k^* + \sum_{j=k+1}^{N-2k} \left[ \frac{1}{w} \sum_{i=j}^{j+2k+1} y_i \right] + y_{N-k}^* + K + y_{N-1}^* + y_N^*$$

Результати представлені на рис. 5 – криві 2 та 3.

Як можна побачити з рис. 5, загальне зменшення СКВ спостерігається, проте характер кривої є близьким до СКВ без використання методів згладжування.

На наступному етапі досліджень розглянуто використання фільтра першого порядку з різними параметрами –  $a_0$ ,  $b_1$  та  $b_2$ . Практично фільтрація є однією з найпоширеніших операцій вилучення неінформативних складових частин із різних типів сигналів, зокрема основною метою

такого опрацювання традиційно є усунення завад, що містяться в сигналі або у виділенні окремих складників сигналу, які відповідають тим чи іншим властивостям досліджуваного процесу.

При використанні рекурсивних цифрових фільтрів вихідний сигнал у момент часу  $t = nT$  визначають значенням вхідного сигналу  $x$  у цей самий момент часу, а також значеннями вихідних і вхідних сигналів у попередні моменти часу, тобто:

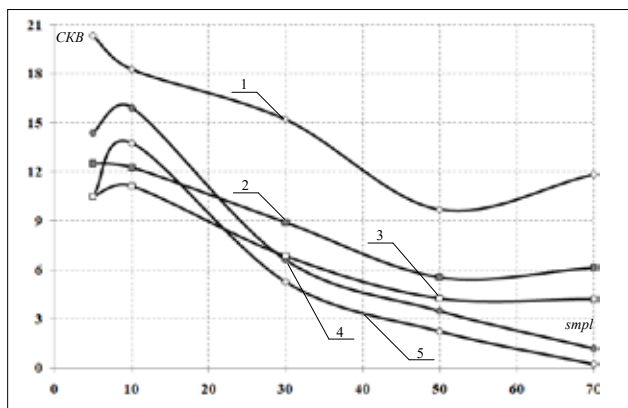
$$y_i = -ay_{i-1} + b_1x_i + b_0x_{i-1},$$

де  $y_i$  – значення рекурсивного цифрового фільтра в точці  $i$ ;  $y_{i-1}$  – значення рекурсивного цифрового фільтра в точці  $i-1$ ;  $i$  – число, яке вказує на порядковий номер отриманих даних;  $a$  – коефіцієнт, що застосовується до попереднього (відфільтрованого) значення  $y_{i-1}$ , для забезпечення адекватної роботи фільтра частот необхідно значення коефіцієнта були у межах  $|a| < 1$ ;  $b_0$  та  $b_1$  – коефіцієнти, які застосовуються до вхідних необроблених даних. Коефіцієнти передавальної функції цифрового фільтра нижніх частот першого порядку повинні відповідати формулі:  $b_0 = b_1 = (1 + a) / 2$ .

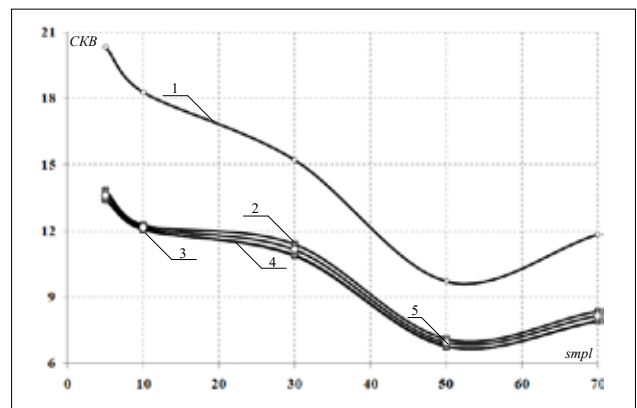
У ході проведення досліджень використано коефіцієнт  $a$  – 0,0005; 0,005; 0,05 та 0,1 з відповідно перерахованими коефіцієнтами  $b_0$  та  $b_1$ . Результати представлені на рис. 7.

Як можна побачити, у разі застосування рекурсивних фільтрів крива повністю повторює криву без застосування методів згладжування (рис. 7, крива 1) незалежно від коефіцієнта  $a$ .

Узагальнені результати порівняння розглянутих методів як різниця між СКВ до процедури потокового опрацювання вимірювальних сигналів і після подано на рис. 8.



**Рис. 6.** Результати залежності середнього квадратичного відхилення 1 – без застосування методів згладжування; при застосуванні методу ковзного середнього 2 – для 3 значень, 3 – для 5 значень; ковзної медіани 4 – для 3 значень, 5 – для 5 значень



**Рис. 7.** Залежність СКВ: 1 – без використання фільтра; при застосуванні фільтрів для коефіцієнта: 2 – 0,1; 3 – 0,0005; 4 – 0,005; 5 – 0,05

Типи та кількість операцій опрацювання фрагменту сигналу різними методами

Методи \ Операції	Додавання	Множення	Ділення	Умовні операції
Медіани	-	-	-	6
Середнього	4	-	1	-
Рекурсивний фільтр першого порядку	2	3	-	-

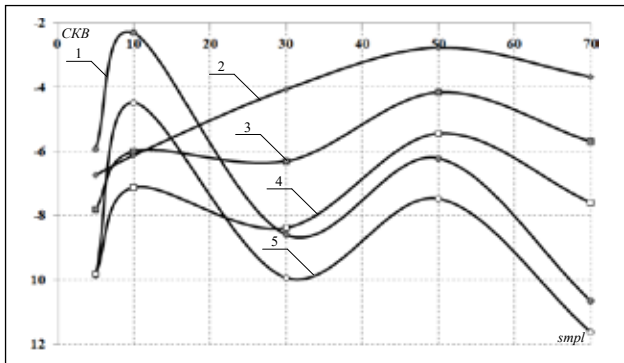


Рис. 8. Залежність різниці СКВ при застосуванні ковзного оцінювання: 1 – медіани для 3 значень; 2 – фільтри 0,05; 3 – ковзне значення для 3 значень; 4 – ковзне середнє для 5 значень; 5 – медіани для 5 значень

З метою попереднього оцінювання обчислювальної складності здійснено огляд кількості типових операцій, які необхідно виконати для

опрацювання однієї вибірки на основі вище розглянутих методів (табл. 3).

Як можна побачити, обчислювальна складність реалізації розглянутих методів відносно нескладна, тобто практично з однаковою ефективністю кожен із них може бути реалізований на доступних платформах з обмеженими обчислювальними ресурсами.

**Висновки.** Отже, на основі проведених досліджень встановлено, що при використанні потокових методів попереднього опрацювання найменше СКВ спостерігається в частині максимального значення шкали діапазону вимірювання для методу ковзної медіани. Крім того, відсутність арифметичних операцій і реалізація пірамідальної схеми умовних конструкцій дозволяє зменшити кількість операцій порівняння, що робить такий метод більш ефективним порівняно з іншими розглянутими методами.

#### Список літератури:

1. Рибальченко М.О., Єгоров О.П., Зворикін В.Б. Цифрова обробка сигналів : навчальний посібник. Дніпро : НМетАУ, 2018. С. 79.
2. Мануляк І.З., Мельничук С.І. Застосування статистичних характеристик для опрацювання імпульсних сигналів первинних перетворювачів витрати представлених в унітарному базисі. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2015. № 5. С. 217–222.
3. Мануляк І.З., Мельничук С.І. Методи та засоби формування інформаційно-вимірювальних сигналів в первинних перетворювачах витрати газу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2015. № 3 (54). С. 156–159.
4. SHARP GP2Y0A21YK0F Distance Measuring Sensor Unit. URL: [https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk\\_e.pdf](https://global.sharp/products/device/lineup/data/pdf/datasheet/gp2y0a21yk_e.pdf).
5. Камінський Р.М., Дмитрів Г.Р. Порівняння методів згладжування часових рядів за критерієм відношення медіан. *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*. 2009. № 653. С. 263.

#### Melnychuk S.I., Manuliak I.Z. USING OF SIGNALS PRE-PROCESSING METHODS WITH PRESERVATION OF DATA SOURCES INFORMATIONAL PRODUCTIVITY

*The construction of computer systems information and measurement channels is based on the use of primary converters, which provide the formation of signals relative to the controlled parameter with a certain information performance. At the present stage of development of digital systems for the formation and sensor signals transmission in the analog representation is significantly distorted due to the interference of the communication channel. On the other hand, the significant reduction in cost and miniaturization of digital components has led to the simplification of the integration of the ADC into the primary converter with the subsequent organization of data transmission in a discrete representation.*

*In this situation, the conversion speed of the ADC practically determines the information performance of the primary converter as an information source about the controlled parameter. The presence of sensor and ADC conversion error, which depends on the circuit solutions used, as well as on the conversion speed,*

*necessitates additional digital processing of such signals. However, this approach, in turn, leads to a decrease in the information productivity of the source, as it requires the use of some set of measured data, which in turn can be offset by a decrease in the conversion rate of the ADC.*

*In the article materials the possibility of application of methods of preliminary signals processing of primary converters on an example of the infrared distance sensor SHARP 2Y0A21 is considered. Said transducer has the design ability to change the frequency of measurement data, approximately from 9 to 300 kHz. The possibility of applying sliding processing methods is analyzed, which are based on statistical evaluation of consecutive fragments of the sensor signal and practically do not reduce information productivity, but lead to a delay in the appearance of measurement data after switching on.*

*Statistical estimates are considered, in particular, the moving values of the mean, median and recursive filter of the first order with different parameters, and the influence of the signal fragment size on the standard deviation as a result of processing is investigated.*

**Key words:** *primary converter, measuring signal, information productivity, statistical estimations, digital processing.*



**Марченко Н.Б.**

Національний авіаційний університет

**Монченко О.В.**

Національний авіаційний університет

**Мартинюк Г.В.**

Національний авіаційний університет

## БАГАТОРІВНЕВІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ДІАГНОСТИКИ ЯК КОНСТРУКТИВНИЙ РОЗВИТОК ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті розглядаються інтелектуальні інформаційні системи моніторингу та діагностики складних промислових об'єктів з урахуванням сучасних інформаційних технологій. Показані шляхи комп'ютерної інтелектуалізації режимів функціонування таких складних промислових об'єктів. Проведений у роботі аналіз параметрів ефективності дозволив визначити декомпозицію основної задачі розробки методів і засобів побудови адаптивної систем багаторівневого моніторингу і діагностування складних промислових об'єктів.

Особливість роботи полягає в тому, що треба вирішувати комплексну задачу побудови систем багаторівневого моніторингу і діагностування складних промислових об'єктів як інтегрованих систем на основі принципів самоорганізації складних систем. Запропонована дворівнева система моніторингу та діагностування стану складних промислових об'єктів, яка відрізняється від аналогів здатністю автоматичного вибору оптимальних режимів роботи підсистем при зміні характеристик вхідного потоку заявок, єдиний підхід, що дозволяє синтезувати оптимальну структуру систем багаторівневого моніторингу і діагностування на етапі проектування і вибрати оптимальний режим роботи підсистем у процесі експлуатації. Представлений метод дослідження систем багаторівневого моніторингу і діагностування на основі багаторівневої моделі масового обслуговування з використанням блока адаптації до зміни інтенсивності вхідного потоку. У роботі представлена розробка узагальненого критерію оцінки ефективності дослідження систем багаторівневого моніторингу і діагностування складних промислових об'єктів і частинних критеріїв для кожної підсистеми, а також дослідження й аналіз методів і засобів організації адаптивних систем багаторівневого моніторингу та діагностування складних промислових об'єктів і вибору ефективних режимів роботи.

**Ключові слова:** автоматизовані системи управління, системи багаторівневого моніторингу і діагностування, адаптивні багаторівневі систем моніторингу та діагностування, оцінки ефективності, багаторівневі моделі масового обслуговування.

**Постановка проблеми.** Одним із основних факторів підвищення ефективності виробництва є забезпечення працездатності й оптимальних технологічних режимів промислового обладнання з використанням автоматизованих систем управління технологічним процесом (далі – АСУ ТП), оснащених сучасними засобами технічної діагностики.

Якість функціонування та застосування засобів технічної діагностики за умов складних технічних об'єктів, техногенних систем зі складною топологією розміщення великої кількості об'єктів визначається ефективністю організації систем технічної діагностики й управління режимами

діагностування на основі багаторівневого моніторингу загального стану об'єктів. Необхідною умовою для подальших досліджень є визначення класу складних промислових об'єктів, основною ознакою якого є складність для моніторингу та діагностування, зумовлена стохастичністю процесів, що відбуваються, складністю конструкції та дефіцитом доступної для контролю інформації.

Інтеграція багаторівневого моніторингу і діагностування зумовила необхідність створення методів і засобів побудови систем багаторівневого моніторингу і діагностування (далі – СБМД). Особливо актуальною на сучасному етапі стає проблема розробки методологічних принципів побу-

дови автоматизованих СБМД для класу складних промислових об'єктів (ГЕС, ТЕС, АЕС).

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження, аналіз і розробка нових методів і засобів побудови ефективних адаптивних багаторівневих систем моніторингу та діагностування складних промислових об'єктів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Створення методології побудови адаптивних СБМД складних промислових об'єктів визначає вирішення таких основних задач:

- розробки узагальненої функціонально-логічної моделі складних промислових об'єктів;
- аналізу наявних методів і засобів побудови системи багаторівневого моніторингу та діагностики складних промислових об'єктів і визначення концепції створення методології СБМД складних промислових об'єктів;
- розробки узагальненого критерію оцінки ефективності СБМД складних промислових об'єктів і частинних критеріїв для кожної підсистеми;
- дослідження й аналізу методів і засобів організації адаптивних СБМД складних промислових об'єктів і вибору ефективних режимів роботи.

Особливість роботи полягає в тому, що треба вирішувати комплексну задачу побудови СБМД складних промислових об'єктів як інтегрованих систем на основі принципів самоорганізації складних систем. Запропонована дворівнева система моніторингу та діагностування стану складних промислових об'єктів, яка відрізняється від аналогів здатністю автоматичного вибору оптимальних режимів роботи підсистем при зміні характеристик вхідного потоку заявок. Запропоновано єдиний підхід, що дозволяє синтезувати оптимальну структуру СБМД на етапі проектування і вибрати оптимальний режим роботи підсистем у процесі експлуатації. Представлений метод дослідження СБМД на основі багаторівневої моделі масового обслуговування з використанням блока адаптації до зміни інтенсивності вхідного потоку. Надалі на базі цих досліджень може бути розроблений комбінаційно-ймовірнісний метод аналізу режимів роботи СБМД із циклічною дисципліною обслуговування заявок, а також алгоритм обчислення числа маршрутів у системі з циклічним обслуговуванням заявок.

Основними положеннями роботи є:

1. Дворівнева система СБМД складних промислових об'єктів, що містить на верхньому рівні підсистему моніторингу, а на нижньому – підсистему діагностування.

2. Сукупність методів для вибору оптимальної СБМД складних промислових об'єктів на етапі проектування й ефективних режимів роботи на етапі експлуатації.

3. Система імітаційних моделей для дослідження, аналізу та вибору проектних рішень при побудові СБМД складних промислових об'єктів.

4. Алгоритмічне, програмне та технічне забезпечення для реалізації методів побудови адаптивних СБМД складних промислових об'єктів.

5. Результати дослідження методів і засобів побудови СБМД складних промислових об'єктів.

У роботі [1, с. 123] розглянуті різні аспекти СБМД як складового елемента АСУ ТП, а саме: структурний, функціональний та економічний. Показано, що у складі сучасних АСУ ТП системи моніторингу на рівні підсистем виконують функції інтелектуального датчика стану об'єктів. Слід відзначити, що принцип управління за обмеженим числом параметрів, який широко використовується в АСУ ТП, може бути застосований переважно для детермінованих об'єктів і не є адекватним у випадку промислових об'єктів, що відрізняються складною структурою та стохастичною поведінкою. СБМД у складі АСУ ТП дозволяє забезпечити керуючі органи додатковою інформацією про стан об'єкта, отриманою на основі ускладненої обробки параметрів об'єктів, які доступні для вимірювання. Особливістю структури багаторівневих систем, що розглядаються, є те, що прийняття рішення щодо стратегії попередження та ліквідації наслідків нерегламентованих станів виконується безпосередньо СБМД, що розвантажує керуючі органи та забезпечує АСУ ТП необхідними функціональними інструментами [2, с. 63; 3, с. 80–84].

Основною задачею побудови СБМД є визначення проектних рішень, які дозволяють отримати максимальне значення вибраного критерію  $E$  [4, с. 54]:

$$E = \max E(X)$$

$$E \in E_p, X \in F \quad (1)$$

$$F_x = \{X | Z_p(X) \leq Z_s, T_p(X) \leq T_s\},$$

де  $E(X)$  та  $E_p$  – відповідно цільова функція проектування СБМД та допустима область зміни  $E$ ;  $X$  – вектор проектних показників СБМД, що містить у собі проектні характеристики підсистем, тобто  $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$ ;  $F$  та  $F_x$  – відповідно вся допустима область змін  $X$ ;  $Z_p$  та  $Z_s$  – відповідно фактичні та допустимі собівартісні затрати на отримання проектних параметрів системи;  $T_p$

та  $T_s$  – відповідно реальний і допустимий час на прийняття остаточного рішення в СБМД.

З урахуванням (1) постановку задачі на проектування СБМД можна представити таким чином [2, с. 64; 5, с. 44]:

$$X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\} \rightarrow \max E(X) | Z_p \leq Z_s, T_p \leq T_s. \quad (2)$$

$$X \in F \quad E \in E_p$$

Оскільки задачею СБМД є визначення належності досліджуваного стану до одного зі станів класу нерегламентованого стану (НС) або до класу регламентованих станів (РС) і прийняття відповідних рішень, цільову функцію СБМД можна представити таким чином [2, с. 64]:

$$E = \sum_{i=1}^M N_i \{ [e_i(1-\alpha) + z_{\alpha,i}\alpha] \cdot P_i + [e_B(1-\beta) + z_{\beta,i}\beta] \cdot P_B \}, \quad (3)$$

де  $M$  – число видів контрольованих станів СБМД, що входять до стану НС і визначають повноту діагностування;  $N_i$  – число перевірок на  $i$ -ий НС протягом деякого інтервалу  $T$ ;  $e_i$  та  $e_B$  – ефект від правильного прийняття рішень, якщо контролюється  $i$ -ий стан із класу НС або стан із класу РС;  $z_{\alpha,i}$  та  $z_{\beta,i}$  – відповідні ефекти у вигляді затрат від помилкового прийняття рішень;  $\alpha$  і  $\beta$  – відповідно похибки першого та другого роду при виборі остаточного рішення СБМД;  $P_i$  та  $P_B$  – апіорні ймовірності  $i$ -го НС та РС складних промислових об'єктів. З виразу (3) видно, що проектними є параметри  $\alpha$  і  $\beta$ , які характеризують похибки прийняття рішень у СБМД, інші аргументи визначають умови задачі. Параметри  $\alpha$  і  $\beta$  можуть бути отримані у процесі випробування СБМД за реальних умов, а також внаслідок обчислення відповідних аналітичних виразів, отриманих у процесі розробки СБМД [6, с. 37]. Середня статистична оцінка загальної достовірності прийняття рішень у СБМД за результатами випробувань визначається таким чином:

$$D = 1 - \frac{\alpha + \beta}{2}. \quad (4)$$

Слід зауважити, що параметри  $\alpha$  і  $\beta$  у виразі (3) є узагальненими, оскільки рішення приймається на основі сумісної роботи підсистем контролю, діагностування, прогнозування і прийняття рішень. З урахуванням послідовного характеру роботи підсистем при обробці кожної заявки загальна достовірність прийняття рішень визначається таким чином:

$$D = D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4, \quad (5)$$

де співмножники характеризують достовірності прийняття рішень і визначаються з урахуванням специфіки конкретної підсистеми

[7, с. 139]. Зокрема,  $D_1$  та  $D_2$  оцінюються за виразом (4), а  $D_3$  та  $D_4$  як ймовірності знаходження заданої похибки прогнозу залишкового ресурсу та прогнозу виникнення несанкціонованих станів складних систем на перспективу.  $D_3$  та  $D_4$  на стадії проектування системи визначаються з використанням статистик Стьюдента за таблицями  $t$ -розподілу. На стадії випробувань та експлуатації ці параметри визначаються як співвідношення підтвердження прогнозів до загального числа прогнозів. Вираз (5) справедливий для СБМД, у яких показники достовірності не залежать від змін станів об'єктів у часі. Особливістю класу СБМД складних промислових об'єктів є їх функціонування за умов динамічного вимірювання стану об'єктів і відповідної зміни інформативності параметрів, що суттєво впливає на характеристики СБМД, представлені у виразі (1). Крім того, залежно від оперативності прийняття рішень знаходиться частка залишкового ресурсу об'єкта, величина якого є обернено залежною від часових затримок на прийняття рішень і яку можна зберегти при достовірному рішенні. На рис. 1 представлено графіки втрати якості складних промислових об'єктів ( $L(t)$ ), зміни ймовірності правильного прийняття рішень ( $D(t)$ ) та ефективності від прийняття рішень ( $E(t)$ ).

Точка  $a$  на графіку втрат відповідає початковому моменту виникнення НС, точка  $b$  – моменту визначення відхилень у стані складного промислового об'єкта, точки  $c$ ,  $d$  та  $e$  відповідають моменту часу оптимального прийняття рішення з погляду мінімальної похибки та максимально можливого збереження залишкового ресурсу складного промислового об'єкта [4, с. 59].

При відомих залежних  $D(t)$  та  $L(t)$  оцінка якості СБМД визначається згідно з виразом:

$$K(t) = D(t) \cdot [1 - L(t)], \quad (6)$$

де  $t$  – поточний час, починаючи з моменту визначення НС.

$$D(t) = D_1(t) \cdot D_2(t) \cdot D_3(t) \cdot D_4(t), \quad (7)$$

де  $D_1(t) - D_4(t)$  – параметри, що характеризують достовірності прийняття рішень для кожної з чотирьох підсистем СБМД, які відповідають моменту часу  $t$ .

У (6) параметр  $K(t)$  характеризує ймовірнісну величину збереженого ресурсу складного промислового об'єкта у разі достовірного рішення. Аналіз виразів (5) і (6) дозволяє зробити висновок щодо можливості застосувати параметри

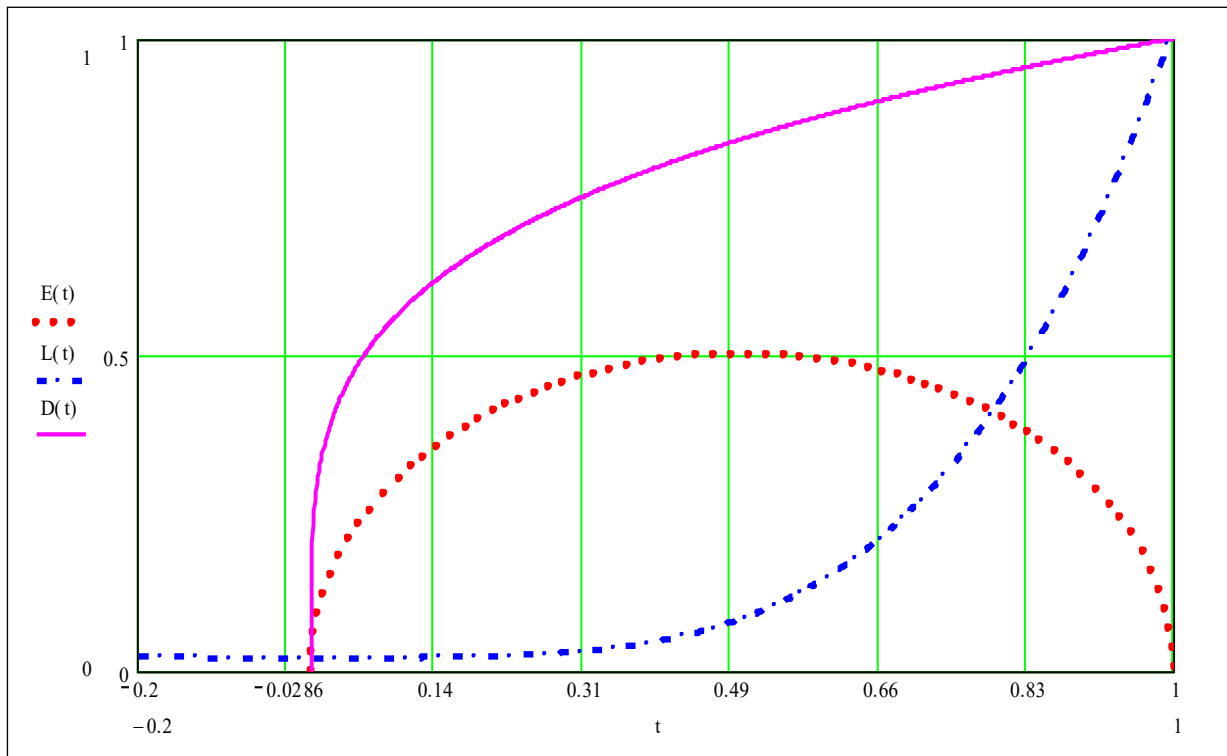


Рис. 1. Графіки зміни достовірності прийняття рішень –  $D(t)$  —, втрати якості складного промислового об'єкта –  $L(t)$  — та ефективності СБМД –  $E(t)$  ●●●

$D(t) i K(t)$  як критеріїв оцінки якості СБМД. Використання критерію (6) дозволяє враховувати динаміку виникнення і розвитку технологічних порушень, ефективність роботи кожної підсистеми СБМД залежно від часових обмежень і характеру виникаючих НС, вплив якості роботи однієї підсистеми на результат функціонування інших підсистем, а також внесок якості кожної підсистеми в загальний результат СБМД [5, с. 29].

Аргументи цільової функції (1)  $M, N_i, P_i$  мають імовірнісний характер, змінюються в певному діапазоні та становлять множину змінних параметрів  $V_1$ . Вони є загальними для всіх підсистем СБМД. Крім них існує низка параметрів, об'єднаних у множині  $V_2$ , які мають стохастичний характер і впливають на ефективність конкретної підсистеми. До цих параметрів, зокрема, належать: середня ймовірнісна інформативність ознак, їхня кількість, характеристики закону розподілу величин. Множину змінних ознак складних промислових об'єктів можна представити як:

$$V = \{V_1, V_2\}. \quad (8)$$

Оскільки кожний стан складного промислового об'єкта характеризується відповідним перерахунком і значеннями параметрів  $V$ , для підтримання максимального значення цільової функції (1) при зміні станів об'єкта необхідні

адекватні зміни параметрів вектора  $X$  відповідно до таких виразів:

$$\begin{aligned} \max E &= \Phi_0 \{V, X\}, \\ \max E &\in E_p, \Phi_0 \in \Phi, \end{aligned} \quad (9)$$

де  $V = \{v_i\}, v_i = \text{var}, i = \overline{1, N}$ ;  $X = \{X_j\}, j = \overline{1, 4}$ ;  $X_j = \{x_{jk}\}, x_{jk} = \text{var}, k = \overline{1, M}$ ,  $\Phi_0$  та  $\Phi$  відповідно функціонал, що забезпечує  $\max E$  і множину можливих функціоналів [3, с. 79; 5, с. 31].

Під функціоналом  $\Phi_0$  мається на увазі певний алгоритм із множини  $\Phi$ , що дозволяє для конкретної сукупності параметрів  $E$  визначити відповідні параметри вектора  $X$ , які забезпечують  $\max E$  серед значень  $E$ , отриманих за тих самих умов іншими алгоритмами із множини  $\Phi$ . Для представлення співвідношення (9) використовують алгоритми параметричної адаптації та самоорганізації моделей функціонування підсистем.

Із виразу (9) випливає, що основна задача побудови СБМД визначається як задача сумісного пошуку параметрів  $X$  та функціонала  $\Phi_0$ , які забезпечують максимальне значення цільової функції, що задовольняє умову економічності використання СБМД:

$$\begin{aligned} \Phi_0 \{V, X\} : E_{\Phi_0} &= \max E(V, X), \\ \Phi_0 &\in \Phi, \max E \in E_p \end{aligned} \quad (10)$$

Проведений у роботі аналіз параметрів ефективності дозволив визначити декомпозицію основної задачі розробки методів і засобів побудови адаптивної СБМД складних промислових об'єктів, згідно з якою до переліку підзадач, розв'язок яких забезпечує максимум цільової функції (1), включені: вивчення характеристик складних промислових об'єктів, що становлять вектор  $V$ , розробка і дослідження моделей СБМД та її компонентів, розробка методів і засобів побудови СБМД складних промислових об'єктів  $i$ , у

перспективі, апробація результатів на прикладі СБМД конкретних об'єктів.

**Висновки.** Отже, в роботі визначено клас складних промислових об'єктів, основною ознакою якого є складність для моніторингу і діагностування, зумовлена стохастичністю процесів, що відбуваються, складністю конструкції та дефіцитом доступної для контролю інформації. Характерними представниками складних промислових об'єктів є: ТЕС, ГЕС, АЕС, об'єкти кольорової металургії.

### Список літератури:

1. Трофимова Л.А., Трофимов В.В. Управление знаниями : учебное пособие. Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУЭФ, 2012. 177 с.
2. Стогній Б.С., Сопель М.Ф. Основи моніторингу в електроенергетиці. Про поняття моніторингу. *Технічна електродинаміка*. 2013. № 1. С. 62–69.
3. Марченко Н.Б., Щербак Т.Л. Багаторівневі системи моніторингу стану та діагностики складних технічних об'єктів. *Моделювання та інформаційні технології*. 2019. № 87. С. 77–84.
4. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Праховник А.В., Денисюк С.П. Еволюція інтелектуальних електричних мереж та їхні перспективи в Україні. *Технічна електродинаміка*. 2012. № 5. С. 52–66.
5. European Smart Grids Technology Platform: vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. European Commission, 2006. 44 p.
6. Гончарова Л.Л., Максимчук В.Ф., Стасюк О.І. Методи організації комп'ютерної мережі моніторингу параметрів режимів систем електропостачання. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. № 2. С. 35–40.
7. Писаревська Т.А. Інформаційні системи і технології в управлінні трудовими ресурсами : навчальний посібник. Київ : КНЕУ, 2000. 279 с.

### Marchenko N.B., Monchenko O.V., Martinyuk G.V. MULTI-LEVEL MONITORING AND DIAGNOSTIC SYSTEMS AS A CONSTRUCTIVE DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL INFORMATION SYSTEMS

*The article considers intelligent information systems for monitoring and diagnostics of complex industrial facilities, taking into account modern information technologies. The ways of computer intellectualization of the modes of operation of such complex industrial objects are shown. The analysis of efficiency parameters carried out in the work allowed to determine the decomposition of the main task of developing methods and means of building adaptive systems of multilevel monitoring and diagnostics of complex industrial facilities.*

*The peculiarity of the work is that it is necessary to solve the complex problem of building multi-level monitoring systems and diagnosing complex industrial facilities as integrated systems based on the principles of self-organization of complex systems. At the same time, a two-level system of monitoring and diagnosing the condition of complex industrial facilities is proposed, which differs from analogues by the ability to automatically select the optimal modes of operation of subsystems when changing the characteristics of the incoming flow of applications. A single approach is proposed that allows to synthesize the optimal structure of multilevel monitoring and diagnosing systems at the design stage and select the optimal mode of operation of subsystems during operation. The method of research of systems of multilevel monitoring and diagnosing on the basis of multilevel model of queuing with use of the block of adaptation to change of intensity of an input stream is presented. The paper presents the development of a generalized criterion for evaluating the effectiveness of research systems of multilevel monitoring and diagnosis of complex industrial facilities and partial criteria for each subsystem, as well as research and analysis of methods and tools for adaptive research systems of multilevel monitoring and diagnosis of complex industrial facilities and selection of effective operating modes.*

**Key words:** automated control systems, multilevel monitoring and diagnosing systems, adaptive multilevel monitoring and diagnosing systems, efficiency evaluations, multilevel queuing models.

**Movchan K.O.**

Ukrainian Scientific and Research Institute of Special Equipment  
and Forensic Expertise of the Security Service of Ukraine

**Oleshchenko L.M.**

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

## CLUSTERING OF INTERNET USERS SEARCH QUERIES USING GRAPH THEORY

*One of the principles of Internet marketing is to focus on the customer in relation to his needs, characterized by search queries on the Internet. Building the semantic core of the site solves the problem of distributing user searches on the pages of the web resource. When working with the semantic core, we need to determine which page best matches a particular search query or group of user queries. By analyzing the characteristics of user clusters, we can better understand potential customers and provide users with more relevant web documents. Clustering is used to identify and classify subgroups of Internet users based on their behavior. Each clustering method uses different criteria to group data objects. This paper discusses the features of using  $k$ -means, EM-algorithm and Kohonen neural networks to cluster search queries. The method of clustering user searches using graph theory is considered in more detail. Nodes represent elements to be clustered, and the weights at the edges connecting the two nodes indicate the distance (dissimilarity) between objects. After applying the algorithm, the associated components indicate which objects the clusters belong to objects whose nodes are connected by edges are in the same cluster. It is shown that the proposed approach is more efficient in comparison with the basic clustering algorithm. For this research we used a sample of 5,000 search queries and the number of clusters  $k = 40$ . The change in results between runs comes from random initialization in the first step of the  $k$ -means algorithm. Studies show better convergence results by presenting data (web documents) for clustering in the form of graphs instead of vectors. The disadvantage of this solution is the use of more memory than in the basic method, and the problem of choosing the initial number of clusters is not solved.*

**Key words:** clustering algorithms, graph theory,  $k$ -means, Euclidean distance, graph vertices, graph measure of distance, convergence.

**Problem statement.** The problem of clustering search queries of web users is to divide the sets of search queries into clusters so that the queries in one cluster were more similar to each other than in other clusters [1]. Existing software solutions used for this tasks use semantic clustering algorithms to recognize thematically related web pages and have a number of disadvantages. Most of these solutions rely on text analysis of the content of web documents, which leads to certain limitations, such as long processing time, the need for representative textual content or blurring of natural languages. The main problem when using these algorithms is the choice of the number of clusters, which is usually chosen at random. The purpose of this research is to analyze and improve existing methods of clustering user search queries.

**Related research.** Analysis of existing work has shown that there are many methods of clustering web users. However, applying these methods directly to simple datasets is not effective enough, as web servers typically contain thousands or even millions of

pages, and Internet users can access web pages for a variety of purposes [2–4].

**Analysis of the main methods of clustering search queries.** Existing clustering methods that can be used to solve this problem are divided into three main categories: graph clustering algorithms, statistical clustering algorithms and hierarchical clustering algorithms. Two forms of graph clustering can be performed on data in the form of graphs. Vertex clustering tries to combine the nodes of the graph into groups of tightly connected regions based on either edge weights or edge distances. The second form of graph clustering treats graphs as objects to be clustered and clusters these objects based on similarity. The second approach is often found in the context of structured or XML data. Data for clustering can be represented as a graph, where each element is represented as a node, and the distance between the two elements is simulated by a certain weight at the boundary connecting the nodes. In graph clustering, elements inside a cluster are connected to each other,

but have no connection with elements outside that cluster. Some important approaches to graph-based clusters are adjacency-based clusters. The essence of such algorithms is that the sample of objects is represented as a graph  $G=(V,E)$ . The main feature of clustering graphs is the lack of distance between two arbitrary points in space, because there is no space itself, no norm, and it is impossible to determine the distance. Instead, there are edge metadata. If there is a “weight” of an edge, then it can be interpreted as a distance and then determine the distances for each pair of vertices. Many of the clustering algorithms in Euclidean space are also suitable for graphs, since these algorithms only need to know the distance between observations and not between arbitrary “points in space”. Graphs have many of their unique properties that can also be used, such as connectivity components, local edge clusters and information flow loops. The vertices of the graph correspond to the objects of the sample, and the edges correspond to the pairwise distances between the objects  $\rho_{ij} = (x_i, x_j)$ . The advantage of graph-based clustering algorithms is clarity, relative ease of implementation, and the possibility of various improvements based on geometric considerations.

The main algorithms are the algorithm for the selection of connected components, the algorithm for constructing a minimal skeletal tree and the algorithm for layer-by-layer clustering. The disadvantages of this algorithm include limited applicability and poor control of the number of clusters. Statistical clustering algorithms include  $k$ -means and EM-algorithm. The basic idea of  $k$ -means is that at each iteration the center of mass is recalculated for each cluster obtained in the previous step, then the vectors are divided into

clusters again according to which of the new centers was closer to the selected metric.

This algorithm does not guarantee the achievement of the global minimum of the total square deviation, but only one of the local minima, the result depends on the choice of source centers of clusters, their optimal choice is unknown, we must know the number of clusters in advance.

EM-algorithm is used to find estimates of the maximum plausibility of the parameters of probabilistic models, in the case where the model depends on some hidden variables. Each iteration of the algorithm consists of two steps. In the E-step (expectation) the expected value of the likelihood function is calculated, and the hidden variables are considered as observable. At the M-step (maximization) the estimate of the maximum likelihood is calculated, thus increasing the expected value of the likelihood calculated at the E-step. This value is then used for the E-step on the next iteration. The algorithm is executed to convergence. An auxiliary vector of hidden variables  $G$ , which has two properties, is artificially introduced. On the one hand, it can be calculated if the values of the parameter vector  $\Theta$  are known. On the other hand, finding the maximum likelihood is greatly simplified if the values of the hidden variables are known. Consider the disadvantages of the algorithm. The main algorithm is unstable according to the initial data (ie those that initialize the parameter vector in the first iteration), we find a local extremum, the value of which may be much lower than the global maximum. Depending on the choice of the initial approximation, the algorithm may converge to different points, and the rate of convergence can also vary greatly. Hierarchical clustering

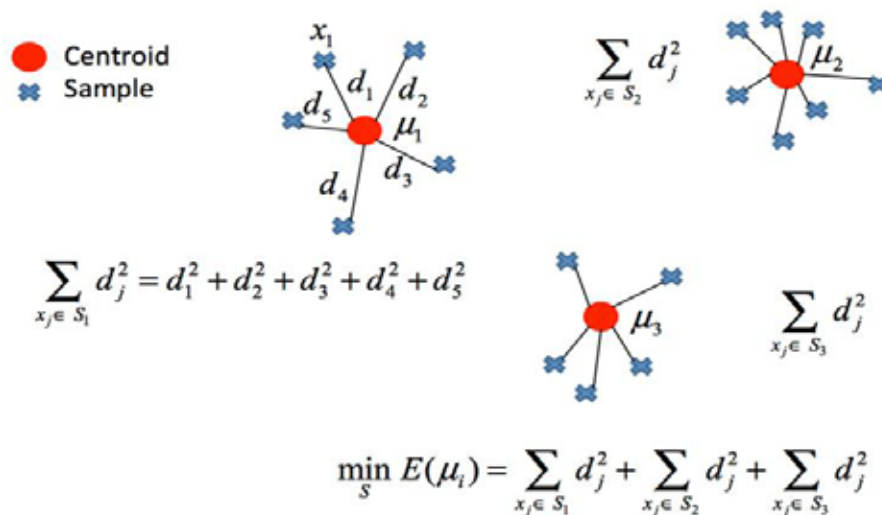


Fig. 1. Demonstration of the  $k$ -means algorithm [5]

is a set of data ordering algorithms aimed at creating a hierarchy (tree) of nested clusters. In hierarchical algorithms, the adjacency matrix of vertices  $n \times n$  is used as an input, and the adjacency matrix contains the distance value, not a simple Boolean value. Hierarchical clustering algorithms assume that the set of objects being analyzed is characterized by a certain degree of connectivity.

According to the methods of adjusting the input weights of the adders and the solution of problems, there are many types of Kohonen networks. The most well-known of these are vector signal quantization networks, closely related to the simplest basic algorithm of cluster analysis (the method of dynamic nuclei or  $k$ -means), self-organized Kohonen maps and vector quantization networks.

The Kohonen layer consists of  $n$  parallel linear elements that have the same number of inputs  $m$  and receive at their inputs the same vector of input signals  $x = (x_1, \dots, x_m)$ . At the output of the  $j$ -th linear element we obtain the signal  $y_j = w_{j0} + \sum_{i=1}^m w_{ji}x_i$ , where  $w_{ji}$  is the weight of the  $i$ -th input  $j$  of the neuron,  $w_{j0}$  is the threshold coefficient. After passing the layer of linear elements, the signals are sent for processing, among the output signals  $y_j$  is looking for the maximum, its number  $j_{max} = \arg \max \{y_j\}$ . At the output, the signal with the number  $j_{max}$  is equal to one, the rest to zero. If the maximum is reached simultaneously for several  $j_{max}$ . Then either receive all the corresponding signals equal to one, or only the first in the list.

**An overview of some existing commercial software products.** Datawiz.io provides online services for data analytics in retail and restaurant business. The main task of the company is to automate the analysis processes: checks, sales and loyalty program data. Datawiz.io uses clustering as a method of grouping customers by data about their behavior (purchases, banking transactions, credit histories). The  $k$ -means algorithm is used to cluster an array of data (checks, data on loyalty programs). It is well scalable and optimized for the Hadoop platform. Also, the Affinity Propagation algorithm is used as an alternative. It has a number of significant disadvantages, it is slow and poorly scalable. But in some cases we can use it for clustering at short intervals. The Data-Centric Alliance (DCA) creates digital marketing technologies and develops products based on Big Data and Programmatic (fig. 2). It has one of the largest arrays of anonymous user data.

DCA helps marketers and analysts learn about people's behavior on the Internet and in real life. It

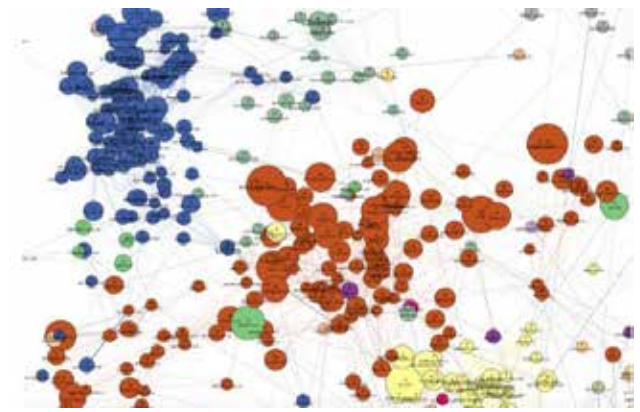


Fig. 2. Clustering of news sites [6]

has an R&D department to develop new tools that allow to learn more about Internet users and advertise more effectively. For its application, the company performs clustering of graphs created using the  $k$ -medoids algorithm developed by Python for clustering web domains. Using the DMP database (data on visits by users of different domains), a graph is constructed where domains act as nodes, and as edges a selective estimate of the extent of user visit events for domains [6].

**Modification of the selected method of clustering user search queries.** Consider the clustering method, when the data (web documents) to be clustered will be represented by graphs instead of vectors. Nodes represent elements to be clustered, and the weights at the edges connecting the two nodes indicate the distance (dissimilarity) between objects, and represent nodes. After applying the algorithm, the associated components indicate which objects the clusters belong to objects whose nodes are connected by edges are in the same cluster. For  $k$ -means, data elements are displayed as a set of  $n$ -numeric values (vectors in the  $R^n$  space). Then the Euclidean distance in this space and the centroid of the set of vectors are used to calculate the average value of the data in the cluster. As input we have a set of  $n$  data elements and the parameter  $k$ , which determines the number of clusters to create, the output data are the centroids of the clusters and the cluster (an integer within  $[1, k]$ ) for each data element to which it belongs. First, we assign each data element to a random cluster (1 to  $k$ ), using the initial assignment, to determine the centroids of each cluster. Given the new centroids, we assign each data element so that it is in the cluster of its nearest centroid. Then we recalculate the centroids. Extending the classical  $k$ -means clustering algorithm by using graphs will store information that is often discarded in simpler models. For example, by representing web documents with



graphs instead of vectors, we can store information such as the order in which the terms appear or where the terms appear in the document. This can improve the quality of clustering.

Assume that the graph  $g$  is the maximum general subgraph ( $mcs$ ) of the graphs  $G_1$  and  $G_2$ , ie:  $g = mcs(G_1, G_2)$ , if  $g \subseteq G_1, g \subseteq G_2$  and there is no other subgraph  $g' = (g' \subseteq G_1, g' \subseteq G_2)$ , such that  $|g'| > |g|$ . The graph  $g$  is the minimum general supergraph ( $MCS$ ) of the graphs  $G_1$  and  $G_2$ , ie  $g = MCS(G_1, G_2)$ , if  $G_1 \subseteq g, G_2 \subseteq g$  and there is no other supergraph  $g' = (G_1 \subseteq g', G_2 \subseteq g')$ , such that  $|g'| < |g|$ . A common subgraph is the part of both graphs that does not change when we delete or insert nodes and edges. To modify the graph  $G_1$  in  $G_2$ , follow these steps:

1. Remove nodes and edges from  $G_1$  that are not displayed in  $mcs(G_1, G_2)$ .
2. Make any substitutions for nodes or edges.
3. Add nodes and edges from  $G_2$  that are not displayed in  $mcs(G_1, G_2)$ .

The size of the maximum general subgraph is related to the similarity of the two graphs. Determine the following measure of distances based on  $mcs$ :

$$d_{MCS}(G_1, G_2) = 1 - \frac{|mcs(G_1, G_2)|}{\max(|G_1|, |G_2|)}, \quad (1)$$

where  $max(x, y)$  is the usual maximum of two numbers  $x$  and  $y$  and  $|\dots|$  indicates the size of the graph (usually considered the number of nodes in the graph). This measure of distance has four important properties:

- restrictions on the formation of numbers in the range  $[0, 1]$ ;
- the distance is 0 only when the two graphs are the same;
- the distance between two graphs is symmetric;
- the distance obeys the inequality of the triangle, which provides the measurement of distance in an intuitive way.

The advantage of this approach over the graph editing distance method is that it does not require the determination of any cost factors or other parameters. The notion of the median of a set of graphs acts as a representative of the set. The median of a set of graphs  $S$  is a graph  $g \in S$  such that  $g$  has the smallest average distance to all elements in  $S$ :

$$g = \arg \min_{v, s \in S} \left( \frac{1}{|S|} \sum_{i=1}^{|S|} d(s, G_i) \right). \quad (2)$$

Since  $g \in S$ , it is simple to calculate the average distance to all graphs for each graph in  $S$ . The median of the set of graphs always exists, and may

or may not be the average value. Now that we have  $y$  as a measure of distance for graphs (1) and a method for determining the representative of a set of graphs (2), we can apply the method to data sets whose elements are graphs, not vectors. Thus, it is necessary replace the distance measurement used in step 3 with a graph distance measurement and replacing the centroid calculated in step 2 with the median of the set of graphs.

In the modified  $k$ -means algorithm using graph theory, the input data is a set of  $n$  data elements (represented by graphs) and the parameter  $k$ , which determines the number of clusters. The initial data are the centroids of the clusters (represented by the middle graphs) and the cluster (an integer in  $[1, k]$ ), for each data element it belongs. First, we assign each data element to a random cluster (1 to  $k$ ). Using the initial assignment, determine the median of the set of graphs of each cluster. Given the new medians, assign each data element in the cluster to its nearest median using a graph of distance. Recalculate the medians.

For the problem of automatic determination of the optimal number of clusters, it is necessary to know the cluster validation index, which is an indicator of the quality of clustering. The Dunn index is one such indicator, but it is sensitive to noise. We first calculate the index  $C$ , which is defined as:

$$C = \frac{S - S_{min}}{S_{max} - S_{min}}, \quad (3)$$

where  $S$  is the sum of all distances of pairs of elements in one cluster. Determine that  $l$  is the number of pairs used to calculate  $S$ .  $S_{min}$  and  $S_{max}$  are the sum of  $l$  of the smallest and largest distances, respectively. The smaller the value of  $C$ , the better the clustering. Another indicator is the Davies–Bouldin index, defined as:

$$DB = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \max_{j=1, \dots, M; j \neq i} (d_{ij}), \quad (4)$$

where  $M$  is the number of clusters and

$$d_{ij} = \frac{r_i + r_j}{d(c_i, c_j)}. \quad (5)$$

In equation (5),  $r_i$  is the average distance of all data elements of the cluster  $i$  to their center,  $d(c_i, c_j)$  is the distance between the centers of clusters  $i$  and  $j$ . The measure  $d_{ij}$ , similar to the Dunn index, in terms of compactness (numerator) and separation (denominator) of cluster pairs.

Experiments were performed with  $k$  values ranging from 2 to 6 for F-series and J-series datasets using both global  $k$ -means and random initialization. Random initialization is performed by randomly assigning each data element to the cluster. It is not possible

to reuse the same random initialization for different values of  $k$ , so each experiment has a separate random initialization. The best number of clusters is determined from the random index and mutual information, which indicate efficiency compared to the primary values. From the obtained results, these two indices are the same for  $k$  experiments that used the global  $k$ -means. There were no agreements for experiments using random initialization, and therefore it is not possible to definitively determine the best number of clusters in these cases.

The Dunn and  $C$  index does not seem very useful in terms of finding the correct value of  $k$ . Only in the case of the global  $k$ -means from the F series did the Dunn index coincide with other indices, and even then the Dunn index had the same values for all  $k$ . Index  $C$  performed slightly better, coinciding with other  $k$ -means indices for J-series; although the optimal value was at  $k = 2$  for  $k$ -means from the series F.

**Evaluating the effectiveness of the clustering algorithm.** To assess the quality of the algorithm for clustering user search queries, it is necessary to investigate to determine the key parameters that are important for the operation of the algorithm. After a detailed study of the question, we can enter indicators of the number of vertices of the graph, the degree of convergence of nodes and the speed of the algorithm. These characteristics fully assess the improvements in the framework of continuous data transmission in decentralized networks, with a variable nature.

A sample of 5000 search queries was selected and the number of clusters  $k = 40$  was recorded. The change of results between runs occurs from random initialization in the first step of the  $k$ -means algorithm. For these experiments, we used distance measurement and standard representation. Mutual information is a general degree of agreement provided by truth, with the advantage of clusters that have a high purity (ie are homogeneous with respect to the classes of merged objects). Higher values mean better performance of the clustering algorithm.

The use of Euclidean distance in the  $k$ -means algorithm gives worse results due to the invariance property of the vector length. For example, for the number of clusters 150, the degree of convergence of the clustering of search queries using a graph measure of distance gives a better result of 0.2218, while the convergence when using Euclidean distance is equal to 0.046. Because of this, documents with similar keyword frequency ratios but different in overall frequency have large distances between clusters, even if they are considered similar. Even with only 5 nodes, the modified method is superior to both  $k$ -means using Euclidean distance and a random baseline; as the number of nodes per graph increases, the performance approaches the efficiency of other  $k$ -means methods until it exceeds even the best  $k$ -means method, at 75 or more nodes. However, the increase in productivity is not always strictly proportional to the increase in the size of the graph. For example, an improvement of 60 to 75 is greater than an improvement of 75 to 90, even with the addition of 15 new nodes in each case. This may be because the additional nodes that are added when we increase the size of the graph, although they are common, may not always provide information that is useful for distinguishing between phrases, but may actually interfere with the input of third-party data.

**Conclusions.** This article analyzes the existing methods for the task of clustering user searches. Their main advantages and disadvantages are revealed. The obtained information was systematized for use in further work to determine the requirements for software development, which will create an application for clustering user searches. A modification of the  $k$ -means method is that in comparison with the basic method it is necessary to replace the measurement of Euclidean distance, graph measurement, as well as to replace the centroid with the median of the set of graphs. Further refinement may be to find the best node selection methods to be used in each graph, rather than relying heavily on the frequency of the term.

Table 1

Search query clustering metrics using a graph of distance

The number of vertices of the graph	The degree of convergence	The number of vertices of the graph	The degree of convergence
150	0.2218	60	0.1865
120	0.2142	45	0.1758
90	0.2074	30	0.1617
75	0.2045	15	0.1540

**References:**

1. How to distribute the semantic core of the website. URL: <https://serpstat.com/blog/how-to-distribute-the-semantic-core-of-the-website/>.
2. Ling Chen, Sourav S. Bhowmick, Wolfgang Nejdl. Web user clustering based on evolutionary web sessions. *Data & Knowledge Engineering*. Vol. 68. Issue 10. October 2009. P. 867–885.
3. Miao Wan, Arne Jönsson, Cong Wang, Lixiang Li & Yixian Yang. Web user clustering and Web prefetching using Random Indexing with weight functions. *Knowledge and Information Systems*. Vol. 33 2012. P. 89–115.
4. Poornalatha G., Prakash S. Raghavendra. Web User Session Clustering Using Modified K-Means Algorithm. International Conference on Advances in Computing and Communications ACC 2011. P. 243–252.
5. K-means algorithm applied to image classification and processing. URL: <https://www.unioviado.es/compnum/labs/new/kmeans.html>.
6. Rybachuk K. Community detection. URL: <https://www.slideshare.net/kirillfishkurtosis/community-detection-51552715>.
7. Ferrer M., Valveny E., Serratos F., Bardají I., Bunke H. Graph-Based k-Means Clustering: A Comparison of the Set Median versus the Generalized Median Graph. *CAIP 2009: Computer Analysis of Images and Patterns*. P. 342–350.

**Мовчан К.О., Олещенко Л.М. КЛАСТЕРИЗАЦІЯ ПОШУКОВИХ ЗАПИТІВ КОРИСТУВАЧІВ МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ГРАФІВ**

Одним із принципів Інтернет-маркетингу є орієнтація на клієнта щодо його потреб, що характеризуються пошуковими запитами в мережі Інтернет. Побудова семантичного ядра сайту вирішує задачу розподілу пошукових запитів користувачів на сторінках веб-ресурсу. Семантичне ядро сайту допомагає визначити, яка сторінка найточніше відповідає конкретному пошуковому запиту або групі запитів користувачів. Аналізуючи характеристики кластерів користувачів, можна краще зрозуміти потенційних клієнтів і видавати користувачам більш релевантні веб-документи. Кластеризація використовується для ідентифікації та класифікації підгруп користувачів мережі Інтернет на основі їхньої поведінки. Кожен метод кластеризації використовує різні критерії для групування об'єктів даних. У статті розглянуто особливості використання *k-means*, EM-алгоритму та нейронних мереж Кохонена для кластеризації пошукових запитів. Більш детально розглянуто дослідження методу кластеризації пошукових запитів користувачів із використанням теорії графів. Вузли представляють елементи, що підлягають кластеризації, а ваги по краях, які з'єднують два вузли, вказують на відстань (несхожість) між об'єктами. Після застосування алгоритму пов'язані компоненти вказують, до яких об'єктів кластери належать об'єктам, вузли яких з'єднані ребрами, що знаходяться в одному кластері. Показано, що запропонований підхід є більш ефективним порівняно з базовим алгоритмом кластеризації. Для нашого дослідження використано вибірку із 5 000 пошукових запитів і кількість кластерів  $k = 40$ . Зміна результатів між прогонами відбувається від випадкової ініціалізації на першому кроці алгоритму *k-means*. Дослідження показують кращі результати збіжності завдяки представленню даних (веб-документів) для кластеризації у вигляді графів замість векторів. Недоліком цього рішення є використання більшого обсягу пам'яті, ніж у базовому методі, також не є вирішеною проблема вибору початкової кількості кластерів.

**Ключові слова:** алгоритми кластеризації, теорія графів, *k-means*, евклідова відстань, вершини графа, графова міра відстані, збіжність.

**Озерова Д.С.**

Одеський національний політехнічний університет

**Пелих С.М.**

Одеський національний політехнічний університет

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ У ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

*Основним завданням атомних електростанцій є забезпечення безперебійного постачання споживачам електричної і теплової енергії, виробленої з дотриманням вимог правил і норм безпеки в атомній енергетиці. Система регенерації високого тиску впливає на безпеку енергоблоку, оскільки забезпечує подачу пари в реакторне відділення до парогенератора. Порушення в роботі будь-якого допоміжного елемента системи регенерації високого тиску зазвичай призводить до відхилень від режиму нормальної експлуатації обладнання технологічних систем енергоблоку та небезпечних наслідків.*

*Автоматична система регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску дозволяє за отриманими даними управляти процесами у підігрівачах високого тиску. Це значно збільшує надійність роботи та забезпечує виконання вимог по технічній і екологічній безпеці виробництва енергії.*

*З розвитком цифрової техніки з'явилася можливість модернізувати устаткування й застосувати нові алгоритми, присвячені регулюванню рівня у підігрівачах високого тиску. Об'єктом дослідження є автоматична система регулювання групи підігрівачів високого тиску (ПВТ-6,7). Предметом дослідження є методи регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску. Методами дослідження є комп'ютерне моделювання у середовищі SCADA trace mode 6, внаслідок чого було здійснено імітаційне моделювання автоматичної системи регулювання рівня води системи регенерації високого тиску. Масштаб систем автоматизації, які створюються у Trace Mode, дуже широкий. Це середовище (Trace Mode) дозволяє будувати проекти простих, складних і дуже складних систем автоматики, у т. ч. автоматизовані системи керування технологічними процесами й автоматичними системами керування підприємств загалом.*

**Ключові слова:** атомні електростанції, підігрівачі високого тиску, автоматична система регулювання, рівень, імітаційне моделювання, SCADA, FBD-діаграма.

**Постановка проблеми.** Устаткування атомних електричних станцій повинне працювати у проектному стані, націлене на рішення кінцевої задачі. Якщо цього неможливо досягти, це є комплексною проблемою енергетики.

Подання живильної води в парогенератори до досягнення електричного навантаження на енергоблоці до 850 МВт здійснюється повз підігрівачі високого тиску. При досягненні електричного навантаження на енергоблоці більше 850 МВт в роботу включаються дві групи ПВТ, у яких відбувається підігрівання живильної води парою, яка відбирається із проточної частини ЦВТ, внаслідок чого збільшується економічність енергоблоку за рахунок збільшення термічного коефіцієнта корисної дії замкнутого циклу роботи паросилової установки енергоблоку.

Для того, щоб система працювала без аварійних ситуацій, треба контролювати та регулювати

рівень конденсату у підігрівачах високого тиску (ПВТ). Застосування ПВТ підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД) установки.

Якщо атомна електростанція працює з відключеними підігрівачами високого тиску, втрата ККД становить 2,6%. Згідно з регламентом АЕС може працювати з відключеною групою підігрівачів необмежену кількість часу на зниженій потужності [1, с. 41–42].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У дослідженні [2, с. 5–10] описується розробка й апробування автоматичної системи регулювання частоти та потужності, яка є необхідною для енергосистеми України. Такий напрям вважається актуальним і використовується для автоматичної системи регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску. Вперше було запропоновано математичну модель групи підігрівачів високого тиску, яка складалася з моделювання динамічних

процесів тепло-масообміну і поточних налаштувань ПП регулятора. Перехідні процеси у підігрівачах рівня конденсату розраховувалися за допомогою рівняння динаміки, в яких не входить модель насосу, що дає можливість підтримувати ККД на проектному рівні [3, с. 118–120].

**Постановка завдання.** Метою роботи є забезпечення стабільності на проектному рівні ККД електростанції за рахунок стабілізації рівнів води у групі підігрівачів високого тиску впровадженням автоматичної системи регулювання рівня конденсату та розробкою імітаційного моделювання.

Завдання дослідження:

- Аналіз технологічних процесів об'єкта автоматизації.

- На основі розробки математичної моделі автоматичної системи регулювання рівня конденсату у групі підігрівачів високого тиску виконати імітаційне моделювання АСР рівня конденсату у групі ПВТ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

Для досягнення поставленої мети треба проаналізувати технологічні характеристики об'єкта автоматизації. Ці характеристики будуть використовуватися для розробки імітаційної моделі АСР рівня води у групі ПВТ.

Регенеративна система високого тиску призначена для підігрівання живильної води турбоустановки К-1000-60/1500-2(М) парою, що частково відпрацювала у проточній частині турбіни. Підігрівання живильної води відбувається в підігрівачах поверхневого типу, які входять до складу системи регенерації високого тиску паротурбінної установки та включені у тракт подачі живильної води на парогенератори після турбоживильного насоса (ТЖН). Це підігрівання заведено називати регенеративним підігріванням живильної води, а підігрівачі, у яких відбувається підігрівання живильної води, заведено називати регенеративними підігрівачами високого тиску.

Система регенерації високого тиску складається із двох груп підігрівачів:

- ПВТ-6А(Б) – RD21(22) W01 – підігрівач поверхневий, типу ПВ-2500-97-18А, призначений для підігрівання живильної води парою від 2-го відбору турбіни;

- ПВТ-7А(Б) – RD11(12) W01 – підігрівач поверхневий, типу ПВ-2500-97-28А, призначений для підігрівання живильної води парою від 1-го відбору турбіни.

Саме такі технологічні процеси, як підігрівання живильної води парою від відбору турбіни й утворення конденсату були використані при

розробці математичної моделі регулювання рівня води у групі підігрівачів високого тиску. Розроблена математична модель може забезпечувати стабільність ККД електростанції на проектному рівні за рахунок стабілізації рівнів конденсату у групі ПВТ.

Для досягнення мети було виконано імітаційне моделювання АСР рівня конденсату у групі підігрівачів високого тиску. Для цього спочатку розробляється функціональна схема автоматизації (ФСА), а після отримання ФСА розробляється людино-машинний інтерфейс оператора технолога в SCADA.

При автоматизації процесу регулювання рівня у ПВТ особливу увагу звертають на їх надійну та безаварійну роботу. Одним із найважливіших параметрів ПВТ є рівень конденсату пари, що гріє. Підтримка цього параметра реалізує основну мету ПВТ – підігрів води для парогенератора. Підвищення рівня КГП у ПВТ може привести до затоплення змійовиків і, як наслідок, влучення вологи в турбіну, що приведе до аварії з ушкодженням лопаток турбіни. Зниження рівня приводить до оголення змійовиків, підвищення в них тиску, а це може привести до розриву. Контроль рівня КГП забезпечує безаварійну роботу усього блоку. Програмне забезпечення є важливою складовою частиною у процесі регулювання, тому що зображує безпосередньо керування. У цьому допомагає програма SCADA Trace mode 6, у якій реалізуються статичні та динамічні параметри регулювання, значення рівня КГП у ПВТ.

SCADA є програмним пакетом для розробки або забезпечення роботи в реальному часі систем збору, обробки, відображення й архівації інформації про об'єкт моніторингу або керування. SCADA може бути частиною АСУ ТП.

SCADA-системи забезпечують операторський контроль за технологічними процесами в реальному часі. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютери та для зв'язку з об'єктом використовує драйвери вводу-виводу або OPC/DDE сервери.

Програмний код може бути як написаний мовою програмування (наприклад на C++), так і згенерований у середовищі проектування мовою FBD. Для більш точного спостереження за процесом операторові необхідно спостерігати зміни, які відбуваються в реальному часі, що дозволить зреагувати вчасно у разі непередбаченої обставини й повернути системі регулювання необхідні параметри.

Людино-машинний інтерфейс становлять так, щоб відображати найбільш правдоподібно

зовнішній вигляд об'єкта автоматизації. Екранні форми становлять: загальний вид групи ПВД і динамічний рух робочого середовища; процес регулювання рівнем КГП у ПВД. Розроблена мнемосхема представлена на рис. 1, це загальний вид групи ПВД, а також показані рухи робочого середовища (конденсат, пара, живильна вода).

Процес регулювання зображений на рис. 2 для ПВД-6 та на рис. 3 для ПВД-7. Спостерігати за змінами можна на відповідних графіках (трендах) параметрів. Можна задавати значення та спостерігати їхні зміни як у вигляді анімації, так і у вигляді графіків.

На рис. 2 та 3 можна побачити, що параметр рівня становить 2 500 мм. Для забезпечення ефективною та стабільною роботи АЕС значення параметрів рівня не має перевищувати номінальний рівень 2 900 мм. Якщо відбудеться відключення ПВД внаслідок перевищення номінального рівня, то це призведе до втрати ККД на 2,6%. Тому за відсутності регенеративного підігрівання живильної води дуже значне даремне відведення теплоти в холодному джерелі – конденсаторі турбіни. Частина теплоти мала б бути використана для підігрівання живильної води у спеціальних регенеративних підігрівачах перед подачею її в парогенеруючу установку.

Система регенерації високого тиску чинить істотний вплив на безпеку енергоблоку, оскільки

вона забезпечує подачу пари в реакторне відділення до парогенераторів. Перевищення рівня в ПВД вище за допустимі межі може бути внаслідок розриву труб, появи свищів у місцях зварювання елементів трубної системи, закриття регулюючої арматури на зливних трубопроводах КГП. Як виконавчий орган захисту від підвищення рівня в ПВД використовують автоматичний пристрій зі швидкодіючим впускним і зворотним клапаном.

Система оснащена захистом від підвищення рівня конденсату в паровому просторі корпусу будь-якого підігрівача до 1-ої межі рівним 344 см і 2-ої межі рівним 544 см. При підвищенні рівня конденсату в корпусі будь-якого ПВД до 304 см подається попереджувальний сигнал на блок щитового управління окремо по кожній групі. При досягненні рівнем уставки 1-ої межі або спрацьовування захисту по 2-ій межі проводиться відключення відповідної групи.

Безпосередня робота програми полягає у створенні імітатора об'єкта на основі математичної моделі ПВД. Є можливість автоматичного налаштування необхідних параметрів для підтримки номінального рівня. На рис. 4 зображено імітатор об'єкта мовою програмування FBD.

У верхній частині малюнка два блоки ОВІ (інерційні ланки першого порядку) з'єднані послідовно й утворюють об'єкт керування другого порядку по каналі передачі впливу, що обурює.

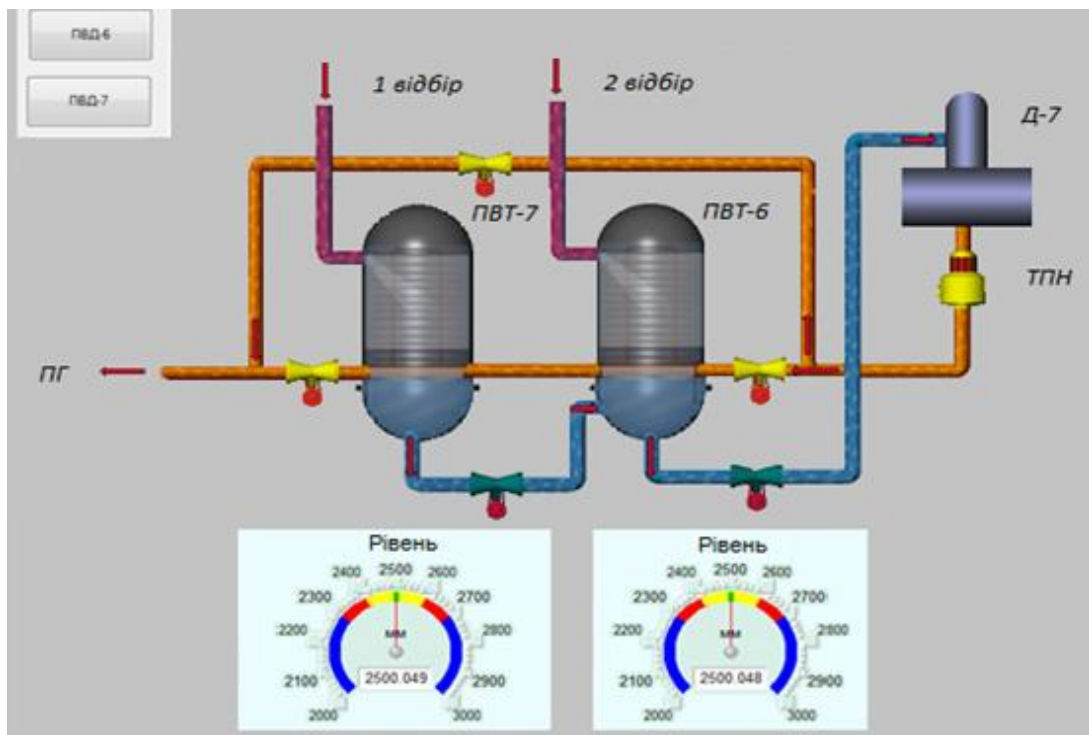


Рис. 1. Мнемосхема технологічної схеми групи ПВД

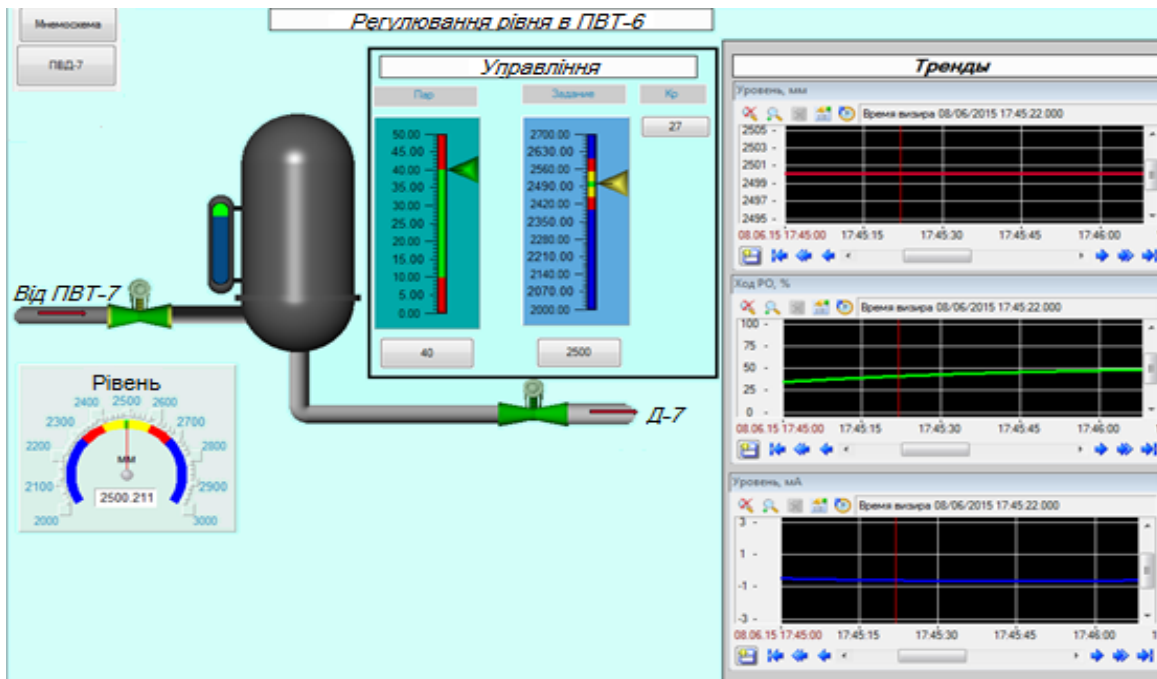


Рис. 2. Мнемосхема регулювання рівня в ПВД-6

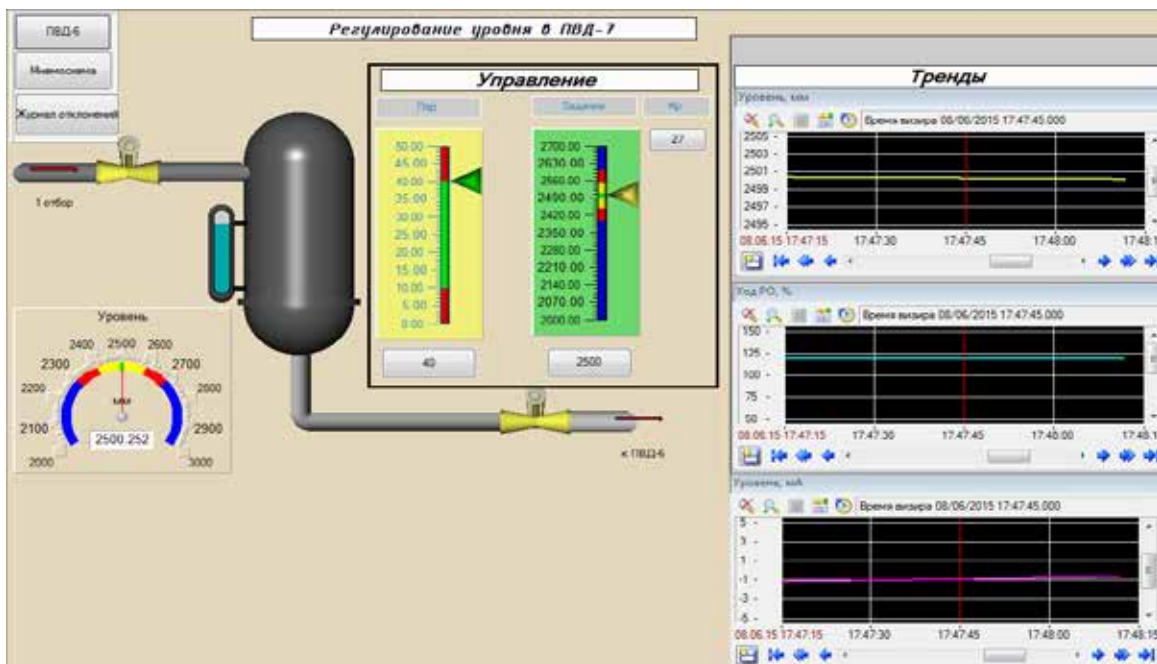


Рис. 3. Мнемосхема регулювання рівня в ПВД-7

Вихідні змінні обох об'єктів підсумуються у блоці X+Y й утворюють сигнал по зміні рівня.

Як видно, блоки можуть мати сигнальні та настроювальні входи. На сигнальні входи подаються сигнали від попередніх за схемою блоків або від повзункових приладів. Вихідні сигнали подаються на наступні за схемою блоки. На настроювальні входи подаються настроювальні константи з панелей налаштування блоків або

екрана. Програмна реалізація розробленої АСР створена на базі FBD-діаграм.

**Висновки.** Визначено призначення та вплив об'єкта дослідження на безпеку експлуатації енергоблоку Запорізької атомної електростанції. Також описано технічні характеристики підігрівачів високого тиску. Це дозволило провести більш детальний аналіз технологічного об'єкта автоматизації системою регенерації високого тиску, а також із перевагами системи.

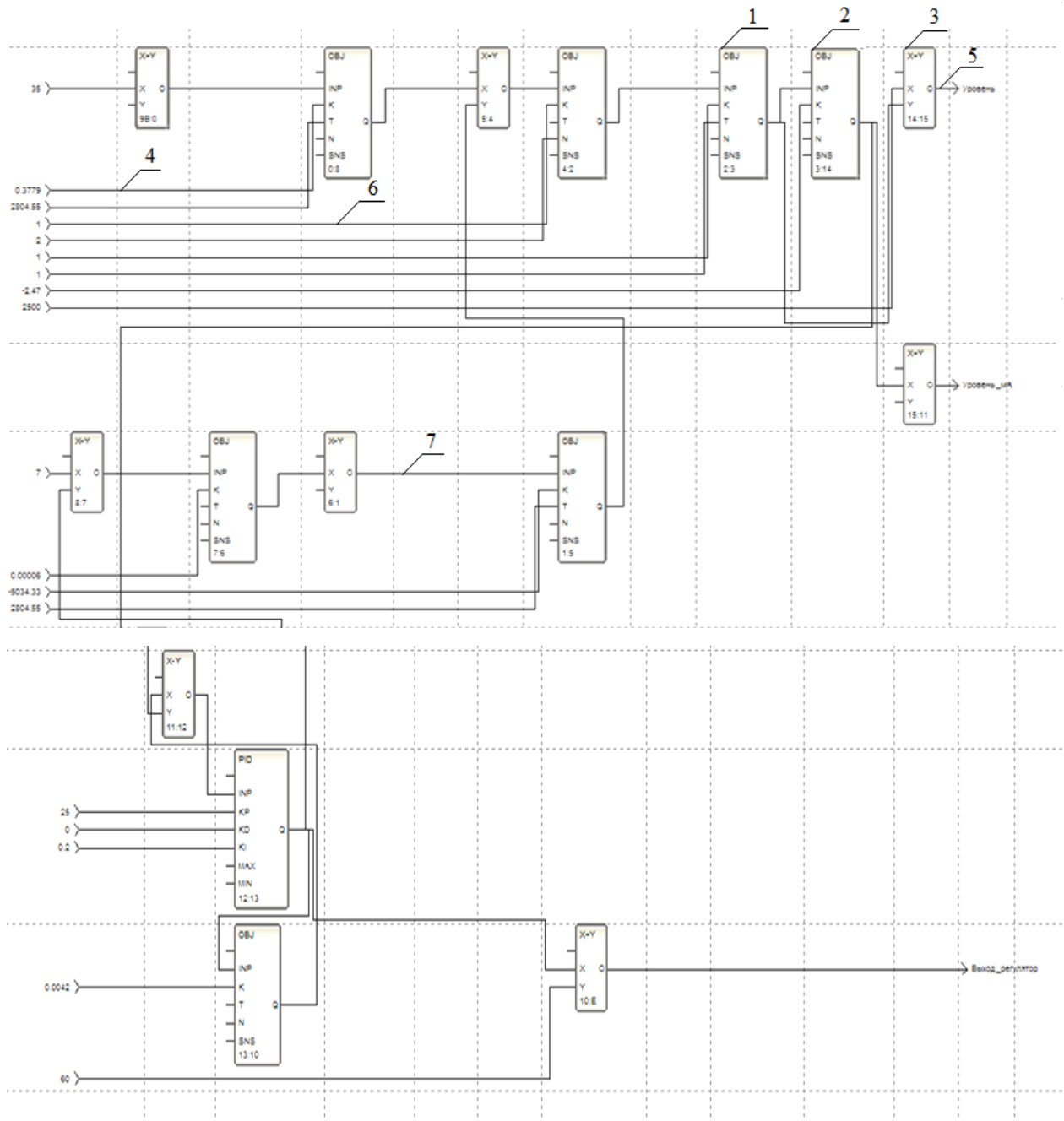


Рис. 4. Імітатор об'єкта мовою програмування FBD: 1, 2 –два блоки OBJ; 3 – блок X+Y; 4 – канал збурення; 5 – сигнал по зміні рівня; 6 – вихідні сигнали; 7 – налаштовувальні входи

За допомогою досліджуваних і розрахункових результатів було розроблено імітаційне моделювання автоматичної системи регулювання рівня конденсату системи регенерації високого тиску. З'ясовано, чим є програма SCADA Trace mode 6 та розроблено людино-машинний інтерфейс оператора технолога у SCADA. Було отримано мнемосхеми технологічної схеми групи ПВТ, а також мнемосхеми регулювання рівня в ПВТ-6 та ПВТ-7. Це дозволило виконати програмну реалізацію розробленої АСР створеної на базі FBD-діаграм.

На отриманих мнемосхемах видно, що отримані параметри не перевищують номінальний рівень ПВТ, який становить 2 900 мм. Підтримка номінального рівня не призведе до відключення ПВТ і втрати ККД на 2,6%. Тому практичною цінністю отриманих результатів є те, що автоматична система регулювання дозволяє управляти процесами у ПВТ, внаслідок чого значно збільшується ефективність і надійність роботи атомної електростанції завдяки стабільності її ККД.



**Список літератури:**

1. Технологія виробництва електричної енергії на атомній електростанції. Другий контур : навчальний посібник. Энергодар : ЗАЕС, 2003. Ч. 1. С. 41–43.
2. Кулик М.М., Дрьомін І.В. Основи організації автоматичної системи регулювання частоти і потужності на базі споживачів-регуляторів. *Проблеми загальної енергетики*. 2010. Вип. 1 (21). С. 5–10.
3. Озерова Д.С. Автоматична система регулювання рівня води к групі підігрівачів високого тиску. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). № 6. С. 116–122.
4. Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции : учебник. Москва : ИздАТ, 1994. 289 с.
5. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса : Асторпринт, 2001. С. 239–240.

**Ozerova D.S., Pelykh S.M. SIMULATION MODELING OF AN AUTOMATIC SYSTEM FOR REGULATING THE WATER LEVEL IN THE GROUP OF HIGH-PRESSURE HEATERS**

*The main task of nuclear power plants is to ensure uninterrupted supply of electrical and thermal energy to consumers, produced in compliance with the requirements of the rules and safety standards in the nuclear power industry. The high pressure regeneration system affects the safety of the power unit as it supplies steam to the reactor compartment in the steam generator. Malfunctions in the operation of any auxiliary element of the high pressure regeneration system, as a rule, lead to deviations from the normal operation of the equipment of the power unit technological systems.*

*The water level control system in the group of high-pressure heaters allows, according to the data obtained, to control the processes in the HTP, which significantly increases the reliability of operation and ensures that the requirements for technical and environmental safety of energy production are met. With the development of digital technology, it became possible to modernize equipment and apply new algorithms dedicated to regulating the level in PST.*

*The object of research is an automatic control system for a group of high pressure heaters (HPH-6.7). The subject of the research is the methods for regulating the water level in the group of high pressure heaters.*

*The research methods are computer simulation in the SCADA trace mode 6 environment, as a result of which a simulation of an automatic water level control system of a high pressure regeneration system was obtained. The scale of automation systems created in Trace Mode is very wide. This environment allows you to build projects of simple, complex and very complex automation systems, including automated control systems for technological processes and automatic control systems of enterprises in general.*

**Key words:** nuclear power plants, high pressure heaters, automatic control system, level, simulation, SCADA, FBD-diagram.

**Осадчий С.І.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Березюк І.А.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Мельніченко М.М.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

## МАКСИМІЗАЦІЯ ТОЧНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУТОВОГО ПОЛОЖЕННЯ ПОСАДОЧНОЇ ПЛАТФОРМИ

*Посадка літальних апаратів за складних метеорологічних умов – одна зі складних операцій, а посадка на плавучі динамічні об'єкти у такому разі є справжнім викликом для літальних апаратів і їхніх операторів і пілотів. На сучасному етапі широко поширене використання механізмів із паралельною кінематикою, а саме платформи Стюарта (гексапода) як злітно-посадочного столу. У статті викладені дослідження, спрямовані на створення системи керування кутовим положенням платформи для злету і посадки безпілотного літального апарата та гелікоптерів із поверхонь суден у відкритому морі за хитавиці та складних погодних умов. Аналіз результатів сучасних досліджень у галузі створення систем такого класу дозволив зробити висновок про те, що подолання недоліків наявних систем і досягнення найвищої точності стабілізації кутового положення платформи може бути здійснено з використанням базатовимірних оптимальних систем стохастичної стабілізації. Одна з ефективних методологій створення систем такого класу заснована на використанні моделей динаміки об'єкта керування (гексапода) та діючих збурень і квадратичного критерію якості.*

*У статті наведено методологію та технологію максимізації точності стабілізації кутового положення посадочної платформи, встановленої на рухомому об'єкті (судні), за рахунок розробки та впровадження нових принципів керування механізмами з паралельною кінематикою типу гексапод. Запропонований у роботі підхід до синтезу системи стабілізації кутового положення платформи відрізняється тим, що вихідними даними є моделі динаміки гексапода та спектральна щільність діючого збурення, отримані на основі експериментальних даних і використання спектрального алгоритму структурної ідентифікації. Базовими етапами методології, що пропонується, є структурна ідентифікація матриці передаточних функцій гексапода як об'єкта керування і спектральної щільності діючого збурення; синтез оптимальної структури системи стохастичної стабілізації кутового положення платформи гексапода; аналіз якості системи запропонованої системи. Теоретичну базу для успішної реалізації зазначених етапів становлять науково обґрунтовані методи й алгоритми оцінювання та ідентифікації складних динамічних об'єктів і збурень за реальних експлуатаційних умов, а також сучасні методи оптимального синтезу. Впровадження цієї системи дозволить отримати максимальну можливу якість і точність керування.*

**Ключові слова:** *безпілотний літальний апарат, платформа Стюарта (гексапод), оптимальна система стохастичної стабілізації, квадратичний критерій якості, модель динаміки гексапода, спектральна щільність збурення, структурна ідентифікація, спектральний алгоритм синтезу.*

**Постановка проблеми.** Нині використанню безпілотних літальних апаратів (далі – БПЛА) на судах приділяється значна увага. Військові морські сили зацікавлені у використанні БПЛА з вертикальним злетом і посадкою, здатних в автоматичному режимі виконувати зліт і посадку на обмеженій за площею території [1]. Широке застосування БПЛА на флоті стримується відсутністю надійних засобів для здійснення безаварійної та безпечної посадки на судна у відкритому морі. Найважливішим фак-

тором, який зумовлює складність посадки на судно, є хитавиця. Для компенсації впливу хитавиці використовують стабілізаційні платформи [1–3].

Особливої уваги в цьому напрямі заслуговує запропонована ідея використання платформи Стюарта (гексапода) як злітно-посадочного столу [1–4; 10; 11]. Загальний вигляд гексапода представлено на рис. 1.

Гексапод складається з рухомої платформи 1 та основи 2, які механічно зв'язані за допомогою



**Рис. 1. Гексапод на основі платформи Стюарта:**  
 1 – рухома платформа; 2 – основа;  
 3, 4 – напівштанги

шести ідентичних ланок – ніг (або стійок). Кожна нога виконує функцію лінійного приводу і містить дві напівштанги (3, 4), які з’єднуються за допомогою шарнірів із основою та платформою. Виконавчим приводом кожної ноги формується лінійне переміщення напівштанги 3 відносно напівштанги 4. Цей рух реалізується двигуном (кроковим або вентильним) і механічною передачею типу гвинт – гайка. Рухома платформа переміщується по шести координатам: трьома лінійним і трьома кутовим.

Задача стабілізації кутового положення платформи гексапода полягає в забезпеченні малих кутів її відхилення у площині горизонту за умов дії недетермінованих зовнішніх збурень і факторів, а саме за умов морської хитавиці, за значних коливань сили та напрямку вітру.

Недоліки наявних систем керування положенням платформи гексапода знижують ефективність використання суднової авіації у складній гідрометеорологічній обстановці та можуть призвести до аварій [1–4; 10; 11].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати аналізу літературних джерел [1–4; 5; 7; 10] дозволили встановити, що головною стороною якості роботи систем стабілізації кутового положення платформи є точність підтримки на заданому рівні положення платформи при обмеженій потужності сигналів управління в умовах дії випадкових збурень (зокрема, хитавиці та поривів вітру у відкритому морі), а мірою якості може бути [5–7] сума певним чином зважених дисперсій вихідних координат об’єкта управління (гексапод + регулятор) і сигналів управління. У роботах [5–7] доведено, що максимальною якістю володіють лише такі системи управління (стабілізації) структура та параметри яких отримані шляхом забезпечення екстремуму обраного критерію. Числове значення такого критерію при визначених структурі та параметрах оптималь-

ної системи стабілізації визначає максимальний об’єктивний рівень якості, який може бути досягнуто в реальних умовах функціонування досліджуваного об’єкта та відомих динамічних характеристиках усіх його частин [5–7].

**Постановка завдання.** Таким чином, задача максимізації точності стабілізації кутового положення посадочної платформи формулюється наступним чином: за отриманими внаслідок структурної ідентифікації моделями динаміки системи «гексапод + регулятор» як об’єкта керування та діючих збурень визначити структуру та параметри оптимального регулятора, використання якого гарантує досягнення найвищих рубежів якості процесу стабілізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розв’язання поставленої задачі реалізується через формулювання та вирішення таких часткових задач, як:

- аналіз особливостей систем стабілізації посадочних платформ, режимів роботи й умов функціонування;

- на основі результатів ідентифікації сигналів у каналах керування положенням платформи, зібраної при експериментальних дослідженнях, скласти моделі динаміки векторів сигналів «вхід – вихід» системи «гексапод + регулятор» як об’єкта стабілізації;

- за отриманими після моделями динаміки векторів сигналів «вхід – вихід» обмеженої довжини на основі спектрального алгоритму структурної ідентифікації визначити матриці передаточних функцій системи «гексапод – регулятор» і спектральної щільності збурення;

- синтез оптимальної структури системи стохастичної стабілізації кутового положення платформи гексапода;

- аналіз якості системи стабілізації кутового положення платформи гексапода;

- створення спеціальних програмних комплексів реалізації процедур технології ідентифікації, методології синтезу й аналізу системи стохастичної стабілізації кутового положення платформи;

- розробка методики реалізації оптимальної системи стохастичної стабілізації кутового положення платформи;

- розробка методики проведення виробничих випробувань системи для оцінки її ефективності.

Етапи побудови системи стабілізації кутового положення платформи подано на рис. 2.

На першому етапі формулюються основні теоретичні засади нової технології побудови системи стабілізації кутового положення платформи.

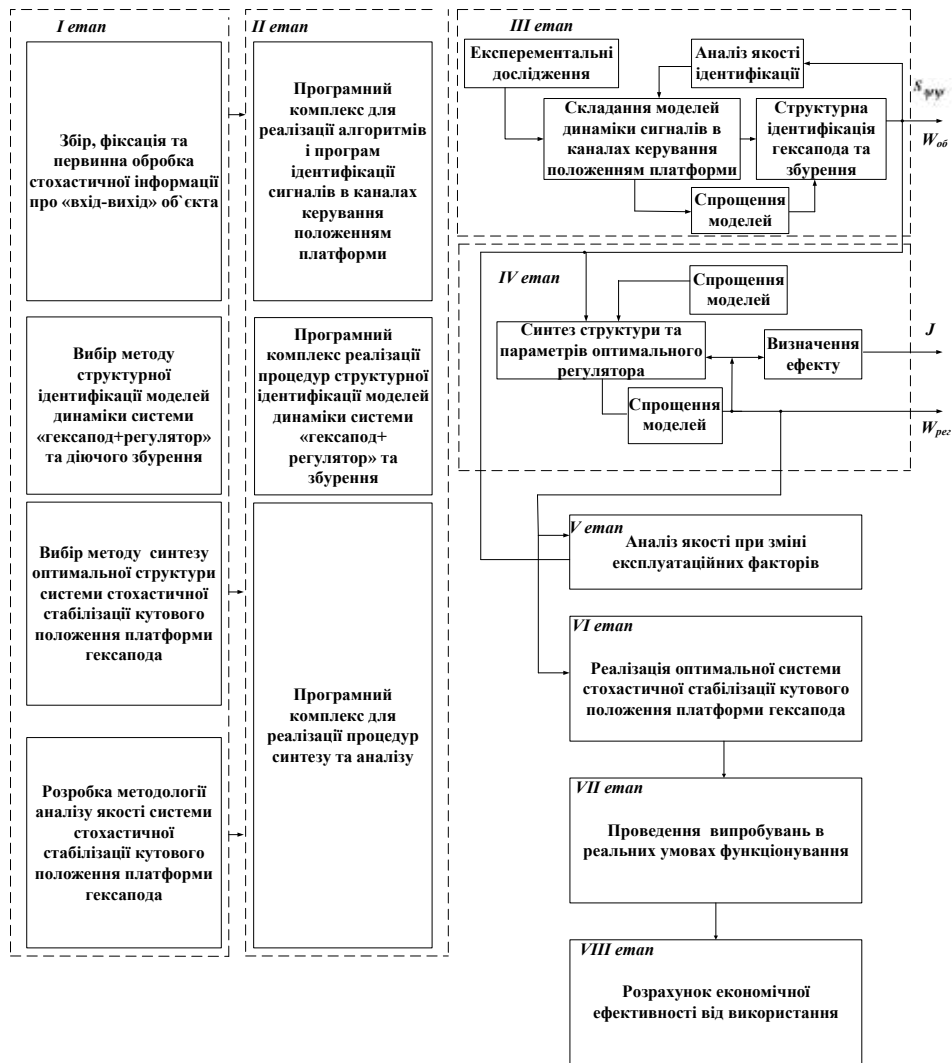


Рис. 2. Етапи побудови системи стабілізації кутového положення платформи

Спочатку необхідно виконати збір, фіксацію стохастичної інформації про «вхід – вихід» об'єкта керування за реальних (або максимально наближених до них) умов його функціонування. Внаслідок обробки за спеціальними алгоритмами з використанням відповідних програмних комплексів будуть отримані оцінки матриць спектральних і взаємних спектральних щільностей векторів сигналів «вхід – вихід» системи «гексапод + регулятор». Після цього – пошук методів та алгоритмів для розв'язання задач ідентифікації системи «гексапод + регулятор» і збурень, синтезу оптимального регулятора, аналізу якості системи, що проектується.

Застосування алгоритмів ідентифікації, синтезу й аналізу потребує виконання значного обсягу математичних операцій, тому на наступному етапі для здійснення таких розрахунків необхідно створити спеціальні програмні комплекси з використанням сучасних систем для математичних обчислень.

Після цього необхідно обрати ефективний метод структурної ідентифікації системи «гексапод + регулятор» і діючого збурення.

Новітні алгоритми структурної ідентифікації динаміки об'єкта і діючого на нього узагальненого збурення мають низку переваг, серед яких слід відзначити: точність; забезпечення побудови моделей динаміки в режимі нормальної експлуатації; зручність, простоту та інформативність; наукову обґрунтованість; можливість використання достатньо простої апаратури, нечутливої до зовнішніх впливів.

Для отримання моделей динаміки системи «гексапод + регулятор» і діючого збурення доцільним є використання методу, який викладено в роботі [5]. Цей метод дає можливість отримати найкращі за мінімумом дисперсії похибки оцінки динамічних характеристик досліджуваного об'єкта за даними вимірювання вхідного та вихідного сигналів за реальних експлуатаційних умов, а також

визначити спектральну щільність неконтрольованого збурення. Для цього використано спеціально створену експериментальну установку, опис якої наведено у [8].

Згідно з обраним методом [5] при вирішенні задачі ідентифікації системи «гексапод + регулятор» прийняті такі припущення: в усталеному режимі система «гексапод – регулятор» має два входи й один вихід (рис. 3). На першому вході діє вектор програмних сигналів  $r$ , компонентами якого є задані значення проєкцій прискорень центру мас платформи на вісі  $x, y$ , вигляду

$$r = \begin{bmatrix} r_x & r_y \end{bmatrix}^T, \quad (1)$$

де  $r_x$  – проєкція прискорення центру мас платформи на вісь  $x$ ;  $r_y$  – проєкція прискорення центру мас платформи на вісь  $y$ ;  $T$  – символ транспонування.

В усталеному режимі ці сигнали становлять стаціонарні випадкові процеси та можуть бути зафіксовані в ході експерименту за умов виробництва.

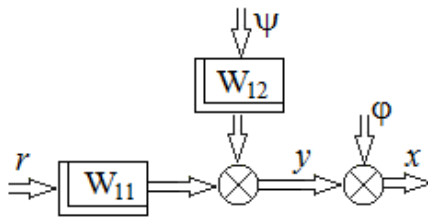


Рис. 3. Структурна схема системи «гексапод + регулятор»

На другому вході діє вектор збурень  $\psi$ , які виникають внаслідок дії сил опору вздовж осей тяг гексапода, що також має дві складові частини:

$$\psi = \begin{bmatrix} \psi_x & \psi_y \end{bmatrix}^T, \quad (2)$$

де  $\psi_x, \psi_y$  – проєкції збурень на відповідні осі зв'язаної системи координат. Вихід системи представляє вектор  $x$ , складений із сигналів на виході акселерометра, які пропорційні проєкціям  $x_x$  та  $x_y$  фактичного прискорення платформи на вісь чутливості 3d датчика:

$$x = \begin{bmatrix} x_x & x_y \end{bmatrix}^T. \quad (3)$$

Похибки акселерометра характеризує вектор шумів вимірювання  $\phi$ , котрий також має дві компоненти:

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_x & \phi_y \end{bmatrix}^T. \quad (4)$$

Зв'язок між векторами (1), (2), (4) та вектором (3) з урахуванням схеми на рис. 2 за аналогією з монографією [5] характеризує така система звичайних диференціальних рівнянь:

$$Px = Mr + \psi - P\phi, \quad (5)$$

де  $P$  і  $M$  – поліноміальні матриці розмірності  $2 \times 2$  від оператора диференціювання  $p = d/dt$ . Після виконання перетворень Лапласа лівої та правої частини рівняння (5) за нульових початкових умов і після множення лівої та правої частини цього рівняння на зворотну матрицю  $P^{-1}$  отримано таке співвідношення:

$$x - \phi = W_{11}r + W_{12}\psi, \quad (6)$$

у якому  $W_{11}$  – матриця передаточних функцій системи «гексапод + регулятор», яка пов'язує вектори  $r$  і  $x$ ;  $W_{12}$  – матриця передаточних функцій системи «гексапод + регулятор», що характеризує вплив вектора збурень  $\psi$  на вектор сигналів  $x$ .

Внаслідок спеціальних експериментальних досліджень повинні бути сформовані та зафіксовані реалізації зміни компонентів векторів  $r$  та  $x$  як двовимірних центрованих стаціонарних випадкових процесів. Будемо вважати, що характеристики вектора шумів на виході 3d MEMS акселерометра знайдені шляхом динамічної атестації, як показано в роботі [8].

Таким чином, задача ідентифікації полягає в тому, щоб за отриманими внаслідок експериментальних досліджень записами зміни компонентів векторів «вхід – вихід»  $r_x, r_y, x_x, x_y$  знайти матриці передаточних функцій  $W_{11}$  та  $W_{12}$ , а також матрицю спектральних щільностей вектору вимірюваних збурень з умови мінімуму наступного показника якості ідентифікації  $J_{iden}$

$$J_{iden} = \langle \varepsilon^T(t) R \varepsilon(t) \rangle, \quad (7)$$

де  $\varepsilon(t)$  – вектор похибок ідентифікації, який дорівнює

$$\varepsilon(t) = x(t) - x_m(t); \quad (8)$$

де  $x_m(t)$  – вектор сигналів на виході моделі системи;  $R$  – додатно визначена вагова матриця;  $\langle * \rangle$  – символ операції пошуку математичного очікування.

Отримані моделі динаміки системи «гексапод + регулятор» і спектральна щільність збурення становлять основу для синтезу оптимального регулятора, використання якого дозволить суттєво підвищити точність стабілізації кутового положення платформи.

Застосування алгоритмів ідентифікації, синтезу й аналізу потребує виконання значного обсягу математичних операцій. Тому на другому етапі для здійснення таких розрахунків необхідно створити спеціальні програмні комплекси з використанням сучасних систем для математичних обчислень.

Метою третього етапу є отримання передаточної функції системи «гексапод + регулятор» ( $W_{об}$ ) та збурюючого впливу  $S_{\psi}$ . Вихідними даними для виконання цього етапу є моделі динаміки сигналів, які діють у каналах керування положенням платформи, отримані внаслідок проведення за спеціальною методикою експериментальних випробувань. За результатами проведених досліджень необхідно виконати оцінку статистичних характеристик, визначити спектральні щільності та взаємні спектральні щільності зазначених сигналів. Для проведення подальших розрахунків здійснюється апроксимація графіків спектральних і взаємних спектральних щільностей аналітичними виразами на класі дробово-раціональних функцій. Після цього відповідно до розробленої на попередньому етапі методики виконується структурна ідентифікація системи «гексапод + регулятор» і збурюючого впливу. З метою прийняття рішення про подальше використання отриманих результатів здійснюється аналіз якості ідентифікації згідно з обраним критерієм (8) та за необхідності відбувається спрощення (редукування) математичних моделей.

Процес редукування моделей – це процес вибору між її простотою та відповідністю фізичній картині процесу. З одного боку, за збільшення кількості параметрів, які беруть до уваги, можна покращити точність моделі, але водночас це може призвести до підвищення структурної складності моделі. З іншого – суттєве спрощення моделі може спричинити втрату її фізичного змісту, наслідком чого може бути поява несподіваних результатів при виконанні випробувань за реальних умов функціонування. Таким чином, процедура спрощення (редукування) отриманих математичних моделей є ітераційною та може вимагати повторення етапів експерименту та ідентифікації.

На четвертому етапі на основі обраного методу [5] виконується синтез оптимальної системи стохастичної стабілізації кутового положення платформи, отримання структури та параметрів регулятора  $W_{рег}$ . Вихідними даними для здійснення синтезу є передаточна функція системи «гексапод + регулятор»  $W_{об}$  та збурюючого впливу  $S_{\psi}$ . Обраний метод дозволяє визначити матрицю передаточних функцій регулятора  $W_{рег}$ , підключення якого у коло зворотного зв'язку системи [5] забезпечує стійкість замкненої системи керування (рис. 4) та доставляє мінімум сумі зважених дисперсій компонентів векторів  $u$  та  $x$ , представлений у вигляді функціоналу  $J$ :

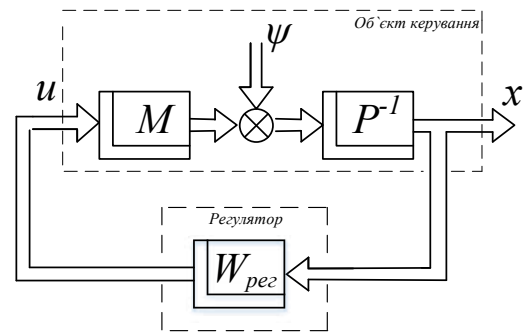


Рис. 4. Структурна схема системи стабілізації

$$J = \langle x' R x \rangle + \langle u' C u \rangle, \quad (9)$$

де  $x$  – 2-вимірний вектор вихідних сигналів об'єкта керування;  $u$  – 2-вимірний вектор сигналів керування;  $'$  – символ операції «транспонування»,  $\langle \rangle$  – символ математичного сподівання,  $R$  – додатно визначена діагональна вагова матриця;  $C$  – невід'ємно визначена діагональна вагова матриця.

Після знаходження матриці передаточних функцій регулятора  $W_{рег}$  відбувається обчислення обраного показника якості  $J$  та його складників.

На п'ятому етапі необхідно кількісно оцінити якість отриманої системи на основі обраного показника якості. Кількісне визначення ефекту від використання системи, що пропонується, має бути здійснене шляхом відповідної постановки та вирішення задачі аналізу якості оптимальної системи стохастичної стабілізації кутового положення платформи за зміни в широких межах параметрів об'єкта керування та збурення.

На шостому етапі виконується розробка методики реалізації оптимальної системи стохастичної стабілізації. На останньому етапі необхідно провести випробування розробленої системи за умов виробництва й оцінити економічний ефект від її впровадження.

**Висновки.** У роботі представлено основні етапи створення системи стабілізації кутового положення платформи з використанням сучасних наукоємних технологій проектування. Успішна реалізація всіх зазначених етапів забезпечить досягнення максимальної точності стабілізації кутового положення платформи. Результати вирішення задач структурної ідентифікації, синтезу й аналізу якості дозволять прийняти науково обґрунтоване рішення про доцільність використання системи, що пропонується. У разі прийняття позитивного рішення необхідно буде лише реалізувати матрицю оптимального регулятора на сучасній елементній базі.

Список літератури:

1. Посадка беспилотных летательных аппаратов на суда: проблемы и решения / А.А. Александров и др. ; под науч. ред. Г.А. Коржавина. Санкт-Петербург : Судостроение, 2014. 192 с.
2. Stewart D. A platform with six degrees of freedom. *Proceedings of the Institution of mechanical engineers*, 1965. Vol. 180. P. 371–385.
3. Андриевский Б.Р., Шаров С.Н. Определение положения посадочного устройства БПЛА в условиях качки. *Морской вестник*. 2012. № 2 (42). С. 75–77.
4. Ren W., Beard R. W. Trajectory Tracking for Unmanned Air Vehicles With Velocity and Heading Rate Constraints. *IEEE Trans. Control Systems Technol.* 2004. Vol. 12 (5). P. 706–716.
5. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации : монография / В.Н. Азарсков и др., общ. ред. Л.Н. Блохина. Киев : Книжное издательство НАУ, 2006. 440 с.
6. Boyin Ding. A Study of a Gough-Stewart Platformbased Manipulator for Applications in Biomechanical Testing: A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Ph.D. in Mechanical Engineering / School of Mechanical Engineering, The University of Adelaide. South Australia, Australia, 2014. 237 p.
7. Зозуля, В., Осадчий, С., Беляев Ю.Б. Класифікація завдань і принципів управління механізмом паралельної кінематичної структури для вирішення різних завдань. *Automation of Technological and Business Processes*. 2018. № 10 (2). С. 18–29.
8. Melnychenko M.M., Osadchy S.I., Zozulya V.A. Identification of the Signals in Position Control Circuits of a Hexapod Platform. *Electronics and control systems*. 2016. № 4. P. 51–57.
9. Зозуля В.А., Осадчий С.І. Огляд методів побудови систем керування механізмом паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта (гексапод). *Automation of Technological and Business Processes*. 2019. № 11 (3). С. 23–31.
10. Alexandre Campos, Jacqueline Quintero, Roque Saltaren, Manuel Ferre and Rafael Aracil. An Active Helideck Testbed for Floating Structures based on a Stewart-Gough Platform: Proceedings of the 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, Acropolis Convention Center Nice, France, 22–26 Sept, 2008. P. 3705–3710.
11. Campa R., Bernal J., Soto I. Kinematic Modeling and Control of the Hexapod Parallel Robot : Proceeding of American Control Conference (ACC), Boston, MA, USA, 6–8 July, 2016. P. 1203–1208.

**Osadchy S.I., Bereziuk I.A., Melnichenko M.M. MAXIMIZING THE STABILIZATION ACCURACY OF ANGULAR POSITION OF THE LANDING PLATFORM**

*Landing aircraft in difficult weather conditions is one of the most difficult operations, and landing on dynamic floating objects in such conditions is a real challenge for aircraft and their operators and pilots. At the present stage, the use of mechanisms with parallel kinematics, namely the Stewart platform (hexapod) as a takeoff and landing table has become widespread.*

*The article presents research aimed at creating a control system for the angular position of the platform for takeoff and landing of unmanned aerial vehicles and helicopters from the surfaces of ships on the high seas in wave turbulence and difficult weather conditions. Analysis of the results of modern research in the field of creating systems of this class allowed us to conclude that overcoming the disadvantages of existing systems and achieving the highest accuracy of stabilization of the angular position of the platform can be done using multidimensional optimal systems of stochastic stabilization. One of the effective methodologies for creating systems of this class is based on the use of models of the dynamics of the control object (hexapod) and the existing perturbations and the quadratic quality criterion.*

*The article presents the methodology and technology of maximizing the accuracy of stabilization of the angular position of the landing platform installed on a moving object (vessel), through the development and implementation of new principles of control mechanisms with parallel kinematics such as hexapods. The proposed approach to the synthesis of the stabilization system of the angular position of the platform differs in that the initial data are models of hexapod dynamics and spectral density of the active perturbation obtained on the basis of experimental data and the use of spectral algorithm of structural identification. The basic stages of the proposed methodology are the structural identification of the matrix of transfer functions of the hexapod as a control object and the spectral density of the active perturbation; synthesis of the optimal structure of the system of stochastic stabilization of the angular position of the hexapod platform; analysis of the quality of the system of the proposed system.*

*The theoretical basis for the successful implementation of these stages are scientifically based methods and algorithms for estimating and identifying complex dynamic objects and perturbations in real operating conditions, as well as modern methods of optimal synthesis. The implementation of this system will allow to obtain the maximum possible quality and accuracy of management.*

**Key words:** *unmanned aerial vehicle, Stewart platform (hexapod), optimal stochastic stabilization system, hexapod dynamics model, quadratic quality criterion, spectral perturbation density, structural identification, spectral synthesis algorithm.*

**Плохотнюк М.О.**

Одеський національний політехнічний університет

**Пелих С.М.**

Одеський національний політехнічний університет

## РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ГРУПИ ПІДГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

*Функціональна схема автоматизації (ФСА) відіграє важливу роль у світі сучасного інжинірингу, зокрема розробки автоматичних систем управління.*

*При розробці ФСА реалізується низка завдань, таких як отримання первинної інформації про стан технологічного процесу й обладнання; безпосередній вплив на технологічний процес для управління ним; стабілізація технологічних параметрів процесу; контроль і реєстрація технологічних параметрів процесів і стан технологічного обладнання.*

*Зазначені завдання вирішуються на підставі аналізу умов роботи технологічного обладнання, виявлення законів і критеріїв управління об'єктом, а також вимог, що висуваються до точності стабілізації, контролю та реєстрації технологічних параметрів, до якості регулювання і надійності.*

*Підтримання заданого рівня конденсату у підігрівачах низького тиску (ПНТ) є складовою частиною автоматизованої роботи атомної електростанції з реактором типу ВВЕР 1000. Актуальність полягає в тому, що підвищення рівня конденсату від нормального призводить до затоплення поверхонь теплообміну, а іноді й до проскакування крапель води до турбіни; пониження рівня призводить до проскакування конденсату до конденсаційних насосів і кавітації. Тому виникла необхідність синтезу й аналізу автоматизованої системи регулювання рівня конденсату у групі підігрівачів низького тиску, фундаментальною основоположною частиною якої є відповідна функціональна схема автоматизації.*

**Ключові слова:** *автоматизована система регулювання, підігрівач низького тиску, атомна електростанція з реактором типу ВВЕР 1000, автоматизація, функціональна схема автоматизації, Piping & Instrumentation Diagrams.*

**Постановка проблеми.** На атомних електростанціях велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним зі способів підвищення якості цих питань є автоматизація технологічних процесів, зокрема регулювання рівня конденсату у групі підігрівачів низького тиску [1, с. 148–153].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У дослідженні [2, с. 206–211] описано алгоритм генерації несуперечливих вирішальних правил для вибору раціональної альтернативи з безлічі функціональних схем системи автоматизації з використанням математичного апарату теорій нечіткої логіки та наближених множин. Алгоритм дозволяє проводити багатокритеріальну оцінку складних варіантів схем без помітного збільшення тимчасової складності порівняно з оцінкою одноконтурних схем. Сформульовано вимоги до навчальних множин функціональних схем з урахуванням особливостей складників їхніх ланцюгів і сфери застосування. Використання алго-

ритму дозволяє спростити розробку схем автоматизації технологічних об'єктів і поліпшити якість опрацювання їхніх проектних рішень.

Одним із перших етапів розробки автоматизованої системи управління будь-яким технологічним процесом є розробка відповідної функціональної схеми автоматизації.

**Постановка завдання.** Мета – розробити функціональну схему автоматизації групи підігрівачів низького тиску атомної електростанції з реактором типу ВВЕР 1000.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Спочатку розглянемо вимірювальну апаратуру для контролю й управління рівня конденсату у групі підігрівачів низького тиску атомної електростанції з реактором типу ВВЕР 1000.

Забезпечення безпеки, надійності й економічності технологічного процесу можливе лише за умови, що всі величини, які характеризують процес (температура, тиск, витрата і т. д.), знаходяться в суворо заданих межах. Вихід за ці межі тягне за



собою зниження економічності, а при збільшенні відхилень може привести до аварійної зупинки або навіть руйнування технологічного об'єкта. Необхідно постійно контролювати ці величини та впливати на технологічний процес таким чином, щоб підтримувати їхні необхідні значення, тобто здійснювати процес управління.

Регенеративні підігрівачі низького тиску призначені для ступеневого підігріву живильної води паром з відборів парових турбін. ПНТ є кожухотрубний теплообмінник вертикального типу, що складається з корпусу, трубної системи з латунними трубками U-подібної форми, верхньої водяної камери.

Підігрівачі низького тиску призначені для підігріву живильної води в системах регенерації стаціонарних парових турбін теплових електростанцій.

Розглянемо схему підігрівача низького тиску, який застосовується на АЕС із реактором типу ВВЕР 1000 – див. рис. 1.

Для успішного виконання завдання по підігріву живильної води групи підігрівачів низького тиску атомної електростанції з реактором типу ВВЕР 1000 здійснюється вимір таких параметрів, як:

- рівень конденсату поверхневих підігрівачів;
  - тиск гріючої пари всередині підігрівачів;
  - тиск живильної води перед і після груп ПНТ;
  - температура живильної води на вході та виході з підігрівачів;
  - температура пари у відборах до підігрівача.
- Вимірювання використовуються для:
- забезпечення інформацією Блочного Щита Управління (БЩУ);
  - формування команд у схемах автоматичного регулювання;
  - формування сигналів аварійного захисту підігрівачів;
  - формування сигналів у схемах попереджувальної сигналізації;
  - формування команд у схемах блокування.

Передача інформації від технологічного об'єкта до оператора відбувається за таким ланцюгом:

Добірний пристрій знаходиться в безпосередньому контакті з робочим середовищем, розташовується на основному обладнанні:

- штуцер;
- бобики для встановлення термометрів на технологічному обладнанні;
- труба проводка.

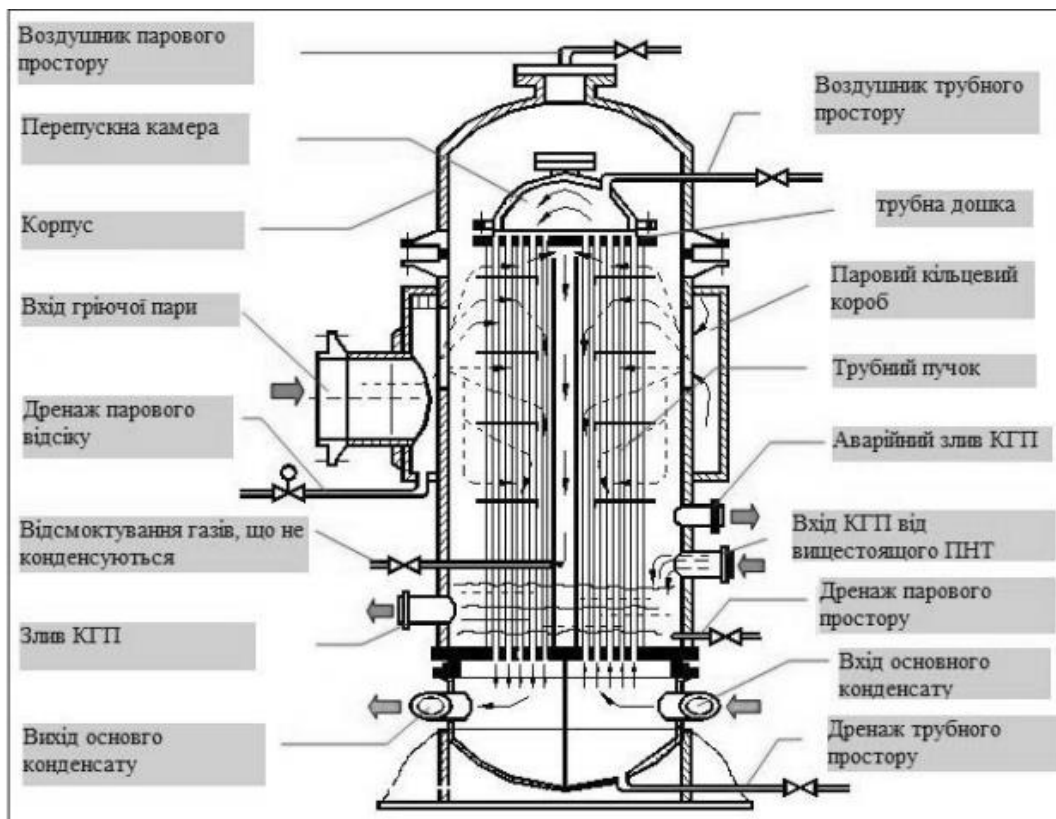


Рис. 1. Технологічна схема підігрівача низького тиску

Трубною проводкою називається сукупність труб і трубних кабелів, сполучених із приєднувальними пристроями.

За функціональним призначенням трубні проводки діляться на:

- імпульсні лінії зв'язку;
- командні лінії зв'язку.

Імпульсні лінії зв'язку служать для з'єднання добірних пристроїв із вимірювальними приладами, перетворювачами або регуляторами [3, с. 704]. Вони призначені для передачі впливу вимірюваного або регульованого середовища, на чутливі елементи засобів вимірювання й автоматизації.

Командні лінії зв'язку служать для з'єднання між собою окремих функціональних блоків засобів автоматизації (датчиків, перемикачів, перетворювачів, виконавчих команд) і передачі командних сигналів (тиску, температури, рівня) від передавальних блоків до прийомних.

Від вимірювальних пристроїв інформація передається до Автоматичної системи управління технологічним процесом (далі – АСУ ТП).

Змістом інформаційних функцій АСУ ТП є збір, обробка та подання інформації про стан технологічного об'єкта оперативному персоналу, а також її реєстрації.

Контроль і вимірювання технологічних параметрів полягає у перетворенні значень параметрів об'єкта (тиску, температури, рівня, витрат) у сигнали, придатні для сприйняття оперативним персоналом або для їх подальшої автоматизованої обробки.

Реєстрація величин здійснюється для подальшого аналізу роботи технологічного об'єкта. Реєстрація проводиться в пам'яті ЕОМ, а також на вихідних носіях ЕОМ.

Технологічна (попереджувальна) сигналізація здійснюється шляхом видачі світлових і звукових сигналів і привертає увагу персоналу до порушень технологічного процесу, що виражається у відхиленні параметрів за допустимі межі.

Розрізняють індивідуальну сигналізацію, за якої кожному параметру відповідає свій пристрій сигналізації, забезпечений написом, що вказує на характер порушення; групову, за якої світловий сигнал з'являється при відхиленні одного із заздалегідь заданої групи параметрів.

Сигналізація стану запірних органів (засувок) і механізмів (насосів) здійснюється за допомогою колірних сигналів, які відповідають певним станам засувок і насосів. Розрізняють індивідуальну сигналізацію стану, за якої кожному органу або механізму відповідає свій сигнал, і групову,

за якої сигнал сповіщає про стан групи органів і механізмів [4, с. 7].

Основне управління і контроль за теплотехнічними процесами енергоблоку атомної електростанції з реактором типу ВВЕР 1000 проводиться із блочного щита управління (БЩУ).

Управління та контроль системи регенерації низького тиску передбачається у всіх режимах роботи системи.

Для контролю за обладнанням за умов нормальної роботи енергоблоку на фрагменти РМОТ виведена необхідна інформація за основними технологічними параметрами.

Для надання інформації про протікання технологічного процесу передбачені такі засоби КВП:

- манометри технічні для вимірювання надлишкового тиску;
- мановакууметри для вимірювання вакууму;
- водопоказуючі колонки для вимірювання рівня;
- ВП типу «Метран-100-ДД» для вимірювання рівня та витрати;
- ВП типу «Метран-100-ДИ» для вимірювання надлишкового тиску;
- термоперетворювачі опору типу ТСП для вимірювання температури;
- ІТТ для надання інформації про протікання технологічного процесу.

До засобів контролю системи регенерації високого тиску належать:

- показуючі прилади за місцем розташування обладнання;
- показуючі прилади на панелях БЩУ;
- контроль найбільш важливих технологічних параметрів за фрагментами РМОТ;
- звукова та світлова сигналізація відхилення найбільш важливих параметрів.

**Вимірювання рівня в підігрівачах.** Вимірювання рівня в підігрівачі використовуються для формування команд у схемах блокування, регуляторів, для відображення та реєстрації параметрів в УВС [5, с. 239–240]. Для вимірювання рівня в підігрівачі застосовуються гідростатичні рівнеміри та рівнеміри прямої дії, розташовані безпосередньо в ПВТ. У комплект гідростатичного рівнеміра входить:

- а) перетворювач вимірювальний «Метран-100-ДД»;
- б) однокамерна зрівняльна посудина;
- в) вторинний прилад.

На рис. 2 представлена функціональна схема автоматизації групи підігрівачів низького тиску атомної електростанції з реактором типу ВВЕР 1000.

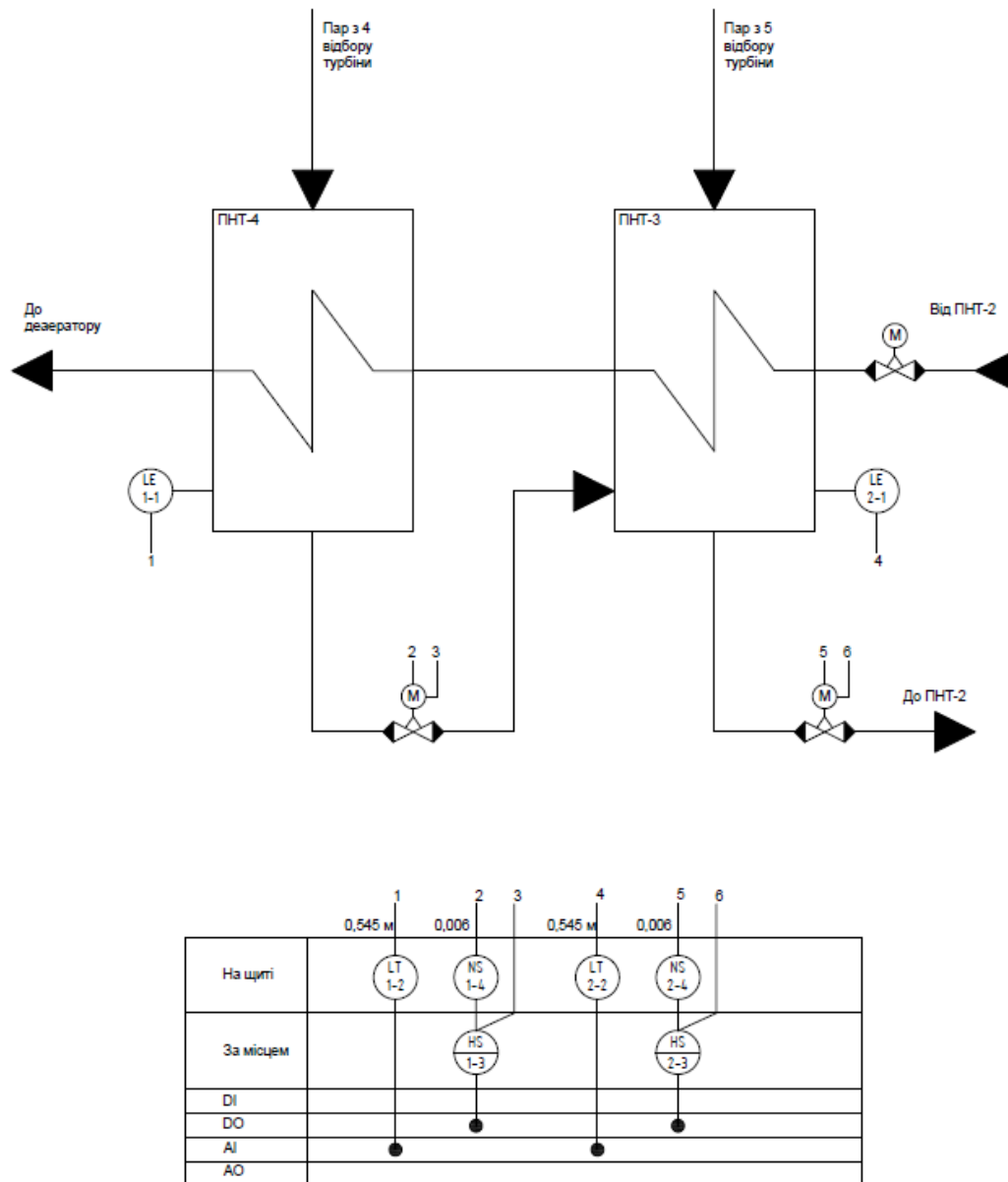


Рис. 2. Функціональна схема автоматизації групи підігрівачів низького тиску АЕС

Умовні позначення на схемі відповідають ГОСТ 21.208-2013. У верхній частині схеми відображений технологічний процес, а саме підігрівання води другого контуру у групі ПНТ. Перелік основних елементів функціональної схеми автоматизації:

LE – датчики рівня, призначені для формування сигналу, який показує рівень конденсату;

LT – перетворювачі, призначені для перетворення сигналу від датчика рівня в сигнал для контролера (4–20 мА);

HS – контактор, призначений для подачі напруги на привід, що відповідає за рух клапана;

NS – клапан, призначений для стоку конденсату з підігрівача низького тиску.

**Висновки.** Оскільки розробка функціональної схеми автоматизації є одним із основних етапів розробки автоматизованої системи управління будь-яким технологічним процесом, у статті розроблено та представлено функціональну схему автоматизації групи підігрівачів низького тиску атомної станції з реактором типу ВВЕР 1000.

Така функціональна схема автоматизації дозволяє перейти до наступних етапів розробки автоматичної системи управління рівнем конденсату у групі підігрівачів низького тиску, а саме підбору приладів, розробки електричної принципової схеми, розробки математичної моделі, написання програми для автоматизованої системи управління.

**Список літератури:**

1. Плохотнюк М.О. Дослідження автоматичної системи регулювання рівня води в групі підігрівачів низького тиску АЕС. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2019. Т. 30 (69). № 6. С. 148–153.
2. Филатова Н.Н., Требухин А.Г. Генерация решающих правил для проектирования функциональных схем автоматизации. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2012. С. 206–211.
3. Преображенский В.П. Теплотехнічні виміри і прилади : підручник. Москва : «Енергія», 1978. 704 с.
4. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2015. Вип. 2 (36). С. 7.
5. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЭС. Одеса : «Асторпринт», 2001. С. 239–240.

**Plokhotniuk M.O., Pelykh S.M. DEVELOPMENT OF PIPING AND INSTRUMENTATION DIAGRAM OF AUTOMATION FOR A GROUP OF LOW-PRESSURE HEATERS AT A NUCLEAR POWER PLANT**

*The aim is to develop a functional scheme of automation of a group of low-pressure heaters of a nuclear power plant. The functional scheme of automation is one of the main and fundamental points of development of automatic control system of any technological process. Therefore, one of the first points in the development of an automatic control system is a functional scheme of automation.*

*At nuclear power plants, much attention is paid to safety, reliability, quality of operation of basic equipment. One way to improve the quality of these issues is to automate technological processes. One such process is the regulation of the condensate level in the group of low pressure heaters.*

*Functional automation scheme (FSA) plays an important role in the world of modern engineering, and in particular the development of automatic control systems.*

*During the development of FSA a number of tasks are implemented, such as: obtaining primary information about the state of the technological process and equipment; direct influence on the technological process for its management; stabilization of technological parameters of the process; control and registration of technological parameters of processes and a condition of the technological equipment.*

*These tasks are solved on the basis of analysis of operating conditions of technological equipment, identification of laws and criteria for facility management, as well as requirements for the accuracy of stabilization, control and registration of technological parameters, the quality of regulation and reliability.*

*Maintaining a given level of condensate in low pressure heaters is an integral part of the automated operation of a nuclear power plant. The relevance is that increasing the level of condensate from normal leads to flooding of the heat transfer surfaces, and sometimes leads to the leakage of water droplets into the turbine; lowering the level leads to leakage of condensate to the condensing pumps, which leads to cavitation. Therefore, there is a need for synthesis and analysis of an automated system for regulating the level of condensate in the group of low pressure heaters, and the fundamental.*

**Key words:** *automated control system, low pressure heater, nuclear power plant, automation, functional diagram of automation, Piping & Instrumentation Diagrams.*

**Чанышев Р.И.**

Национальный университет «Одесская юридическая академия»

## УСЛОВИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ С ПРОВАЙДЕРАМИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ

Хмарні технології з'явилися і стали впроваджуватися у практику не так давно – приблизно з 2012 р. За минулі роки виявилися численні переваги використання цих технологій у бізнесі, управлінні й у приватному (особистому) їх використанні.

Характер використання публічних хмарних технологій передбачає передачу інформації від користувача (приватної особи або організації) в системи зберігання провайдерів хмарних технологій. Користувач не знає, де саме розташовані використовувані ним сховища даних і хто саме має до них доступ.

Умови використання сервісів публічної хмари обговорюються в умовах надання послуг, в угодах про використання сервісів, у заявах про конфіденційність – конкретна назва документа вибирається провайдером хмарних послуг. Умови угод, декларацій і т. п. приймаються користувачем у момент створення облікового запису, за допомогою якого надається доступ до хмарних послуг у вигляді згоди користувача з умовами договору приєднання. Від користувача не потрібно попереднього ознайомлення з текстом договору, більш того, сама наявність такого тексту подається в неявній (малопомітній) для користувача формі.

У статті розглядається зміст договорів приєднання на прикладі договорів такого провайдера хмарних сервісів, як корпорація Microsoft і здійснюється аналіз умов договору з погляду забезпечення конфіденційності даних користувача. Виявлено, що умови таких договорів передбачають тільки декларативне збереження конфіденційності даних користувача. Фактично ж вони дозволяють повний доступ до даних користувача не тільки самим провайдерам хмарних сервісів, а і третім особам. Умови цих договорів передбачають практично повну деанонізацію користувачів, що укупі з можливістю передачі даних третій стороні відкриває можливість, наприклад, для кримінального переслідування користувачів.

Проблема полягає ще й у тому, що фахівці у сфері інформаційних технологій не мають належних юридичних знань і часто не можуть дати правову оцінку умовам цих угод.

У статті даються рекомендації щодо збереження конфіденційності переданих у хмару даних без порушення умов договору із провайдером хмарних сервісів.

**Ключові слова:** хмарні технології, договори приєднання, збереження конфіденційності, проблема деанонізації користувачів, необхідність шифрування даних.

**Постановка проблеми.** Переход обычных компьютерных технологий к облачным в Украине начался с 2012 г., и к настоящему времени объем предоставляемых облачных услуг в Украине вырос в 16 раз. Однако их внедрение осуществляется преимущественно технически, при этом правовым аспектам их использования в части сохранения конфиденциальности передаваемых в облачные хранилища информации уделяется недостаточно внимания. Эта проблема возникла в связи с тем, что внедрением облачных технологий занимаются специалисты, занимающиеся компьютерными технологиями, имеющие технические знания, но не имеющие знаний юридических, а между тем перед началом использования любой публичной облачной услуги пользователь должен принять условия договора, составлен-

ного организацией, оказывающей услугу доступа к облачным сервисам. Анализ содержания таких договоров свидетельствует о том, что практически каждый из них содержит пункты, непосредственно связанные с нарушением конфиденциальности данных пользователя.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ публикаций, связанных с данной темой, показывает, что эта проблема пока не нашла своего должного отражения в научной литературе. Такой парадокс можно объяснить как новизной самой темы, так и тем, что она находится на стыке таких далеких от друг друга отраслей знаний, как компьютерные технологии и право. Подавляющее большинство пользователей не читают тексты соответствующих соглашений и деклараций уже просто по той причине, что тек-

сты соглашений даются в виде ссылок, причем ссылок, набранных мелким шрифтом и расположенных таким образом, чтобы пользователь их не заметил. Проблема усугубляется тем, что специалисты в сфере информационных технологий не обладают должными юридическими знаниями и зачастую не могут дать правовую оценку условиям этих соглашений.

**Постановка задания.** Целью данной статьи является анализ содержания соглашений, условий и деклараций, предлагаемых провайдерами облачных сервисов на примере соглашений и деклараций корпорации Microsoft, выявление в них условий, потенциально нарушающих конфиденциальность данных пользователя (и тем самым влияющих на общую безопасность использования облачных сервисов) для последующей разработки общих рекомендаций для пользователей облачных сервисов.

**Изложение основного материала исследования.** Публичные облачные сервисы используют традиционную клиент-серверную технологию, дополненную тем, что в данном случае серверы размещаются удаленно, и пользователь (частное лицо или организация) не имеет к ним непосредственного (физического) доступа. Тем самым пользователь облачных сервисов (далее – пользователь ОС) полностью лишен возможности каким-либо образом контролировать процесс работы и обслуживания сервера, в т. ч. и удаленно, с помощью программных средств.

В этом случае пользователю приходится полностью полагаться на честность и добросовестность провайдеров облачных сервисов (далее – провайдеров ОС).

Безусловно, существует альтернатива в виде частных облаков, создаваемых самими пользователями (например, организацией или предприятием для своих сотрудников), но их создание и поддержка требуют значительных затрат, невозможных для простых пользователей и для организаций, не имеющих своих отделов ИТ.

Пользователи ОС имеют возможность выбора из нескольких планов различной стоимости и с различными наборами услуг [1], но в любом случае пользователю ОС приходится принимать условия, предложенные ему провайдером ОС.

Известны случаи, когда составители соглашений с конечным пользователем вносили в них довольно странные требования. Например, британская компания Game Station включила в текст соглашения пункт о том, что пользователь обязуется отдать после смерти «свою бессмертную

душу» этой компании. В итоге это соглашение приняли 7 500 человек, что составило 88% процентов от общего числа всех пользователей [2].

Такая статистика свидетельствует о том, что большая часть пользователей вообще никогда не читает такие документы. Однако все эти соглашения юридически являются договором присоединения (вид договоров, при заключении которых одна сторона может только принять или не принять условия договора, предложенные другой стороной, но не имеет возможности изменить эти условия). Таким образом, пользователь, нажимая на предложенную ему кнопку («ОК», «Да», «Далее», «Продолжить» и т.п.), заключает договор с другой стороной и тем самым принимает на себя определенные обязанности и предоставляет определенные права другой стороне.

Ссылка на условия провайдеров ОС обычно дается мелким шрифтом и малозаметна для пользователя. Принятие условий (согласие с ними) осуществляется путем нажатия на кнопку, с текстом условий никак не связанную, хотя и расположенную на том же экране (рис. 1).

Так, корпорация Microsoft дает ссылку на Заявление о конфиденциальности в одной строке с приглашением присылать, по факту, рекламную информацию, а корпорация Google не только использует мелкий шрифт, но и не выделяет ссылку подчеркиванием и цветом. Кроме того, в самом тексте наиболее важные по смыслу части документа скрываются при помощи ссылок. Подобная практика однозначно свидетельствует о том, что провайдеры ОС не стремятся к тому, чтобы пользователи нашли и прочли эти условия.

Далее в статье рассматриваются и анализируются положения двух документов – Соглашения об использовании служб Майкрософт (далее – Соглашение) [3] и Заявления о конфиденциальности (далее – Заявление) [4].

В первом же абзаце Соглашения указывается: «Принимая данные Условия, Вы тем самым даете согласие на сбор, использование и раскрытие Вашего содержимого и Данных согласно положениям Заявления о конфиденциальности».

Далее дается разъяснение, что после отправки содержимого (т.е. информации) «другим людям» они смогут использовать его в «мировом масштабе», «для цели, для которой Вы предоставили доступ к Вашему содержимому в Службах» без предоставления пользователю компенсации.

Поскольку широкое понятие «другие люди» может включать в себя и самого провайдера ОС, данный пункт можно считать предупреждением о

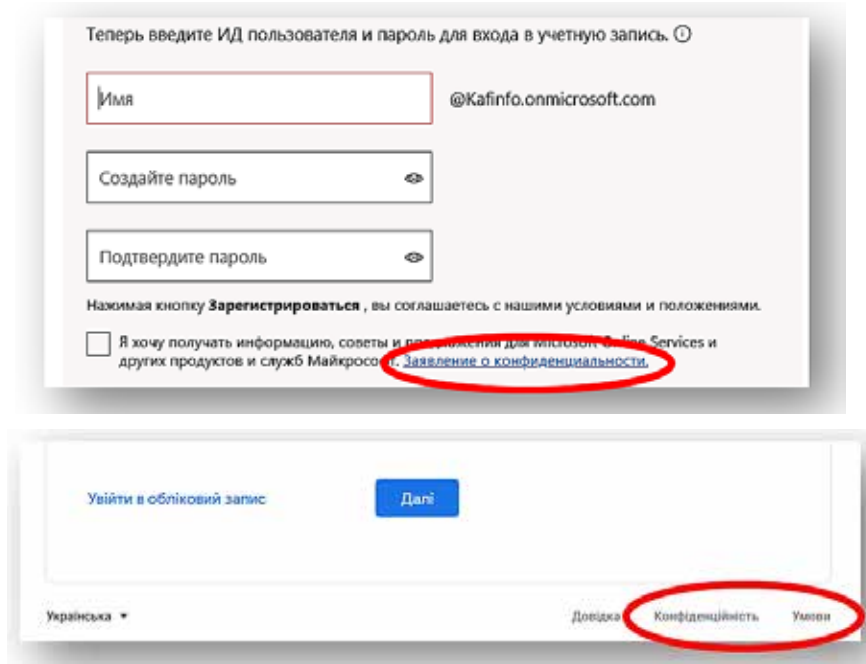


Рис. 1

возможности использования отправленной пользователем ОС информации в интересах самого провайдера ОС.

В упомянутом выше Заявлении о конфиденциальности в первом же пункте указано, что Microsoft собирает персональные данные своих пользователей, причем не только те, что предоставляются ей пользователями напрямую, но и те, что предоставляются Microsoft от третьих сторон. Кроме того, анализируются и действия пользователей в службах, предоставляемых этим провайдером ОС.

Принцип получения данных от третьих сторон может означать анализ информации, получаемой от пользователя служб Microsoft, с целью выявления в ней информации, связанной с другими пользователями таких служб.

В Заявлении перечисляются источники информации от третьих сторон, к числу которых относятся брокеры демографических данных, открытые публикации в социальных сетях, сообщения электронной почты, к которым не закрыт доступ, информация от провайдеров мобильной и стационарной связи, с помощью которой можно определить местонахождение компьютерного устройства пользователя, интернет-магазины и другие торговые площадки, разработчики программного обеспечения и прочие общедоступные источники, включая и государственные базы данных, к которым открыт свободный доступ.

Таким образом, в Заявлении допускается сбор всей возможной информации о пользователе из

открытых источников. При этом подчеркивается, что отказ от предоставления данных, необходимых для работы продукта или компонента, может привести к недоступности некоторых функций или услуг.

В Заявлении указывается, что собирается следующая информация о пользователе: имя, фамилия, адрес электронной почты, почтовый адрес, номер телефона, используемые пароли, подсказки по паролям, данные о возрасте, поле, стране, предпочитаемом языке, данные банковской карты, защитный код карты, данные о лицензиях на используемое программное обеспечение, произведенные поисковые запросы, данные о посещенных пользователями веб-страницах, просмотренных через поисковые системы изображениях, данные контактов пользователя, данные об используемом пользователем компьютерном оборудовании, данные об используемой пользователем компьютерной сети и о других беспроводных сетях, находящихся в зоне приема, коды IMEI телефонов, подключенных к сети или к компьютеру.

Кроме того, при настройке профиля пользователя пользователю предоставляется возможность установить в качестве аватара свою собственную фотографию. При этом не дается никаких предупреждений о том, что данное действие ведет к раскрытию персональных данных пользователя.

Такой набор данных в своей совокупности позволяет точно идентифицировать конкретного

человека и определить его точное местоположение в реальном масштабе времени.

Последнее возможно благодаря использованию системы WPS (Wi-Fi Positioning System), определяющей положение объекта по координатам точек доступа Wi-Fi, положение которых точно известно и внесено в соответствующую базу данных компании Skyhook Wireless и некоторых других компаний [5; 6].

Поскольку провайдеры ОС собирают данные о других точках доступа, находящихся в зоне действия приёмопередатчика Wi-Fi, для определения точных координат пользователя достаточно найти соответствие между этими данными и данными, хранящимися в базе данных WPS [7].

Характерной особенностью сбора информации именно компанией Microsoft является то, что эта компания является производителем самой распространённой операционной системы в мире.

В случае сбоя в программном обеспечении, не обязательно произведенного компанией Microsoft, но установленном на компьютере, работающим под управлением ОС производства Microsoft, в эту компанию отправляется информация об ошибках, возникших в этом программном обеспечении, а, следовательно, и о том, какое именно стороннее программное обеспечение установлено на данном компьютере. Об этом факте также упоминается в Заявлении о конфиденциальности.

Помимо технической информации, собирается и информация, которую можно отнести к социологической: данные об интересах пользователя (за какие спортивные команды болеет, за какими новостями следит, часто ли интересуется погодой или дорожной ситуацией), данные о просмотре телепередач, прослушиваемой музыке, какие книги читает и в какие игры играет), данные о взаимодействии между пользователем и другими людьми, о том, что нравится или не нравится пользователю, о взаимодействии пользователя с различными организациями. При этом указанные данные могут быть собраны не только при прямом указании, но и определены по совокупности других собранных данных.

Собираются также и голосовые данные пользователя, полученные при использовании программного обеспечения, работающего с микрофоном («Кортана»). При этом отмечается, что могут учитываться и фоновые звуки, случайно попадающие в микрофон.

Корпорация Microsoft выпускает и устройства с поддержкой рукописного ввода (например, планшеты Surface). В Заявлении отмечается, что дан-

ные рукописного ввода тоже собираются, наряду с данными, вводимыми с клавиатуры.

Собираются также данные сканирования телосложения при использовании приставки Kinect и данные о количестве пройденных шагов, полученные при использовании устройств с соответствующими датчиками.

Пункт «Содержимое» Заявления представляется наиболее интересным. В нем указывается, что Microsoft собирает данные о содержимом файлов, передаваемых через сообщения электронной почты, программу Skype (включая транслируемое видео, текст и звук), и файлов (фотографий, изображений, музыки, фильмов, программного обеспечения), хранящихся в облачных хранилищах.

В пункте «Использование персональных данных» Заявления указывается, что собираемые данные подвергаются автоматизированной и ручной обработке.

Под автоматизированными методами подразумевается использование программ искусственного интеллекта (ИИ), результаты работы которых могут быть подвергнуты дополнительной ручной обработке, например, в виде прослушивания фрагментов полученных голосовых данных.

В связи с вышеизложенным вполне логично предположить, что автоматизированной обработке (т.е. анализу) подвергается весь объем собираемой информации, в т. ч. и хранящейся в виде файлов в облачных хранилищах.

Далее в Заявлении отмечается, что обработка персональных данных пользователя может производиться как с согласия пользователя, так и без него: «Когда мы обрабатываем Ваши персональные данные, мы делаем это с Вашего согласия и (или) по мере необходимости для предоставления продуктов, которыми Вы пользуетесь, ведения нашей деятельности, соблюдения наших договорных и установленных законодательством обязательств, обеспечения безопасности наших систем и пользователей или исполнения других законных прав корпорации Майкрософт».

В разделе «Причины раскрытия персональных данных» Заявления указывается, что раскрытие персональных данных может быть произведено для запросов от правоохранительных органов или иных государственных организаций, в рамках судебного процесса, при угрозах жизни и здоровью, при попытках совершения мошеннических действий, для предотвращения атак на компьютерные системы, для защиты прав или собственности корпорации Майкрософт.



По данным корпорации Microsoft, за 2020 год было получено от правоохранительных органов 24 093 запроса, связанные с 49 715 учетными записями, из которых около 20% было отклонено, для 15% не было найдено необходимой информации. При этом 1 395 удовлетворенных запросов было связано с доступом к содержимому файлов, а остальные 14 373 запроса были связаны с получением персональных данных пользователей, таких как адреса электронной почты, ФИО, почтовых и IP-адресов, данных банковских карт [8].

В апреле 2014 г. полиция США арестовала Тайлера Джеймса Хофмана, 20-летнего жителя американского штата Пенсильвания после того, как Microsoft сообщила об обнаружении в почтовом ящике его облачного хранилища OneDrive фотографии, содержащей детскую порнографию. Корпорация Microsoft сообщила о своей находке в Национальный центр пропавших и эксплуатируемых детей (National Center for Missing and Exploited Children), представители которого затем обратились в полицию. В результате проведенных следственных действий полиции удалось установить IP-адрес подозреваемого и определить место его проживания [9].

Раскрытие преступления стало возможным благодаря работе технологии PhotoDNA, разработанной в Microsoft и способной распознавать и анализировать изображения, в автоматическом режиме определяя наличие на фотографиях детской порнографии.

Подобное преступление было раскрыто и с помощью аналогичной системы, используемой корпорацией Google [10].

В подпункте «Вход в учетную запись Майкрософт» пункта «Учетная запись Майкрософт» Заявления упоминается о том, что при каждом входе в учетную запись Microsoft создается регистрационная запись входа, содержащая дату, время, имя учетной записи, уникальный идентификатор учетной записи, уникальный идентификатор устройства, с помощью которого был произведен вход, текущий IP-адрес и данные об используемом программном обеспечении. Как видно из изложенного, учитываются не только персональные данные пользователя и используемый им контент, но и идентификаторы используемого пользователем устройства.

В пункте «Как мы храним персональные данные» упоминается, что корпорация Microsoft продолжает сохранять удаленные пользователем данные на протяжении 30 суток до их окончательного удаления. Это, например, означает, что файлы,

удаленные пользователем не только из папки, где они хранились, но и из папки «Корзина», будут сохраняться в неявной для пользователя форме еще 30 суток. Точно такое же правило относится и к сообщениям электронной почты.

В подпункте «Сообщила ли компания Майкрософт о том, что данные определенного типа будут храниться в соответствии с особыми условиями?» упоминается о том, что сведения об IP-адресах удаляются только через 6 месяцев, а записи об идентификаторах учетных записей и устройств – только через 18 месяцев.

В подпункте «Хранение данных» пункта «Реклама» Заявления упоминается, что используемые для подбора персонализированной рекламы данные сохраняются на протяжении 13 месяцев.

В пункте «Изменения в заявлении о конфиденциальности» упоминается о том, что текст Заявления может быть изменен в любое время и пользователям рекомендуется «регулярно перечитывать настоящее заявление о конфиденциальности». При этом корпорация Microsoft обычно оповещает о произошедших изменениях присылкой соответствующего сообщения по электронной почте.

Еще одним документом, условия которого принимаются пользователем при регистрации учетной записи, является «Соглашение об использовании служб Майкрософт» (далее – Соглашение).

Помимо того, что уже было рассмотрено выше, в Соглашении декларируется, что «Microsoft не является собственником Вашего содержимого, не контролирует, не проверяет, не оплачивает, не подтверждает его и не принимает на себя какую-либо иную ответственность за Ваше содержимое», однако в следующем же пункте указано на то, что пользователь предоставляет Microsoft «всемирную безвозмездную лицензию на использование интеллектуальной собственности, например, на копирование, сохранение, передачу, реформатирование, отображение и распространение информации» с дополнением о том, что информация пользователя «может появиться в демонстрациях или материалах, рекламирующих Службу».

При этом оговаривается, что указанное относится к информации, хранящейся на тех ресурсах пользователя, на которые он не установил ограничения. Характерно, что при этом не оговаривается, какие именно ресурсы могут считаться «широкодоступными в сети без ограничений».

Например, в папке пользователя облачного хранилища OneDrive имеется вложенная папка

защищенного хранилища («Сейф»). Можно предположить, что все остальные вложенные папки, с точки зрения Microsoft, являются «широкодоступными», так как статус широкодоступности нигде не оговаривается.

В третьем разделе («Правила поведения») в пункте а.ПІІІ указано, что нежелательным поведением является рассылка спама. При этом дается определение того, что в этом соглашении считается спамом: «Спам – это нежелательная и не запрошенная почта...». Поскольку данные критерии весьма расплывчаты (сам принцип почты предусматривает получение не только запрошенных сообщений, а критерий «нежелательное сообщение» выбирается самим получателем сообщения).

Как следствие, Microsoft берется сама определять, являются ли данные сообщения электронной почты спамом, что довольно часто приводит к неожиданной блокировке учетной записи пользователя, отправившего подряд несколько электронных писем, содержащих ссылку, через облачный сервис Microsoft.

Право Microsoft на блокировку учетной записи оговорено в пункте b раздела «Правила поведения» Кроме того, в этом пункте Microsoft оставляет за собой право удалять содержимое «по любой причине». В случае проведения расследования нарушений, указанных в разделе «Правила поведения», Microsoft сохраняет за собой право просматривать сохраненную в облачных папках и в почтовых сообщениях информацию, а принявшие соглашение пользователи тем самым «уполномочивают такой пересмотр».

В четвёртом разделе Соглашения («Использование Служб и поддержки») указано, что при получении записи пользователь должен «не указывать какую-либо ложную, неточную или недостоверную информацию».

Поскольку при регистрации учетной записи Microsoft требуется указать имя, фамилию, дату рождения и номер телефона (для осуществления покупок в интернет-магазине Microsoft – и данные своей банковской карты), то выполнение этих требований дает корпорации Microsoft достаточное количество сведений для того, чтобы однозначно идентифицировать конкретного человека.

Более того, анализ данных в базах данных сможет выявить совпадения (например, в номере телефона) и тем самым определить и другие учетные записи других провайдеров ОС, принадлежащие этому же пользователю. С учетом того, что данные из баз данных довольно систематически похи-

щаются взломщиками, эти данные пользователя могут попасть и в руки злоумышленников [11; 12].

По этой причине в целях безопасности обычно рекомендуется не указывать подлинные имена, фамилии и даты рождения, заменяя их псевдонимами, однако следование этим рекомендациям (вполне разумным) автоматически означает нарушение упомянутого выше пункта. Тем самым Microsoft получает законное основание на блокировку данных пользователя и на проведение расследования (с получением доступа к данным пользователя).

Далее в этом пункте упоминается правило, согласно которому нельзя передавать регистрационные данные своей учетной записи другим пользователям, после чего говорится о том, что пользователь «несет ответственность за все действия, которые осуществляются под Вашей учетной записью Microsoft».

С учетом упомянутой выше возможности хищения учетных записей злоумышленниками такое условие является довольно жестким и открывает возможности для дискредитации пользователя любым лицом, получившим каким-то образом доступ к данным его учетной записи.

Если пользователь решит удалить свою учетную запись, удаление его данных из хранилища будет зависеть от решения самой Microsoft: «Мы удалим Данные или Ваше содержимое, связанное с Вашей учетной записью Microsoft, либо иным образом устраним связь между такими данными или содержимым, Вами и Вашей учетной записью». При этом Microsoft делает оговорку, ссылаясь на случаи, когда законодательство требует сохранения данных или передачи их третьему лицу. Тем самым данный провайдер ОС не берет на себя никаких обязательств, что данные пользователя будут удалены после удаления его учетной записи.

Также как и в Заявлении, в Соглашении оговаривается их периодическое изменение (раздел «Обновления Служб или программного обеспечения и изменения настоящих Условий», п. «а»). При этом подчёркивается, что свое согласие с внесенными изменениями пользователь дает, продолжая использовать Службы (сервисы) Microsoft.

В разделе «Сторона Соглашения, выбор законодательства и места рассмотрения споров» в п. «с» «Европа, Ближний Восток и Африка» указывается, что для пользователей из европейских стран «толкование настоящих Условий, а также требования в связи с их нарушением, независимо от принципов коллизионного права, регулиро-

ются законодательством Ирландии... Вы и мы полностью соглашаемся с тем, что любые споры, связанные с настоящими Условиями или Службами, подлежат рассмотрению исключительно в судах Ирландии».

**Выводы.** Проведенный выше анализ показывает, что при использовании сервисов предоставляемыми провайдерами ОС можно придерживаться одной из двух тактик: либо безоговорочно довериться авторитету провайдера ОС и не принимать никаких мер, тщательно соблюдая установленные в Заявлении и Соглашении правила и надеясь на такое же тщательное их соблюдение другой стороной, либо учесть все вышеизложенное и разработать стратегию минимизации рисков, возникающих при указанных условиях.

Первый вариант осуществляется проще, но в этом случае всегда остается большой риск того, что в результате действий злоумышленников персональные данные пользователей, накопленные провайдерами ОС (ФИО пользователей, номера телефонов, место проживания, номера банковских карт, сообщения электронной почты, информация о сделанных покупках, конфигурация и состав имеющихся компьютерных устройств, информация об обращениях пользователей к сайтам государственных услуг и прочее), могут попасть в преступные руки, а от подобных взломов пострадали уже почти все крупные провайдеры ОС, включая Google [13] и Apple [14].

Второй вариант более сложен, так как требует совершения действий, несколько противоречащих требованиям, указанных в рассмотренных Заявлении и Соглашениях, в частности – требованиям указания правильных персональных данных и места проживания.

К таким действиям можно отнести использование псевдонимов при указании имени и фамилии, даты рождения, использование телефонных номе-

ров предоплаченной мобильной связи, не связанных с подлинными персональными данными пользователя, специальных мобильных телефонов, предназначенных для обмена сообщениями только с конкретным провайдером ОС.

Шифрование всех передаваемых на хранение в облачные хранилища файлов не противоречит условиям Заявления и Соглашения и является наиболее эффективной мерой по сохранению конфиденциальности. Следует только помнить о том, что шифрование файлов должно быть произведено до их передачи в облачные хранилища (упомянутый выше «Сейф» не соответствует этому требованию), а их расшифровка – после выгрузки из облачного хранилища.

Корпорация Microsoft оговаривает возможность заключения соглашения между ней и какой-либо организацией, регулирующего порядок обработки персональных данных (при условии использования этой организацией продуктов корпорации Microsoft).

В качестве примера можно привести особые условия, принятые для продуктов Майкрософт для начального и среднего образования, в частности «Microsoft 365 для образования», в которых указано, что Microsoft не будет собирать и использовать персональные данные учащихся, не будет их продавать или сдавать в аренду, предоставлять или использовать их в рекламных целях и не будет создавать без разрешения родителей персональные профили учащихся. При этом Microsoft обязуется требовать соблюдения таких же правил и от других поставщиков образовательных услуг.

Тем самым открывается возможность для заключения договора, устраивающего обе стороны. Но поскольку большое число пользователей не связаны с какой-либо организацией, подобные меры необходимо принимать на государственном уровне (как это, например, делается в ЕС).

### Список литературы:

1. Підвищите продуктивність за допомогою Microsoft Teams і Microsoft 365. URL: <https://cutt.ly/pjTx8bQ> (дата обращения: 17.12.2020).
2. Дьяченко В. Лицензионный договор на программное обеспечение. URL: <https://cutt.ly/KjTxVJo> (дата обращения: 18.12.2020).
3. Соглашение об использовании служб Майкрософт. URL: <https://cutt.ly/5jknlo8> (дата обращения: 17.12.2020).
4. Заявление о конфиденциальности корпорации Майкрософт. URL: <https://cutt.ly/2jknQCG> (дата обращения: 17.12.2020).
5. Wi-Fi positioning system. URL: <https://cutt.ly/rjTcxXI> (дата обращения: 19.12.2020).
6. Wi-Fi следит за тобой, или Wi-Fi как система мониторинга. URL: <https://cutt.ly/UjTcRvU> (дата обращения: 19.12.2020).
7. Позиционирование в сетях Wi-Fi с высокой точностью. URL: <https://cutt.ly/yjTcnOZ> (дата обращения: 19.12.2020).

8. Law Enforcement Requests Report. URL: <https://cutt.ly/kjTcKfl> (дата обращения: 19.12.2020).
9. Microsoft прочитал почту пользователя и «сдал» его полиции. URL: <https://cutt.ly/cjkn8dX> (дата обращения: 10.12.2020).
10. Google «сдал» пользователя полиции, прочитав его почту. Пользователю грозит 5 лет тюрьмы. URL: <https://cutt.ly/tjkmpfj> (дата обращения: 10.12.2020).
11. Личные данные 267 млн пользователей Facebook оказались в свободном доступе. URL: <https://cutt.ly/gjTvwAa> (дата обращения: 20.12.2020).
12. Объем украденных данных в этом году вырос в несколько раз. URL: <https://cutt.ly/IjTvy0D> (дата обращения: 20.12.2020).
13. Google сообщила об утечке сотен тысяч паролей пользователей. URL: <https://cutt.ly/djTvlI4> (дата обращения: 20.12.2020).
14. 40 млн пользователей iCloud могли стать жертвами утечки данных URL: <https://cutt.ly/qjTvEy0> (дата обращения: 20.12.2020).

### **Chanyshv R.I. CONDITIONS OF PROVIDING CONFIDENTIALITY AND SECURITY OF USER DATA WORKING WITH CLOUD SERVICE PROVIDERS**

*Cloud computing appeared and began to be introduced into practice not so long ago – from about 2012. Over the years, the numerous benefits of using this technology in business, management and private (personal) use have become clear.*

*The nature of the use of public cloud computing involves the transfer of information from a user (individual or organization) to the storage systems of cloud providers. In this case, the user does not know exactly where the data storages used by him/her are located, and who exactly has access to them.*

*The terms of use of public cloud services are stipulated in the terms of service, in service use agreements, in privacy statements – the specific name of the document is chosen by the cloud provider. Terms of agreements, declarations, etc. are accepted by the user at the time of creation of an account, through which access to cloud services is provided in the form of the user's consent to the terms of the connection agreement. At the same time, the user is not required to familiarize himself with the text of the agreement, moreover, the very presence of such a text is presented in an implicit (unobtrusive) form for the user.*

*This article examines the content of these interconnection agreements using the example of a cloud service provider such as Microsoft, and analyzes the clauses they contain for privacy. It was revealed that the terms of such contracts provide only declarative preservation of the confidentiality of user data. In fact, they allow full access to user data not only for the cloud service providers themselves, but also for third parties. At the same time, the terms of these agreements provide for almost complete deanonymization of users, which, together with the possibility of transferring data to a third party, opens up the possibility, for example, for criminal prosecution of users.*

*The problem is aggravated by the fact that IT specialists do not have the proper legal knowledge and often cannot provide legal assessment of the terms of these agreements.*

*The article provides recommendations for maintaining the confidentiality of data transferred to the cloud without violating the terms of the contract with the cloud service provider.*

**Key words:** *cloud computing, interconnection agreements, preservation of privacy, problem of deanonymization of users, need for data encryption.*

**Шаров С.В.**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Лубко Д.В.**

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

**Шарова Т.М.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ЕЛЕКТРОННОГО ПІДРУЧНИКА З УКРАЇНСЬКОЇ ЛІТЕРАТУРИ

*Стаття присвячена створенню електронного підручника з української літератури для учнів 8 класу, огляду особливостей його проєктування та програмування. Одним із завдань інформатизації освіти є розробка та впровадження електронних освітніх ресурсів, зокрема електронних підручників. Виявлено, що сучасний електронний підручник має багатокористувацький режим роботи, забезпечує інтерактивність, контроль і самоконтроль знань, містить мультимедіа. Проаналізовано кількісний стан розробки електронних підручників у межах всеукраїнського експерименту «Електронний підручник для загальної середньої освіти». У статті висвітлено основні етапи розробки електронного підручника з української літератури для учнів 8 класу. Зазначається, що робота з електронним ресурсом можлива у трьох режимах (адміністратор, вчитель, учень), один із яких автоматично активізується під час авторизації користувача. Побудована діаграма варіантів використання, яка відображає основні ролі (actors) та окремі аспекти поведінки (precedents) користувачів під час роботи з електронним підручником. Зазначається, що найбільшу функціональність має адміністратор, котрий відповідає за внесення інформації про користувачів, наповнення освітнього контенту та ін. Запропонована загальна схема роботи користувача у режимі адміністратора. Наголошується на перевагах розробленого електронного підручника, які стосуються наочності та різноманітності навчального матеріалу з кожної теми. Користувач може переглянути текст художнього твору, прочитати критичну статтю, переглянути презентацію або відеофрагмент, прослухати аудіо. Всі можливості запропоновані у вигляді відповідних іконок. Зазначається, що електронний підручник був розроблений мовою програмування PHP, використовує мову скриптів JavaScript, реляційну базу даних MySQL, шаблони проєктування Front Controller і MVC. Передбачається здійснити тестування електронного підручника за реальних умов освітнього процесу загальноосвітньої школи, продовжити наповнювати освітнім контентом згідно з тематичним планом.*

**Ключові слова:** електронний підручник, середня школа, програмування, електронні освітні ресурси, онлайн освіта.

**Постановка проблеми.** Вплив інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) на розвиток суспільства, а також процеси євроінтеграції, що відбуваються в Україні, потребують від системи вітчизняної освіти значних перетворень. Зараз відбувається процес пошуку та впровадження ефективних методів підвищення якості освіти за умов інформаційного суспільства. Це стосується покращення освітнього контенту, дотримання принципу відкритої освіти, впровадження різноманітних цифрових і педагогічних технологій, створення освітнього інформаційного середовища та ін. Зазначені перетворення визначаються освітньою метою, що полягає у навчанні та вихованні сучасної молоді, формуванні у неї відпо-

відних компетентностей за умов інформаційного суспільства.

Органічне поєднання інноваційних педагогічних підходів до навчання та можливостей ІКТ призвело до появи сучасних засобів навчання, заснованих на хмарних [1] і мобільних технологіях, використанні мережі Інтернет та ін. Вони з успіхом впроваджуються в освітній процес вищої та середньої школи за умови дотримання обґрунтованої методики їх використання. Одним із видів електронних освітніх ресурсів (ЕОР) є електронні підручники (ЕП), які поєднали у собі потужні можливості мережевих технологій, мультимедіа, досвід застосування локальних електронних засобів навчального призначення (ЕЗНП).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Різноманітні аспекти інформатизації освіти в Україні, стан її розвитку та перспективи реалізації відображені у працях В. Бикова, М. Жалдака, О. Пінчук, О. Спіріна. Кількісні показники стосовно розробки вітчизняних електронних засобів навчального призначення відображені у роботах А. Гуржія та В. Лапінського. Вимоги до розробки та впровадження електронних підручників досліджували Л. Ілійчук, В. Лапінський, М. Шишкіна. Досвід впровадження електронних підручників в інших країнах описаний у працях З. Полянничко, О. Ніколюк.

У роботах А. Антохової та І. Воротнікової здійснено аналіз наявності електронних підручників та електронних засобів навчального призначення для загальноосвітньої школи, які були розроблені провідними компаніями, зокрема MozaWeb, Розумники, Нова школа та ін. Створення електронних підручників із різних предметів представлено у дослідженнях В. Коваль (фізика), В. Кобисі, Н. Зарічанської (англійська мова), В. Вембер (інформатика) та ін. Водночас сьогодні є незначна кількість електронних підручників з української літератури для загальноосвітніх шкіл, що робить їхню розробку актуальним завданням.

**Постановка завдання.** Метою статті є повідомлення про розробку електронного підручника для вивчення української літератури учнями 8 класу загальноосвітньої школи, огляд програмних аспектів реалізації програмного засобу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Одним із перспективних напрямів реалізації цифрової освіти є розробка та впровадження ЕЗНП, зокрема електронних підручників. Їх використання дозволяє отримати низку переваг, а саме: можливість використання під час лекційних і практичних занять, самостійної роботи; реалізація диференційованого та індивідуального підходів у навчанні [2]; забезпечення багатокористувацького режиму роботи; розвиток у користувачів інформаційних компетентностей; оперативність оновлення навчального матеріалу; підвищення наочності навчального матеріалу [3]; поєднання традиційних та інноваційних форм опрацювання навчального матеріалу; різноманітність ілюстративного матеріалу (малюнків, фотографій, схем, таблиць, медіа-файлів різного формату); використання систем зворотного зв'язку, вбудованих чатів, електронного листування та ін.; забезпечення контролю та самоконтролю знань за рахунок використання комп'ютерного тестування [4].

Дослідження А. Гуржія та В. Лапінського показали, що з 2005 р. було розроблено близько 300 ЕЗНП для вітчизняних загальноосвітніх навчальних закладів, а у період 2005–2015 рр. їхня кількість становила 395 найменувань. Водночас дослідники зазначають, що, попри проведену значну роботу з розробки електронних освітніх ресурсів, є потреба в її інтенсифікації [5]. Крім того, зазначені переваги можливі за умови розробки відповідних методичних рекомендацій до використання ЕОР і реалізації принципу доступності освіти, який визначається: а) гнучкістю системи організації навчання; б) адекватними засобами реалізації діяльності; в) відповідними засобами подання навчального змісту [6].

Сьогодні відбувається активна розробка та наповнення різноманітних освітніх ресурсів, зокрема масових відкритих онлайн-курсів, систем дистанційного навчання, електронних підручників. Слід зазначити, що надання офіційного статусу електронним підручникам вирішується на рівні МОН України та інституту модернізації змісту освіти (ІМЗО) у межах реалізації всеукраїнського експерименту «Електронний підручник для загальної середньої освіти», який відбувається упродовж 2018–2021 рр.

Інформація про проекти електронних підручників, їхню кількість і результати конкурсного відбору відображена на сайті ІМЗО у розділі «Електронний підручник» за посиланням <https://imzo.gov.ua/elektronnyj-pidruchnyk/>. Там можна ознайомитися з електронними підручниками для 1, 2, 5 та 6 класів. Графічне відображення кількості наявних проектів електронних підручників на сайті ІМЗО подане у роботі [7], характеристика та короткий опис зазначається у науковому дослідженні А. Антохової [8].

Згідно з розміщеними там документами на конкурсний відбір у 2018 р. було подано 10 електронних підручників, у 2019 – 23 проекти електронних підручників. Такі показники свідчать про підвищення інтересу до розробки якісних електронних освітніх ресурсів для загальноосвітньої школи. На жаль, електронного підручника для вивчення української літератури, зокрема учнями 8 класу, серед цього переліку немає.

Коронавірусна інфекція та карантинні заходи внесли свої корективи в організацію навчального процесу у вищій [9] і середній школі, які стосуються, зокрема, організації освітнього процесу у дистанційному форматі. Слід зазначити, що забезпечення дистанційного освітнього процесу з історії української літератури у закладі вищої

освіти відбувається за рахунок використання системи дистанційного навчання Moodle [10], Google Classroom та ін.

З урахуванням актуальності дистанційної освіти у межах загальноосвітньої школи нами був створений електронний підручник з української літератури для учнів 8 класу. Процес розробки електронного підручника передбачав виконання таких етапів:

1. Ознайомлення з типовою програмою для загальноосвітніх навчальних закладів з української літератури для 5–9 класів.
2. Розробку діаграми варіантів використання з метою визначення взаємозв'язку між компонентами майбутнього ЕП на загальному рівні.
3. Визначення приблизної структури майбутнього програмного засобу.
4. Вибір інструментального засобу для розробки електронного підручника.
5. Вибір бази даних для збереження інформації та розробка її структури.
6. Розробка інтерфейсу та моделей MVC.
7. Тестування та налагодження ЕП.
8. Вибір хостингу та розташування електронного підручника на сервері.

Коротко опишемо окремі етапи розробки та проектування. Електронний підручник з української літератури є багатокористувацькою навчальною системою, що передбачає роботу з різними

типами користувачів: учитель (перегляд змісту ЕП, додавання та перегляд інформації про учня, перегляд інформації про результати тестування тощо), учень (перегляд змісту підручника, проходження тестування, перегляд результатів тестування), адміністратор. Кожен із режимів автоматично активізується залежно від введеного логіну/пароллю під час авторизації. Взаємодія користувачів показана на рис. 1.

Найбільшу функціональність має користувач у режимі адміністратора, який вносить, оновлює та видаляє освітній контент, додає, видаляє або редагує інформацію про учнів, вчителів, директора, структурні підрозділи, створює або змінює тестові завдання, збирає статистичні дані стосовно результатів тестування учнів за різними критеріями (рис. 2).

Головна перевага електронного підручника порівняно із друкованою версією полягає в інтерактивності навчання, забезпеченні діалогу між освітніми компонентами підручника та користувачем. Інтерактивні форми навчання дозволяють: здійснювати активну й ефективну навчальну діяльність учнів; краще подати навчальний матеріал; запровадити в освітню діяльність інтегроване навчання [8]; створити комфортне освітнє середовище; розвинути комунікативні навички та навички критичного мислення; підвищити мотивацію та пізнавальний інтерес на вивчення пред-

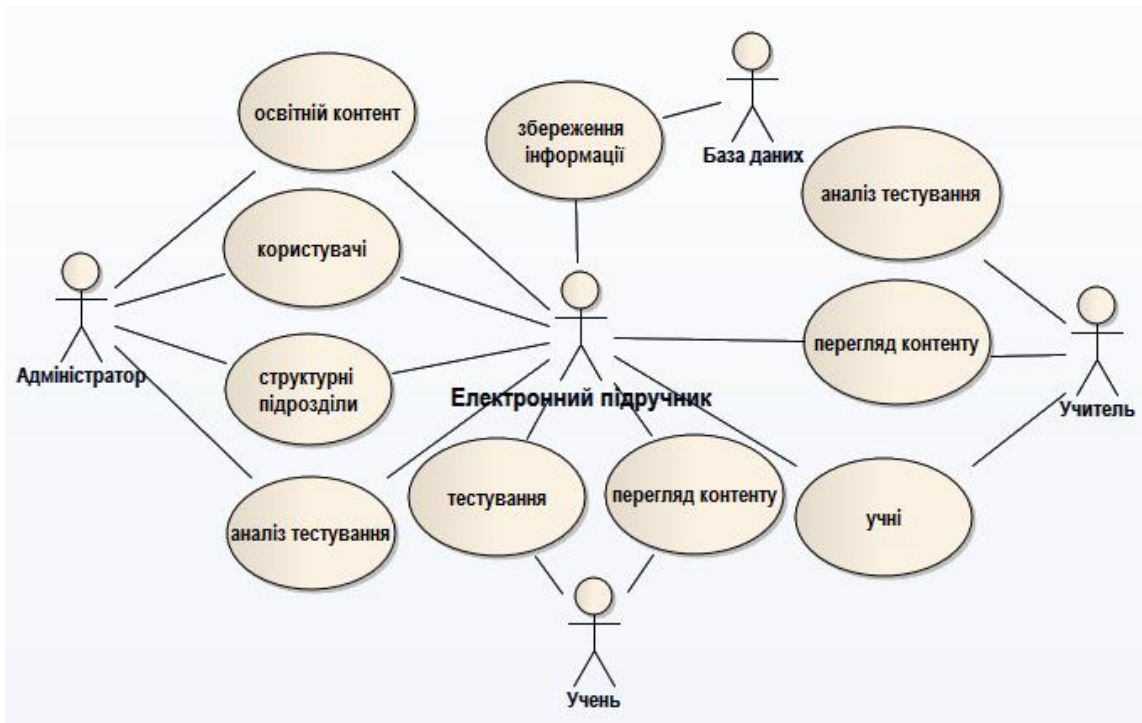


Рис 1. Діаграма варіантів використання електронного підручника

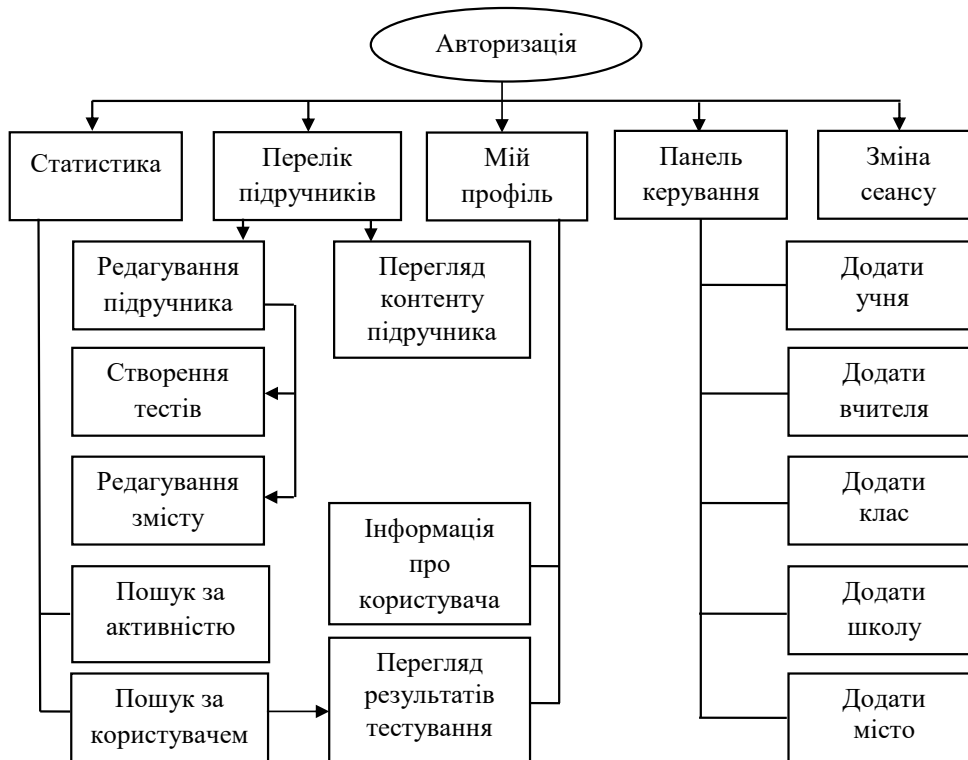


Рис 2. Загальна схема роботи користувача у режимі адміністратора

мету [11], закріпити та перевірити свої знання в ігровій формі [12].

Електронний підручник побудовано таким чином, щоб учню було легко та цікаво ним користуватися. Для цього було використано різні форми подання навчального матеріалу. Так, учень у змозі прочитати текстову інформацію (художній твір), переглянути критику художнього твору, ознайомитися із презентацією за конкретним художнім твором, прослухати аудіо у виконанні професійного диктора або побачити відеофрагмент, що стосується художнього твору. Для того, щоб отримати доступ до функціональних можливостей стосовно перегляду навчального матеріалу, праворуч кожної рубрики, представленої в електронному підручнику, розмішені відповідні іконки (табл. 1).

Наповнення освітнім контентом навчальних тем залежить від наявності матеріалів до обраної теми й у разі потреби може бути легко оновлене за допомогою відповідного сервісу у режимі адміністратора.

Розроблена онлайн-платформа має незначні вимоги до апаратних і програмних ресурсів. Для її коректного функціонування повинні бути наявні мінімальні вимоги: Webserver Apache v. 2.4; мова програмування PHP v. 7.1.; система управління базами даних MySQL v. 5.6.

Вибір бази даних для збереження інформації був заснований на переліку таких критеріїв як







кросплатформність, підтримка багатокористувачького режиму, підтримка реляційної моделі даних. Реляційна база даних MySQL [13], яка використовується онлайн платформою для збереження службової та навчальної інформації, складається з дев'ятнадцяти таблиць. Вони містять інформацію про користувачів, додаткові матеріали, зміст підручника, тестові завдання та терміни, назви відеофайлів, презентацій, підручників, розділів для додаткового матеріалу та ін. Всі таблиці зв'язані між собою за допомогою первинних / зовнішніх ключів.

На вибір інструментального засобу для розробки ЕП вплинули такі фактори: безкоштовність, простота у використанні, попередній досвід із цим інструментальним засобом, знання основних конструкцій [14], можливість роботи з базою даних MySQL. Враховуючи ці вимоги, нами була обрана мова веб-програмування PHP v. 7.1. Для забезпечення безпеки від використання шкідливих SQL-запитів були реалізовані методи валідації даних. Також була використана бібліотека PDO (PHP Data Objects), яка використовується мовою програмування PHP для забезпечення доступу до бази даних, має методи, що екранують дані та забезпечують неможливість sql-ін'єкцій.

Онлайн-платформа, на базі якої працює ЕП з української літератури, була реалізована за допомогою PHP з використанням двох шаблонів про-



Умовні позначення функціональних можливостей електронного підручника

Іконка	Призначення
	Розкриття переліку пунктів (художніх творів), що входять до тематичного розділу ЕП
	Аналіз художнього твору
	Перегляд презентації за конкретним художнім твором
	Прослуховування аудіозапису художнього твору
	Перегляд відеофрагменту, що стосується художнього твору
	Перехід на сторінку тестування за обраним художнім твором

ектування: Front Controller (єдина точка входу) та MVC. Фреймворк при розробці онлайн-платформи не використовувався. Також при розробці онлайн-платформи була використана мова JavaScript, технологія XMLHttpRequest (XHR) і WYSIWYG-редактор для редагування тексту.

Використання мови скриптів JavaScript забезпечило пошук підручників, наповнення списків, що випадають, відображення статистики без оновлення сторінки. У браузері скрипти інтегруються безпосередньо в HTML-код, тому після завантаження HTML-сторінки вона одразу виконується.

Однією із переваг розробленої онлайн-платформи є використання технології XHR, за допомогою якої виконуються майже усі запити до бази даних. Це API, який надає клієнту функціональність для обміну даними між клієнтом і сервером. Використання XHR разом із JavaScript дозволяє робити HTTP-запити до сервера без перезавантаження сторінки, оновлювати тільки частину веб-сторінки, не перериваючи роботу користувача.

Для редагування програмного коду використовувався вільний WYSIWYG-редактор CKEditor. Його особливостями є невеликий розмір, відсутність інсталяції на стороні клієнта, можливість використання безпосередньо на веб-сторінках.

Після створення інформаційного ресурсу на локальному комп'ютері в тестовому режимі наступним етапом був вибір хостингу, реєстрація домену та розташування інформаційного ресурсу у вільному доступі. Вибір хостингу є важливим кроком, оскільки він впливає на роботу ресурсу та його функціональні можливості. При його

виборі рекомендується порадитися з фахівцями, переглянути інформацію в Інтернет, поспілкуватися із власниками інших, аналогічних сайтів. Мають бути враховані такі критерії хостингу, як надійність, швидкість доступу до сторінок сайту, технічна підтримка, зручність експлуатації через адмін-панель, об'єм дискової пам'яті [15], підтримка PHP, MySQL, phpMyAdmin, стабільна робота. Для розміщення електронного підручника в Інтернет був використаний хостинг <http://ks-host.com>, обраний домен належить ГО «Інноваційні обрії України» ([www.obrii.org.ua](http://www.obrii.org.ua)). Власне електронний підручник доступний за посиланням <http://obrii.org.ua/ebook>.

**Висновки.** Отже, сьогодні спостерігається тенденція до використання ІКТ під час організації освітнього процесу на рівні впровадження різноманітних електронних освітніх ресурсів, зокрема електронних підручників. Ця тенденція спостерігається на рівні вищої та загальноосвітньої школи. Сучасні електронні підручники мають багатокористувацький інтерфейс, підтримують інтерактивність, містять мультимедіа тощо. Розроблений електронний підручник з української літератури для учнів 8 класу відповідає програмі для загальноосвітніх навчальних закладів 5–9 класів, використовує базу даних MySQL для збереження інформації. Його розробка відбулася за допомогою мови веб-програмування PHP, мови скриптів JavaScript та інших технологій. Перспективами подальшої роботи вбачаємо продовження тестування електронного підручника, а також його наповнення освітнім контентом згідно з тематичним планом.

**Список літератури:**

1. Вакалюк Т., Коротун О., Сугоняк І., Марчук Г. Використання хмаро орієнтованого середовища в навчанні баз даних майбутніх фахівців із комп'ютерних наук: результати педагогічного експерименту. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2020. № 1 (27). С. 218–223. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863.1/27.203417>.
2. Лапшина І.С. Електронний підручник як засіб управління самостійною роботою учня. *Вісник після-дипломної освіти*. 2012. № 7. С. 91–96.
3. Воротникова І.П. Досвід використання е-підручників і електронних засобів навчального призначення в умовах цифровізації загальної середньої освіти України. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2019. № 3 (71). С. 23–39.
4. Ілійчук Л. Сучасні вимоги щодо розробки та впровадження електронних підручників в освітній процес початкової школи. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2019. С. 123–132.
5. Гуржій А.М., Лапінський В.В. Електронні освітні ресурси як основа сучасного навчального середовища загальноосвітніх навчальних закладів. *Інформаційні технології в освіті*. 2013. № 15. Т. 1. С. 30–37.
6. Шишкіна М.П., Попель М.В. Хмаро орієнтоване освітнє середовище навчального закладу: сучасний стан і перспективи розвитку досліджень. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2013. № 5 (37). С. 66–80.
7. Sharov S., Filatova O., Sharova T. The Development of an Online Platform for Studying Ukrainian Literature. *TEM Journal*. 2020. № 9 (3). P. 1171–1178.
8. Антохова А.О. Електронні підручники: аналіз пропозицій та досвіду впровадження в освітню практику. *Відкрите освітнє е-середовище сучасного університету*. 2018. № 5. С. 10–22.
9. Біланич Г.П., Біланич Л.В. Вплив інноваційного освітнього середовища на процес підготовки майбутніх фахівців культурної та економічної галузей у закладах вищої освіти України в період дистанційного навчання. *Інноваційна педагогіка*. 2020. № 26. С. 195–200. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2020/26.39>.
10. Павленко О.М. та ін. Реалізація дистанційної форми навчання засобами платформи Moodle у процесі підготовки майбутніх філологів. *Інженерні та освітні технології*. 2019. Т. 7. № 3. С. 106–121. DOI: <https://doi.org/10.30929/2307-9770.2019.07.03.10>.
11. Anisimova T.I., Krasnova L.A. Interactive Technologies in Electronic Educational Resources. *International Education Studies*. 2015. № 2 (8). P. 186–194. DOI: <https://doi.org/10.5539/ies.v8n2p186>.
12. Кобися В.М., Зарічанська Н.В., Боблієнко О.П. Створення і використання електронного підручника для вивчення іноземної мови. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2017. № 5 (61). С. 15–23.
13. Шаров С.В., Осадчий В.В. Бази даних та інформаційні системи : навчальний посібник. Мелітополь : Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. 352 с.
14. Сікора О.В., Вдовичин Т.Я., Когут У.П. Система комп'ютерної підтримки навчального процесу в педагогічному університеті. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. № 5. Т. 31 (70). С. 107–113. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.5/18>.
15. Джонс Д. Создание Web-сайтов на бесплатном движке PHP-NUKE. Москва : Изд-во Триумф, 2005. 304 с.

**Sharov S.V., Lubko D.V., Sharova T.M. FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC TEXTBOOK ON UKRAINIAN LITERATURE**

*The article is focused on the announcement of the creation of an electronic textbook on Ukrainian literature for 8th grade students, a review of its design and programming features. One of the tasks of education informatization is the development and implementation of electronic educational resources, including electronic textbooks. It was revealed that the modern electronic textbook has a multi-user mode, provides interactivity, control and self-control of knowledge, and contains multimedia. The quantitative state of electronic textbooks development within the framework of the all-Ukrainian experiment "Electronic textbook for general secondary education" has been analyzed.*

*The article highlights the main stages of the development of the electronic textbook on Ukrainian literature for 8th grade students. It is noted that work with the electronic resource is possible in three modes (administrator, teacher, pupil), one of which is activated automatically during user authorization. A use cases diagram is designed, that reflects the main roles (actors) and certain aspects of user behavior (precedents) while working with the electronic textbook. It is mentioned that the greatest functionality has an administrator responsible for entering information about users, filling educational content, etc. The general scheme of user work in the administrator mode is offered.*

*It is emphasized on the advantages of the developed electronic textbook relate to the visibility and diversity of educational material on each topic. A user can view the text of the art work, read a critical article, view a presentation or video clip, listen to audio. All features are offered in the form of appropriate icons. It is noted that the electronic textbook was developed in the PHP programming language, uses JavaScript scripting language, MySQL relational database, Front Controller design templates and MVC.*

*It is expected the testing of the electronic textbook in the real conditions of the secondary school educational process, and the extension of its filling with educational content according to the thematic plan.*

**Key words:** *electronic textbook, secondary education, programming, electronic educational resources, online education.*

**Шкарупило В.В.**

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова  
Національної академії наук України

**Чемерис О.А.**

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова  
Національної академії наук України

**Душеба В.В.**

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова  
Національної академії наук України

**Кудерметов Р.К.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Польська О.В.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## МОДЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД ДО КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ НЕФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІД ЧАС ПРОЄКТУВАННЯ<sup>1</sup>

*Вирішення завдання виявлення помилок проєктних рішень на ранніх етапах процесу розроблення системи набуває особливої актуальності, коли йдеться про системи критичного призначення, функціональна безпека яких є запорукою уникнення критичних наслідків значного соціально-економічного характеру. Передумовою забезпечення функціональної безпеки є, зокрема, дотримання заданих вимог до функціональних і нефункціональних характеристик розроблюваної системи. Це досягається за рахунок комплексного застосування методів і засобів контролю названих характеристик упродовж усього життєвого циклу об'єкта. Відповідними представниками є формальні методи, методи імітаційного моделювання.*

*У межах представленої роботи система розглядається з позиції програмної складової частини. Акцент ставиться саме на етапі проєктування процесу розроблення, що має на меті своєчасне виявлення й усунення архітектурних помилок.*

*У роботі вирішується завдання розроблення підходу до контролю показників нефункціональних характеристик системи критичного призначення при проєктуванні. Підхід характеризується безшовністю його інтеграції до складу поширеного комплексу засобів контролю функціональних характеристик, а також розвинутим механізмом варіювання рівня деталізації відповідної імітаційної моделі як засобу контролю. Запропонований підхід будується на залученні математичного апарату дискретно-подійного імітаційного моделювання DEVS. Підхід базується на оперуванні концептами «атомарної» та «складеної» DEVS-моделей. Як предметна сфера розглядається космічна галузь. Підходом передбачається, що його застосуванню передують контроль функціональних характеристик системи шляхом формальної верифікації методом перевірки на моделі специфікації, побудованої на основі темпоральної логіки дій TLA. Вихідними даними виступає блок-схема алгоритму.*

**Ключові слова:** DEVS, TLA, верифікація, система критичного призначення, нефункціональні характеристики, функціональна безпека.

**Постановка проблеми.** Актуальний етап розвитку прикладного застосування методів і засобів формальної верифікації (далі – ФВ) систем критич-

ного призначення (далі – СКП) можна охарактеризувати таким чином: має місце активне залучення названих методів і засобів у автоматизованому режимі упродовж усього життєвого циклу розроблюваної системи – у широкому спектрі сфер застосування [1]. Показовою є, зокрема, космічна галузь [2]. Іншим прикладом є перевірка і підтвердження коректності реалізації протоколу Zab (ZooKeeper

<sup>1</sup> Дослідження виконано у межах науково-дослідної роботи № 0120U102683 «Розроблення спеціалізованих комп'ютерних технологій моделювання та опрацювання оперативної інформації в задачах енергетики», що проводиться відділом математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України.

Atomic Broadcast protocol) – засобу забезпечення високоефективного обміну повідомленнями на основі програмної платформи Apache Kafka, поширеної у корпоративній сфері [3]. Як дієві інструменти варто відзначити темпоральну логіку дій TLA (Temporal Logic of Actions), відповідний формалізм TLA+, метод перевірки на моделі TLC (TLA Checker) і засіб автоматизації TLA Toolbox [4; 5]. У зазначених і подібних інструментах акцент, однак, ставиться саме на функціональних характеристиках (далі – ФХ) розроблюваної системи.

У свою чергу, згідно зі стандартом IEC 61508 забезпечення заданого рівня функціональної безпеки (ФБ) охоплює питання контролю як ФХ, так і нефункціональних характеристик (НФХ) СКП [6]. Відповідні засоби (у т. ч. формальні методи) рекомендується застосовувати упродовж усього життєвого циклу розроблюваної системи. У нашій роботі розглядається етап проектування процесу розроблення системи, а саме застосовувані методи та засоби контролю НФХ, оскільки своєчасне виявлення критичних помилок проектних рішень (ПР) дозволить як забезпечити дотримання заданих вимог до ФБ, так і скороти результуючі часові та матеріальні витрати на розроблення та супроводження СКП.

Методи та засоби контролю НФХ, які фігурують у публікаціях, можна охарактеризувати як такі, що є розрізненими і потребують доопрацювання з позиції їх «безшовної» інтеграції до складу комплексу засобів забезпечення ФБ з позицій як ФХ, так і НФХ. У зв'язку із цим у роботі вирішується завдання розроблення підходу до контролю НФХ СКП на етапі проектування процесу розроблення системи, що характеризується «безшовністю» інтеграції до складу комплексу засобів контролю ФХ, які вже добре себе зарекомендували з погляду прикладного застосування. Такими є вищезазначені метод TLC і засоби TLA, TLA+ і TLA Toolbox [7; 8]. Під «безшовністю» розуміється відсутність необхідності залучення додаткових засобів перетворення формальної специфікації (ФС) для перевірки ФХ до моделі, придатної до перевірки НФХ. Цей аспект розглядається як фактор сприяння адекватності останньої та, як результат, достовірності одержуваних на основі такої моделі даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зазначимо, що у контексті нашої роботи як СКП розглядається відповідна програмна складова частина.

Наявні рішення у напрямі ФВ СКП мають широкий спектр спрямування. Це, зокрема, комп-

лексні рішення, що охоплюють засоби перевірки як ФХ, так і НФХ системи на етапах аналізу, проектування та реалізації процесу розроблення СКП. Відповідним прикладом є інструментарій S3 (Systerel Smart Solver), який було залучено для перевірки програмної складової частини вбудованої системи ARP (Automatic Rover Protection) [9]. Засіб охоплює реалізації таких відомих технік, як: індуктивне виведення, перевірка на моделі, генерування тестових послідовностей, перевірка еквівалентності. При перевірці на моделі вирішується задача виконуваності булевої формули. Вагомим недоліком названого засобу, проте, є відсутність прозорого механізму варіювання рівня деталізації використовуваних моделей, що важливо у контексті програмної системи.

Альтернативні засоби є зазвичай вузькоспеціалізованими. У них акцент робиться, зокрема, на реалізації індуктивного підходу до перевірки НФХ. Для цього залучається, наприклад, математичний апарат ланцюгів Маркова, що реалізується у складі комплексу засобів SBIP (Stochastic Behavior-Interaction-Priority) [10]. Більше того, стохастичні методи перевірки та відповідні моделі вже зарекомендували себе як дієві засоби контролю НФХ розроблюваної системи вже на етапі проектування – як засоби одержання кількісних оцінок [11]. Як альтернативний математичний апарат поширилися також мережі Петрі, де показовою сферою прикладного застосування є програмні системи контролю роботи атомної електростанції [12].

Окрім того, згідно з положеннями стандарту ISO 26262, що регламентує аспекти забезпечення ФБ систем керування транспортними засобами, дотримання заданого рівня ФБ можливе за рахунок контролю як ФХ, так і НФХ упродовж усього життєвого циклу системи [13]. Відповідно до цього контроль названих характеристик має здійснюватися на різних рівнях деталізації одержуваних рішень. Дієвим засобом для цього є інструментарій UML/MARTE, де верифікація ФХ і НФХ реалізується шляхом імітаційного моделювання [14]. Більше того, наголошується на важливості «безшовної» інтеграції засобів верифікації до складу комплексу засобів підтримки процесу проектування СКП. Для цього було, зокрема, запропоновано модельно-орієнтований інструментарій ФВ, що будується на поданні ФС ПР на основі мови EAST-ADL [15]. Згідно з модельно-орієнтованим підходом верифікацію ФС ПР пропонується здійснювати також шляхом поступальної низхідної модифікації ФС [16]. У цьому контексті ФВ реалізується саме щодо

архітектурної складової частини розроблюваної системи. Як початкова використовується модель на основі текстового AADL-формалізму (Architecture Analysis & Design Language), на виході – система переходів (СП), що задовольняє умови, задані темпоральною формулою мовою LTL (Linear Temporal Logic). Зазначається обмеженість виразних можливостей LTL – зокрема, через неможливість формалізації темпоральних розгалужень.

Альтернативним підходом до перевірки НФХ СКП при проектуванні є застосування техніки статистичної перевірки на моделі SMC (Statistical Model Checking), що на прикладі інструментарію UPPAAL-SMC дозволяє формалізувати НФХ як часові обмеження на переходи між локаціями СП, побудованої на основі математичного апарату часових автоматів [17].

Зазначимо, що при використанні певного засобу контролю НФХ СКП окрему увагу варто приділити специфіці сфери прикладного застосування. З погляду програмної складової частини значної ваги набувають аспекти модульності та гнучкості варіювання рівня деталізації відповідних ФС та/або імітаційних моделей. У цьому контексті виокремлюється формалізм DEVS (Discrete-event System Specification), що, завдяки оперуванню концептами «атомарної» (AM) і «складеної» (CM) DEVS-моделей, надає гнучкий механізм урахування вищезазначених аспектів [18].

Результати попередніх досліджень показали, що інструментарій DEVS є дієвим засобом валідації розподілених програмних систем – шляхом проведення дискретно-подійного імітаційного моделювання [19]. Більше того, було показано, що валідація шляхом моделювання потребує істотно менших часових витрат порівняно з альтернативою у вигляді тестування [20]. На відміну від валідації, за якої перевіряється придатність вже розробленої системи до цільового використання, за верифікації контролюється відповідність одержуваних артефактів процесу проектування заданим вимогам до ФХ і НФХ СКП [21]. Під «артефактом», у свою чергу, розуміється ПР (блок-схема алгоритму), відповідна ФС та/або модель, що характеризується структурою і змістом [22].

У контексті процесу розроблення СКП етап проектування набуває особливої ваги – у розрізі розгляду відсутності помилок ПР як запоруки забезпечення ФБ системи [23]. Отже, актуальним стає розроблення підходу до контролю НФХ СКП при проектуванні, що забезпечує як безшовність інтеграції до складу вже застосовуваних засобів контролю ФХ СКП, так і гнучкість варіювання

рівня деталізації відповідних артефактів. Останній аспект, на нашу думку, задовольняється специфікою формалізму DEVS. Аспект безшовності інтеграції, у свою чергу, розкривається прийомом та засобами, викладеними нижче.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Запропонований підхід базується на маніпулюванні концептами AM і CM математичного апарату DEVS. Його застосування передбачається на етапі проектування процесу розроблення СКП – за умови, що контроль ФХ, поданих у ПР, вже було попередньо виконано методом перевірки на моделі TLC на базі ФС ФХ, синтезованої на основі вихідного артефакту – блок-схеми алгоритму.

У межах роботи оперуватимемо такими артефактами:

- блок-схема алгоритму як графічне подання контексту досліджуваного сценарію предметної сфери;

- ФС ФХ СКП, синтезована на основі формалізму TLA+, коректність якої підтверджена методом перевірки на моделі TLC – розглядається як вихідні дані для запропонованого методу. Зміст артефакту визначається множиною змінних станів, а структура – темпоральними формулами на основі відповідних атомарних висловлювань [24];

- AM як базові структурні засоби побудови складених конструкцій, зокрема результуючої моделі системи, до якої застосовується метод дискретно-подійного імітаційного моделювання. Структура і зміст відповідних артефактів визначаються математичним апаратом DEVS;

- CM системи як засіб реалізації запропонованого підходу. Зміст артефакту визначається складом залучених AM компонентів, а структура – встановленими між ними зв'язками.

Підхід полягає у виконанні нижченаведених кроків.

Крок 1. Рівень деталізації цільової дискретно-подійної моделі системи задається на основі концепту атомарної DEVS-моделі [25]:

$$AM_i = \langle X, S, Y, \delta_{int}, \delta_{ext}, \lambda, ta \rangle, \quad (1)$$

де  $X$  – множина зовнішніх щодо моделі подій, на які вона реагує зміною поточного стану  $s \in S$ ;  $Y$  – множина подій, які модель продукує;  $\delta_{int}: S \rightarrow S$  – внутрішня функція переходу, що переводить атомарну модель із поточного стану  $s \in S$  у наступний стан  $\delta_{int}(s) \in S$ , без урахування зовнішніх подій;  $\delta_{ext}: Q \times X \rightarrow S$  – зовнішня функція переходу:  $Q = \{(s, e) | s \in S, 0 \leq e \leq ta(s)\}$ , де  $e$  – модельний час, що минув від моменту останнього переходу,  $ta: S \rightarrow R_{0, \infty}^+$  – функція про-

сування модельного часу;  $\lambda: S \rightarrow Y$  – функція виходу – функція, яка продукує елементи множини  $Y$  на основі поточного стану  $s \in S$  атомарної моделі;  $i = 1, 2, \dots, m$  – порядковий номер атомарної моделі,  $m \in N$  – загальне число атомарних моделей, залучених до синтезу результуючої складеної DEVS-моделі,  $\epsilon$  числом змінних станів ФХ ФХ СКП мовою TLA+.

Крок 2. Оперуючи концептом складеної DEVS-моделі, на основі виокремлених на попередньому кроці атомарних моделей будуємо архітектуру досліджуваної системи [26]:

$$CM = \langle INP, OUTP, A, set \rangle, \quad (2)$$

де  $INP$  ( $OUTP$ ) – множина усіх вхідних (вихідних) портів – засобів зв'язку – залучених АМ (1) – елементів множини  $A = \{AM_i\}$ ;  $set: A \times OUTP \rightarrow A \times INP$  – функція встановлення зав'язків між елементами множини  $A$ . «Порт» – засіб сприйняття подій відповідного типу, тобто порт регламентує тип подій, що надходять з/до нього.

Крок 3. Проводимо контроль НФХ СКП шляхом дискретно-подійного імітаційного DEVS-моделювання на основі результуючої структури (2).

Як узагальнення вищесказаному зауважимо, що на рівні АМ (1) оперуємо поняттям «подія», а на рівні СМ – поняттям «порт». Викладена ієрархічна структура є дворівневою. За необхідності проміжні ієрархічні рівні вводяться на основі структури (2).

Для демонстрації підходу як сценарій предметної сфери розглянемо сценарій космічної галузі – фрагмент блок-схеми алгоритму роботи блоку управління конфігурацією (БУК) бортового цифрового обчислювального комплексу (БЦОК) космічного апарату (КА) (рис. 1).

Поданий фрагмент алгоритму має такий зміст:

- значення показника стану контрольно-перевірочної апаратури (КПА) визначає подальший сценарій роботи алгоритму;
- якщо значення становить 0, виконується запуск ПСЕП (підсистеми електропостачання);
- якщо 1 – спочатку виконується запуск БУК, а вже потім – ПСЕП.

Згідно з поданим алгоритмом можливі два сценарії виконання:

- послідовне виконання блоків 1, 3;
- послідовність вигляду (1, 2), 3.

Як показник НФХ розглянемо часову затримку. У разі останнього сценарію можливе перевищення заданих обмежень на спрацювання блоку 3 – як наслідок накопичення значення затримки на блоках 1 і 2.

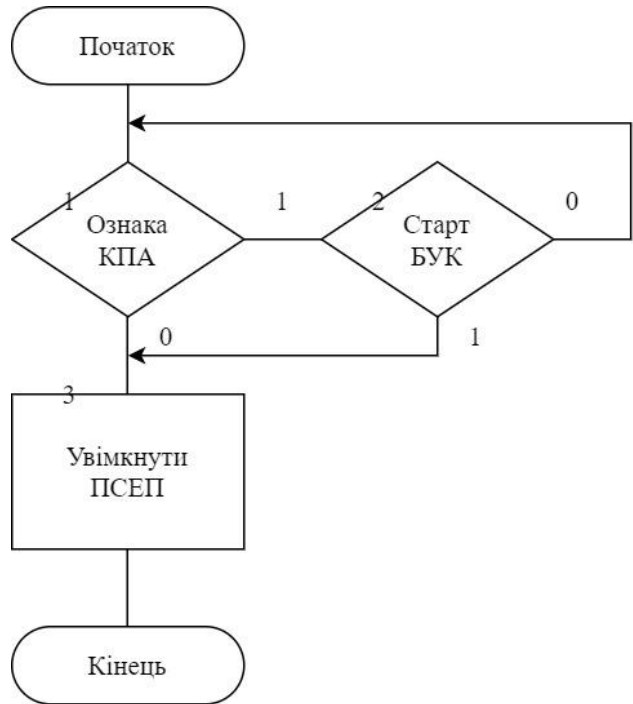


Рис. 1. Фрагмент блок-схеми алгоритму роботи БУК БЦОК КА

Згідно з рис. 1, досліджуваний фрагмент алгоритму відтворює взаємодію таких трьох компонентів СКП: КПА, БУК, ПСЕП. Відповідно, ФХ ФХ СКП на основі TLA+ містить три змінні стани СП, які подамо множиною  $V = \{v_1, v_2, v_3\}$ . За запропонованим підходом, для кожної  $v_i \in V (i = 1, 2, 3)$  синтезуємо відповідну  $AM_i \in A$  (1). Результуючий артефакт подано на рис. 2.

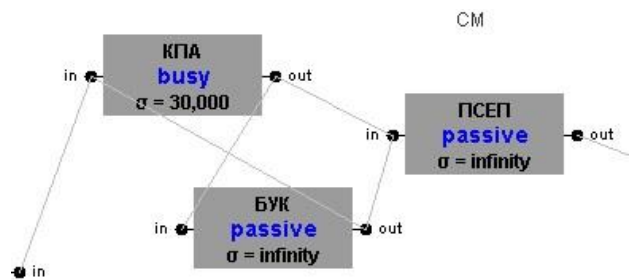


Рис. 2. Графічне подання результуючої СМ

На рис. 2 фігурують три АМ (оскільки  $|V| = 3$ ), що разом формують СМ, на основі якої здійснюється контроль НФХ шляхом дискретно-подійного імітаційного DEVS-моделювання. Контроль полягає у відстеженні накопиченого значення часової затримки внаслідок взаємодії АМ згідно з алгоритмом рис. 1 та порівнянні цього значення із табличним, яке у цьому разі становить 300 мс. Згідно з рис. 2  $S = \{ "busy", "passive" \}$ . Значення  $\sigma$  задає затримку на спрацювання відповідної  $AM_i \in A$ .

Отже, безшовність інтеграції підходу полягає у синтезі один до одного елементів множини  $A$  (2) на основі елементів множини  $V$ . Розвинутий механізм варіювання рівня деталізації результуючого артефакту СМ, у свою чергу, базується на оперуванні концептами (1) і (2) згідно з викладеним підходом.

**Висновки.** Таким чином, було запропоновано підхід до контролю показників нефункціональних характеристик розроблюваної системи критичного призначення, що дозволяє виконувати перевірку названих характеристик вже на етапі проектування процесу розроблення.

Було здобуто такі результати:

1) запропонований підхід характеризується розвинутим механізмом варіювання рівня деталізації одержуваних на його основі артефактів, а

також забезпечує безшовність інтеграції до складу комплексу із методу та засобів, застосовуваних на етапі проектування для контролю функціональних характеристик розроблюваної системи, а саме широко використовуваних формального методу перевірки на моделі TLC, темпоральної логіки дій TLA, відповідного формалізму TLA+, а також засобу автоматизації TLA Toolbox;

2) застосування підходу продемонстровано на прикладі фрагменту блок-схеми алгоритму роботи блоку управління конфігурацією бортового цифрового обчислювального комплексу космічного апарата.

Подальші дослідження орієнтовано на розвиток комплексу засобів автоматизації процесу синтезу артефактів згідно із запропонованим підходом.

### Список літератури:

1. Шкарупило В.В., Євдокимов В.Ф., Душеба В.В. Застосування формальних методів для перевірки систем критичного призначення. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія «Технічні науки»*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 1. № 6. С. 188–193. DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/34>.
2. Конорев Б.М., Манжос Ю.С., Харченко В.С., Алексеев Ю.Г., Сергиенко В.В., Чертков Г.Н. *Инвариантно-ориентированная оценка качества программного обеспечения космических систем* / под ред. Б.М. Конорева, В.С. Харченко. Харьков : Государственный центр регулирования качества поставок и услуг, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. 224 с.
3. Yin J.-Q., Zhu H.-B., Fei Y. Specification and verification of the Zab protocol with TLA+. *Journal of Computer Science and Technology*. 2020. Vol. 35. № 6. P. 1312–1323. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11390-020-0538-7>.
4. Lamport L. Specifying systems: The TLA+ language and tools for hardware and software engineers. Boston : Addison-Wesley, 2002. 382 p.
5. Kuppe M.A., Lamport L., Ricketts D. The TLA+ Toolbox. *Formal Integrated Development Environment, F-IDE 2019 : 5th Workshop* (Porto, Portugal, October 7, 2019). EPTCS 310, 2019. P. 50–62. DOI: <http://doi.org/10.4204/EPTCS.310.6>.
6. IEC 61508 Edition 2.0. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems. [Approved: April 2010]. URL: <https://www.iec.ch/functionalsafety/standards/page2.htm>. (дата звернення: 19.11.2020).
7. Resch S., Paulitsch M. Using TLA+ in the Development of a Safety-Critical Fault-Tolerant Middleware. *Software Reliability Engineering Workshops : Proc. 2017 IEEE International Symposium* (Toulouse, France, 23–26 October 2017). P. 146–152. DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSREW.2017.43>.
8. Pakonen A., Buzhinsky I. Verification of fault tolerant safety I&C systems using model checking. *Industrial Technology, ICIT 2019: 2019 IEEE International Conference* (Melbourne, Australia, 2019). 2019. P. 969–974. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICIT.2019.8755014>.
9. Ge N., Jenn E., Breton N., Fonteneau Y. Integrated formal verification of safety-critical software. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 2018. Vol. 20. № 4. P. 423–440. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10009-017-0475-0>.
10. Nouri A., Bensalem S., Bozga M., Delahaye B., Jegourel C., Legay A. Statistical model checking QoS properties of systems with SBIP. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer (STTT)*. 2015. Vol. 17. № 2. P. 171–185. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10009-014-0313-6>.
11. Ghezzi C., Sharifloo A.M. Model-based verification of quantitative non-functional properties for software product lines. *Information and Software Technology*. 2013. Vol. 55. № 3. P. 508–524. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2012.07.017>.
12. Singh P., Singh L. Verification of safety critical and control systems of nuclear power plants using Petri nets. *Annals of Nuclear Energy*. 2019. Vol. 132. P. 584–592. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2019.06.027>.
13. ISO 26262:2018. Road vehicles. Functional safety. Part 1: Vocabulary. Published: December 2018. URL: <https://www.iso.org/standard/68383.html> (дата звернення: 05.10.2020).



14. Weissnegger R., Pistauer M., Kreiner C., Römer K., Steger C. A novel design method for automotive safety-critical systems based on UML/MARTE. *Proceedings of the 2015 Forum on specification & Design Languages* (Barcelona Spain, September 14–16, 2015). Belmont, France, 2015. P. 177–184.
15. Weissnegger R., Schuss M., Kreiner C., Pistauer M., Römer K., Steger C. Simulation-based verification of automotive safety-critical systems based on EAST-ADL. *Procedia Computer Science*. 2016. Vol. 83. P. 245–252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.122>.
16. Correa T., Becker L.B., Farines J.-M., Bodeveix J.-P., Filali M., Vernadat F. Supporting the design of safety critical systems using AADL. *Proc. 2010 15th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems* (Oxford, UK, March 22–26, 2010). P. 331–336. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECCS.2010.56>.
17. Huang L., Kang E.-Y. Formal verification of safety & security related timing constraints for a cooperative automotive system / Eds. R. Hähnle, W. van der Aalst. *Fundamental Approaches to Software Engineering. FASE 2019. Lecture Notes in Computer Science*. 2019. Vol. 11424. Springer, Cham. P. 210–227. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16722-6\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16722-6_12).
18. Van Tendeloo Y., Vangheluwe H. An evaluation of DEVS simulation tools, *SIMULATION*. 2017. Vol. 93. № 2. P. 103–121. DOI: <https://doi.org/10.1177/0037549716678330>.
19. Шкарупило В.В., Скрупский С.Ю., Кудерметов Р.К. DEVS-модель как средство валидации композитных веб-сервисов распределенной системы. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2011. № 7. С. 61–67.
20. Шкарупило В.В., Кудерметов Р.К., Польська О.В. DEVS-орієнтована методика валідації композитних веб-сервісів. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2015. № 4. С. 79–86. DOI: 10.15588/1607-3274-2015-4-12.
21. IEEE 1012-2016. IEEE Standard for system, software, and hardware verification and validation. Approved: 28 September 2017. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8055462> (дата звернення: 23.07.2020).
22. Broy M. A logical approach to systems engineering artifacts and traceability: from requirements to functional and architectural views. *Engineering dependable software systems : NATO Science for Peace and Security Series – D: Information and Communication Security / eds. M. Broy, D. Peled, G. Kalus*. Amsterdam : IOS Press, 2013. Vol. 34. P. 1–48. DOI: <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-207-3-1>.
23. Myers G.J. *Software reliability: principles and practices*. New York : Wiley, 1976. 360 p.
24. Шкарупило В.В., Чемерис О.А., Душеба В.В., Кудерметов Р.К., Польська О.В. Метод синтезу формальних специфікацій на основі трійок Хоара. *Наукові праці ДонНТУ, Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»*. 2020. № 1 (30). С. 49–57. DOI: 10.31474/1996-1588-2020-1-30-49-57.
25. Concepcion A.I., Zeigler B.P. DEVS formalism: a framework for hierarchical model development. *IEEE Transactions on Software Engineering*. 1988. Vol. 14. № 2. P. 228–241. DOI: <https://doi.org/10.1109/32.4640>.
26. Shkarupylo V., Skrupsky S., Oliinyk A., Kolpakova T. Development of stratified approach to software defined networks simulation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling systems*. 2017. Vol. 5. № 9 (89). P. 67–73. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.110142>.

**Shkarupylo V.V., Chemerys O.A., Dusheba V.V., Kudermetov R.K., Polska O.V. MODEL-DRIVEN APPROACH TO NON-FUNCTIONAL PROPERTIES INDEXES CONTROL AT DESIGN**

*Resolving the task of design solutions errors discovery at the early stages of system design process becomes of particular significance, when the system under development is the safety-critical one – a system, which functional safety is a precondition for critical outcomes of significant social and economic character prevention. A precondition to functional safety is, in particular, sticking to a given requirements to both functional and non-functional properties of system under development. It is reached by way of complex usage of control methods and tools alongside the whole life cycle of a system. Corresponding representatives are, in particular, the model checking methods and the methods of simulation.*

*Within the paper, a system is approached with respect to a software plane. The accent is put on the design stage of engineering process. It is devoted to discover the architectural faults on-time.*

*In given paper, a task of developing the approach to non-functional properties of safety-critical systems control at design is resolved. The approach is characterized as a seamless tool to be integrated into a proven framework for functional properties formal verification, and also as a developed mechanism for varying the atomicity level of corresponding simulation model as a control tool. The approach is based on the mathematical apparatus of the Discrete-event System Specification (DEVS) formalism. It is grounded on the concepts of “atomic” and “coupled” DEVS-models. As a case study, the scenario of the space industry is considered. The approach is supposed to be applied after the functional properties control – by way of formal verification of specification synthesized on the basis of Temporal Logic of Actions (TLA) with a model checking method. As an input data, the algorithm block diagram is utilized.*

**Key words:** DEVS, TLA, verification, safety-critical system, non-functional properties, functional safety.

## Відомості про авторів

**Алієв Хайдар** – PhD, Азербайджанський технічний університет

**Андрухів Т.В.** – кандидат технічних наук, директор Львівської філії (керуючої філії Західного макрорегіону) ПАТ «Укртелеком»

**Андрущак В.С.** – аспірант кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

**Баган Т.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бараненко Р.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Уманського національного університету садівництва

**Бевз С.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету

**Бережна Н.Г.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Березюк І.А.** – кандидат технічних наук, доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет

**Бешлей М.І.** – кандидат технічних наук, докторант кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

**Бунь В.П.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Бурбело С.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету

**В'юненко О.Б.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри кібернетики та інформатики Сумського національного аграрного університету

**Виганяйло С.М.** – кандидат економічних наук, доцент кафедри соціально-економічних наук Сумської філії Харківського національного університету внутрішніх справ

**Войтко В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету

**Гаркуша В.Ю.** – магістр факультету комп'ютерних наук та технологій Національного університету «Запорізька політехніка»

**Гуйда О.Г.** – старший викладач кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського

**Дворська С.В.** – навчальний майстер кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Думич С.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

**Душеба В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач відділу математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

**Зіноватна С.Л.** – кандидат технічних наук, доцент, кафедра системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

**Івченко Р.А.** – аспірант кафедри «Автоматизації, комп'ютерних наук і технологій» Криворізького національного університету

**Качурівська Г.М.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та вищої математики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Качурівський В.О.** – інженер, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та вищої математики Відокремленого підрозділу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»

**Киричек Г.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Коломоєць Г.П.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Інженерного навчально-наукового інституту Запорізького національного університету

**Комлева О.О.** – кафедра системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

**Кравець А.М.** – магістрант кафедри обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Кудерметов Р.К.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Купін А.І.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Комп'ютерних систем та мереж» Криворізького національного університету

**Кутья О.В.** – старший викладач кафедри транспортних технологій і логістики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Левкін Д.А.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри вищої математики Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка

**Лисенко О.О.** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Літвінов Є.А.** – магістрант інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського»

**Лобода Ю.Г.** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

**Логвін А.О.** – аспірант кафедри електронних обчислювальних машин факультету комп'ютерної інженерії та управління Харківського національного університету радіоелектроніки

**Логінова Н.І.** – кандидат педагогічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

**Лубко Д.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Макаров О.А.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри прикладної математики Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

**Максимюк Т.А.** – кандидат технічних наук, докторант кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка»

**Мануляк І.З.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Мартинюк Г.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету

**Марченко Н.Б.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління Національного авіаційного університету

**Мельничук С.І.** – доктор технічних наук, завідувач кафедри комп'ютерних систем і мереж Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Мельніченко М.М.** – аспірант Центральноукраїнського національного технічного університету

**Мовчан К.О.** – старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту спеціальної техніки та судових експертиз Служби Безпеки України

**Монченко О.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біокібернетики та аерокосмічної медицини Національного авіаційного університету

**Озерова Д.С.** – студентка кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету

**Олещенко Л.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ольшевський С.В.** – доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**Осадчий С.І.** – доктор технічних наук, професор Центральноукраїнського національного технічного університету

**Осинський А.К.** – науковий магістр кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Пелих С.М.** – професор кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету

**Писаренко К.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

**Плохотнюк М.О.** – студент 6 курсу групи ТК-1514, кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету

**Польська О.В.** – старший викладач кафедри комп'ютерних систем і мереж Національного університету «Запорізька політехніка»

**Ремінна А.А.** – магістр кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Романюк В.А.** – доктор технічних наук, професор, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут

**Сайченко І.О.** – аспірант інституту телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського»

**Сімоненко В.П.** – професор кафедри обчислювальної техніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ставицький П.В.** – аспірант кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету

**Танасійчук Я.В.** – аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка

**Толокнов А.А.** – асистент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

**Улізко Г.В.** – інженер 1 категорії кафедри кібербезпеки та програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету

**Чанишев Р.І.** – кандидат юридичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

**Чемерис О.А.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

**Шаров С.В.** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного

**Шарова Т.М.** – кандидат філологічних наук, доцент, доцент кафедри української і зарубіжної літератури Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького

**Шкарупило В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова Національної академії наук України

**Янковський О.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій Національного університету «Одеська юридична академія»

## НОТАТКИ

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 32 (71) № 1 2021**

**Частина 1**

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Джона Маккейна, 33

Електронна пошта: [editor@tech.vernadskyjournals.in.ua](mailto:editor@tech.vernadskyjournals.in.ua)

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

Формат 60×84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 15,20. Ум. друк. арк. 21,16. Зам. № 0321/81

Підписано до друку 04.02.2021. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

65101, м. Одеса, вул. Інглезі, 6/1

Телефон +38 (048) 709 38 69,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.