

**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 30 (69) № 4 2019**

**Частина 1**

**Київ  
2019**

## **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;

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

**Дубко Валерій Олексійович** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**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 автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Кузьменко Борис Володимирович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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

**Чумаченко Сергій Миколайович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 1 від 28.08.2019 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 з технічних наук відповідно Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 № 1714 (додаток 7)

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, 2019

# ЗМІСТ

## МАШИНОЗНАВСТВО

<b>Поліщук М.М.</b> МОБІЛЬНИЙ РОБОТ ІЗ ПНЕВМАТИЧНИМ АКУМУЛЯТОРОМ ЕНЕРГІЇ.....	1
----------------------------------------------------------------------------------	---

## ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

<b>Рудик А.В., Пасов Г.В.</b> ЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗІВ ВІД РЕЖИМІВ ПРИ ЗУСТРІЧНОМУ ТА ПОПУТНОМУ ШЛІФУВАННІ.....	7
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

## АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

<b>Rahulin S.V., Syroizhka I.O.</b> NEW APPROACHES OF FACTORS CLASSIFICATION WHICH AFFECT THE RELIABILITY OF AIRCRAFT.....	12
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

<b>Артеменко М.Ю., Каплун В.В., Бобровник В.М.</b> ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОЇ ЧОТИРИПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗА ВІДОМИМИ АКТИВНИМИ ТА РЕАКТИВНИМИ ПОТУЖНОСТЯМИ ОКРЕМИХ ФАЗ.....	17
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Гончаров Є.В.</b> АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	23
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## ПРИЛАДИ

<b>Дегтярук В.І., Будник М.М., Ходаковський М.І., Будник В.М., Риженко Т.М., Мудренко М.І., Чайковський І.А.</b> РОЗРОБКА ЕКГ-ФОТОМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ НА МЕДИЧНІ ВИРОБИ.....	29
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

<b>Борейко М.Г., Будник М.М.</b> УДОСКОНАЛЕНІЙ АЛГОРИТМ ВІЯВЛЕННЯ ФІБРИЛЯЦІЇ ШЛУНОЧКІВ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА.....	34
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Гончар С.Ф.</b> МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ РИЗИКІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ.....	40
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Дубко В.А.</b> О ПОСТРОЕНИИ МНОЖЕСТВА ИНВАРИАНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ЗАДАНОЙ ФУНКЦИИ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ.....	44
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Дудикевич В.Б., Хома В.В., Чекурін В.Ф., Хома Ю.В., Сабодашко Д.В.</b> НОРМАЛІЗАЦІЯ СИГНАЛІВ ЕКГ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМАХ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ.....	49
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Жученко А.І., Ситніков О.В.</b> РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЮ СКЛОВАРНОЮ ПІЧЧЮ.....	57
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Киричек Г.Г., Іванов М.А.</b> СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ЗБОРУ ТА ВИВЕДЕННЯ КРИПТОВАЛЮТИ.....	62
------------------------------------------------------------------------------------------------	----

<b>Ковальчук А.М., Марчук Г.В., Марчук Д.К.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖИ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РУКОПИСНИХ СИМВОЛІВ.....	68
<b>Kozlenko O.V.</b> INFORMATION SECURITY ONTOLOGY WITH LEAKS SCENARIOS AND INFORMATION SECURITY CULTURE.....	74
<b>Конох І.С., Богдан В.О., Істоміна Н.М.</b> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВАЛІДНОСТІ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ІЗ ВЛАСТИВІСТЮ САМОНАВЧАННЯ.....	79
<b>Круглик В.С., Наумук О.В., Прокоф'єв Є.Г., Сіциліцин Ю.О., Коровін О.С.</b> РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗРАХУНКІВ ФІНАНСОВИХ ПОКАЗНИКІВ УНІВЕРСИТЕТУ.....	88
<b>Купін А.І., Сенько А.О., Мисько Б.С.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ.....	93
<b>Повхан І.Ф., Лавер В.О.</b> АЛГОРИТМИ ПОБУДОВИ ЛОГІЧНИХ ДЕРЕВ КЛАСИФІКАЦІЇ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.....	100
<b>Приходько Н.В., Кудін О.О.</b> МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН НА ОСНОВІ ДВОВИМІРНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЖОНСОНА.....	106
<b>Путренко В.В., Пашинська Н.М.</b> РЕГІОНАЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ РОСЛИННОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ.....	112
<b>Романюков М.Г.</b> ОРДИНАРНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОПЕРАЦІЇ ВПЛИВУ НА МАТРИЦІ ЦІННОСТІ СУБ'ЄКТА В СИСТЕМІ КІБЕРБЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ.....	118
<b>Слонов М.Ю.</b> ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ ПІДХІД ДО СТРУКТУРНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ: НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС.....	124
<b>Терейковська Л.О.</b> НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ ЗА КЛАВІАТУРНИМ ПОЧЕРКОМ.....	129
<b>ГЕОДЕЗІЯ</b>	
<b>Бурак К.О., Лиско Б.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНИХ КООРДИНАТ ВЕКТОРА З ДОПОМОГОЮ RTN РІШЕНЬ.....	134
<b>Нестеренко С.Г., Радзінська Ю.Б., Афанасьєв О.В., Фролов В.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ МІСЦЕВОСТІ.....	143
<b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ.....</b>	147

# CONTENTS

## MACHINE SCIENCE

**Polishchuk M.N.**

MOBILE ROBOT WITH PNEUMATIC ENERGY BATTERY .....1

## MATERIAL PROCESSING IN MECHANICAL ENGINEERING

**Rudik A.V., Pasov G.V.**

DEPENDENCE OF CUTTING SURFACE PARAMETERS  
FROM SURFACE GRINDING MODES .....7

## AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

**Rahulin S.V., Syroizhka I.O.**

NEW APPROACHES OF FACTORS CLASSIFICATION  
WHICH AFFECT THE RELIABILITY OF AIRCRAFT.....12

## ELECTRICAL ENGINEERING

**Artemenko M.Yu., Kaplun V.V., Bobrovnik V.M.**

DETERMINATION OF THE APPARENT POWER COMPONENTS  
OF A THREE-PHASE FOUR-WIRE POWER SUPPLY SYSTEM BY KNOWN REAL  
AND REACTIVE POWERS OF SEPARATE PHASES .....17

**Honcharov E.V.**

ANALYSIS OF APPLICATION OF THE INDUCTIVE SHORT CIRCUIT CURRENT LIMITER .....23

## EQUIPMENT

**Dehtiaruk V.I., Budnyk M.M., Khodakovskiy M.I.,**

**Budnyk V.M., Ryzhenko T.M., Mudrenko M.I., Chaykovskyy I.A.**

DEVELOPMENT OF ECG PHOTOMETRIC COMPLEX UNDER THE REQUIREMENT  
OF TECHNICAL REGULATIONS FOR MEDICAL PRODUCTS .....29

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Boreiko M.H., Budnyk M.M.**

IMPROVED ALGORITHM FOR VENTRICULAR FIBRILLATION  
DETECTION BASED ON THE HILBERT TRANSFORM.....34

**Honchar S.F.**

METHODOLOGY FOR RISK ASSESSMENT OF CYBER SECURITY  
OF INFORMATION SYSTEMS OF OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE .....40

**Doobko V.A.**

ON CONSTRUCTION OF A SET OF INVARIANT TRANSFORMATIONS  
FOR THE FUNCTION OF MANY VARIABLES .....44

**Dudykevych V.B., Khoma V.V., Chekurin V.F., Khoma Y.V., Sabodashko D.V.**

ECG SIGNALS NORMALIZATION FOR SYSTEMS OF BIOMETRIC IDENTIFICATION .....49

**Zhuchenko A.I., Sytnikov A.V.**

DEVELOPMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF REGENERATIVE GLASS MELTING FURNACE.....57

**Kirichek G.G., Ivanov M.A.**

THE SYSTEM OF AUTOMATIC COLLECTION  
AND CRYPTOCURRENCY WITHDRAWAL .....62

<b>Marchuk G.V., Marchuk D.K., Kovalchuk A.M.</b> APPLICATION OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR THE RECOGNITION OF HANDWRITTEN CHARACTERS.....	68
<b>Kozlenko O.V.</b> INFORMATION SECURITY ONTOLOGY WITH LEAKS SCENARIOS AND INFORMATION SECURITY CULTURE.....	74
<b>Konokh I.S., Bohdan V.O., Istomina N.M.</b> AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE DISCRETE CONTROL SYSTEMS VALIDITY WITH SELF-LEARNING PROPERTY.....	79
<b>Kruglik V.S., Naumuk A.V., Prokofiev E.G., Sicilicyn Y.A., Korovin A.S.</b> DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF FORECASTS OF CALCULATIONS OF THE FINANCIAL INDICATORS OF THE UNIVERSITY.....	88
<b>Kupin A.I., Senko A.O., Mysko B.S.</b> OPTIMIZATION BASED ON A GENETIC APPROACH TO THE PROCESS OF IRON ORE BENEFICIATION.....	93
<b>Povhan I.F., Laver V.O.</b> THE ALGORITHMS FOR CONSTRUCTING A LOGICAL TREE OF CLASSIFICATION IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS.....	100
<b>Prykhodko N.V., Kudin O.O.</b> MATHEMATICAL MODELS TO ESTIMATE EFFORTS OF THE DEVELOPMENT OF SHIP DESIGN DOCUMENTATION ON THE BASIS OF THE JOHNSON BEVARIATE NORMALIZING TRANSFORMATION.....	106
<b>Putrenko V.V., Pashinska N.M.</b> REGIONAL MONITORING OF THE STATE OF VEGETATION BY USING METHODS OF DATA MINING.....	112
<b>Romanyukov M.G.</b> ORDINARY MODEL OF THE PROCESS OF INFORMATION OPERATION OF THE INFLUENCE ON THE MATRIX OF THE SUBJECT VALUE IN THE SYSTEM OF THE UKRAINE'S CIBERDS OF THE STATE.....	118
<b>Slonov M.Yu.</b> FUNCTIONAL-COST APPROACH TO STRUCTURAL IMPROVEMENT OF COMPLEX SYSTEM: EDUCATIONAL PROCESS.....	124
<b>Tereikovska L.A.</b> NEURAL NETWORK MODEL OF RECOGNITION OF THE EMOTIONAL STATE OF OPERATORS OF AUTOMATED WORKPLACES BY KEYBOARD HANDWRITING.....	129
<b>GEODESY</b>	
<b>Burak K.O., Lysko B.O.</b> INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETER EFFECT ON DETERMINING ACCURACY OF VECTOR RELATIVE COORDINATE BY RTN SOLUTIONS.....	134
<b>Nesterenko S.G., Radzinskaya Y.B., Afanasyev O.V., Frolov V.O.</b> RESEARCH OF DIRECTIONS AND TECHNOLOGY OF APPLICATION OF ELECTRONIC TOPOGRAPHICAL PLANS OF THE AREA.....	143
<b>INFORMATION ABOUT THE AUTHORS.....</b>	147

УДК 621.865.8(031)

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/01>**Поліщук М.М.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**МОБІЛЬНИЙ РОБОТ ІЗ ПНЕВМАТИЧНИМ АКУМУЛЯТОРОМ ЕНЕРГІЇ**

*Процес еволюції технічних систем в області машинознавства в частині створення технологічного встаткування, як правило, приводив до виникнення нових засобів виробництва. Мобільні роботи характеризуються переважним використанням автономних джерел енергії від традиційних акумуляторів з їхнім обмеженим ресурсом ємності до сонячних батарей, які вимагають великої ефективної площі приймачів.*

*Головним напрямом підвищення енергетичної ефективності мобільних роботів є зменшення потужності їхніх приводів і підсистеми втримання на поверхні для подолання гравітаційної сили. Потужність приводів руху й зчеплення роботів із поверхнею переміщення є домінуючим чинником в енергетичному споживанні мобільних роботів. Тому створення конструкцій роботів, яким властиве мінімальне споживання енергії, є надзвичайно актуальним завданням. Розв'язок зазначеного завдання може бути здійснено за допомогою створення приводів і трансмісії роботів із можливістю нагромадження енергії на кожному попередньому кроці переміщення і перетворення її на енергію руху на кожному наступному кроці.*

*У статті надано опис принципово нової конструкції мобільного робота з пневматичним акумулятором енергії, здатним до накопичення потенційної енергії стислого повітря та перетворення її на кінематичну енергію руху крокуючого механізму. Новизна акумулятора енергії полягає в тому, що він виконаний у вигляді пневматичного циліндру, поршень і шток якого мають кінематичний зв'язок із трансмісією крокуючого механізму робота через несамогальмуючу гвинтову передачу. Наведені аналітичні залежності розрахунку параметрів акумулятора енергії та результати моделювання параметрів модуля нагромадження і перетворення енергії руху робота. У сукупності викладені розв'язки сприяють підвищенню енергоефективності мобільного робота шляхом заощадження ресурсу автономного джерела живлення.*

**Ключові слова:** мобільні роботи, крокуючі механізми, роботи вертикального переміщення, акумулятори енергії.

**Постановка проблеми.** Оскільки такому порівняно новому виду техніки, як мобільні роботи, притаманно використання автономних джерел живлення, то одним із ключових завдань є вирішення задачі енергетичної ефективності приводів трансмісії роботів. Особливу актуальність вказана задача здобуває під час застосування мобільних роботів в екстремальних умовах техногенних катастроф, небезпечних і навіть неприйнятних для перебування людини. Не менш важливе значення задача енергозабезпечення мобільних роботів має й при виконанні таких технологічних операцій, як моніторинг промислових об'єктів, монтаж і демонтаж будівельних конструкцій, ремонт і профілактичне обслуговування їхніх компонентів.

Відомо, що як автономні джерела живлення застосовують, як правило, акумуляторні та навіть сонячні батареї, першим з яких властива низька

питома потужність і досить невисокий енергетичний ресурс, а другим – неабияка ефективна площа поглинаючих сонячну енергію пластин. В обох випадках вкрай важлива економія ресурсу автономного джерела живлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наявність експериментальних зразків мобільних роботів [1, с. 4–11], в яких застосовані різноманітні засоби зчеплення з поверхнею переміщення, не усуває проблему енергоефективності підсистем роботів, що компенсують або долають гравітаційне навантаження для гарантованого втримання робота на довільно орієнтованій поверхні переміщення. Мобільний робот [2, с. 67–78] із важільною трансмісією, на шарнірах котрої встановлено електроприводи, а як система зчеплення застосовані вакуумні захвати (рис. 1), дає змогу здійснювати ефективний перехід із горизонтальної

на вертикальну поверхню переміщення. Однак трансмісії цього робота притаманна велика кількість двигунів, що не сприяє енергозбереженню його приводів. Принципово інша система утримання робота на поверхні переміщення, а саме як генератор вакууму запропонована в конструкції робота CCNY Robotics Lab City University New York (рис. 2), що відображена в дослідженнях [3, с. 35].

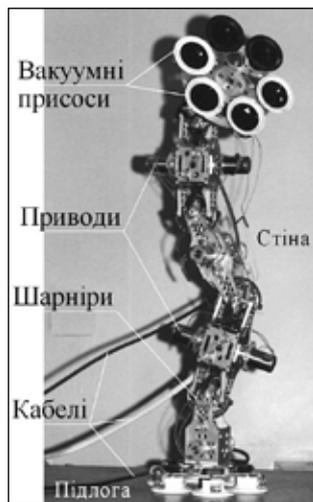


Рис. 1. Мобільний робот ПМ ім. О.Ю. Ішлінського (РАН)



Рис. 2. Робот CCNY Robotics Lab City University New York



Рис. 3. Робот «Boston Dynamics» Cambridge, USA

Автономним генератором вакууму створюється зона пониженого тиску між корпусом робота і поверхнею переміщення, завдяки чому робот і утримується на вказаній поверхні, а трансмісія у вигляді колісної бази дає змогу роботу досягати вищої швидкості руху.

Суттєвою відзнакою мобільного робота «Boston Dynamics» (рис. 3) є наявність плоско паралельних педипуляторів, оснащених голчастими механічними захватами [4, с. 2]. Ці властивості надають роботу переміщатися як у прямокутній Декартовій системі координат, що необхідно для обслуговування висотних будинків, так і в циліндричній системі координат, притаманній таким об'єктам, як дерева, стовпи ліній електропередач або трубопроводи. Віддаючи належне оригінальності конструкції наведених моделей, варто зауважити, що роботи з механічним зчепленням [5, с. 25–27] відрізняються підвищеною надійністю, але їхні приводи вимагають застосування редукції, що збільшує вагу робота, а значить, його гравітаційне навантаження, для компенсації якого доцільне використання систем нагромадження і перетворення енергії руху [6, с. 117].

Моделювання енергетичної ефективності (Energy-Efficient Motion Planning) мобільних роботів викладене в роботі [7, с. 6], де представлений новий підхід до побудови енергетично ефективних планів руху. Розроблена модель передбачає обчислення енергетичних витрат при різних маршрутах, швидкостях, прискореннях і гальмуваннях на поворотах. Як критерій ефективності обране відношення площі покриття до загальних витрат енергії руху робота. Під енергоспоживанням робота розуміється сума потужностей усіх двигунів мобільного робота, що підлягає мінімізації. Цей підхід відрізняється простотою й оригінальністю критерію, що дає змогу мінімізувати енергетичні витрати у процесі покриття максимально можливої площі обслуговування роботом із колісною трансмісією. Однак у цій роботі не запропоновані рекомендації із забезпечення енергетичної ефективності власне конструкції мобільних роботів.

Підсистеми зчеплення з поверхнею руху поряд із підсистемами приводів також визначають енергетичну ефективність мобільних роботів. Тому становить інтерес інший методологічний підхід до моделювання умов зчеплення мобільного робота з поверхнею довільної орієнтації, запропонований у роботі [8, с. 14–18]. Метод заснований на теорії опору матеріалів, а

саме: для забезпечення гарантованого зчеплення робота з поверхнею переміщення обчислюється значення нормальної напруги в зоні контакту й порівнюється із граничним значенням напруги при розтяганні й стиску поверхні контакту. Ця модель дає змогу контролювати міцність зчеплення ніг робота з поверхнею переміщення, однак у ній не відображені розв'язки, спрямовані саме на підвищення енергетичної ефективності приводів зчеплення робота з поверхнею переміщення. У роботі [9] запропонований критерій енергетичної ефективності у вигляді показника питомої потужності мобільного робота. Цей критерій є домінуючим показником енергетичної підсистеми мобільного робота.

Однак у жодній із розглянутих технічних реалізацій роботів не запропоновані способи чи конструкції для підвищення їхньої енергетичної ефективності, що для такого виду технологічного встаткування, як мобільні роботи, має принципове значення. Таким чином, задача підвищення енергетичної ефективності мобільних роботів є актуальною.

**Постановка завдання.** Необхідно створити мобільного робота, приводи та трансмісія якого мають здатність нагромадження потенційної енергії на кожному попередньому кроці й перетворення її на кінетичну енергію руху на кожному наступному кроці переміщення робота, але вже при вимкнених приводних двигунах. Застосування таких приводів забезпечить економію енергетичного ресурсу автономного джерела живлення, а значить і підвищення енергетичної ефективності мобільних роботів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Конструкція мобільного робота.** Принципова новизна конструкції мобільного робота з пневматичним накопичувачем енергії, що представлена на рис. 4, підтверджена кваліфікаційною експертизою Державного підприємства «Укрпатент» [10, с. 9]. Педипулятори робота виконані у вигляді шарнірних паралелограмів, на кінцівках котрих встановлені захвати зчеплення з поверхнею переміщення. Але головна відзнака полягає в наявності пневматичних (газових) циліндрів, поршні котрих через несамогальмуючу гвинтову передачу та зубчасті шестерні кінематично зв'язані з двигуном. Саме означені пневматичні циліндри виконують функцію накопичення потенціальної енергії на першому кроці та перетворення її на кінетичну енергію руху на кожному другому кроці робота.

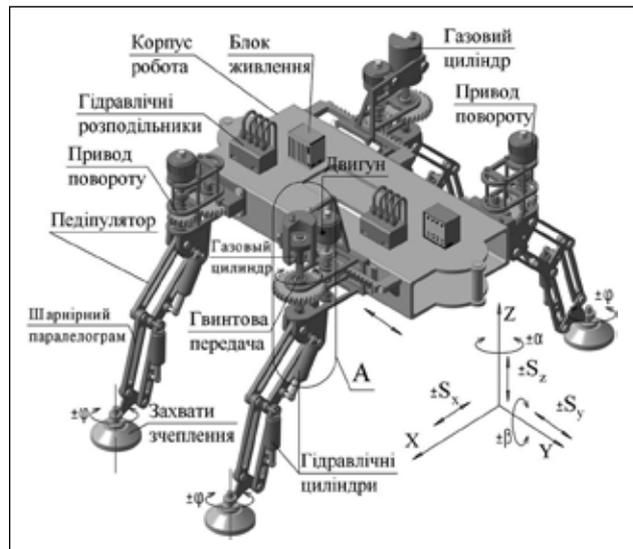


Рис. 4. Мобільний робот із пневматичним накопичувачем енергії

Захвати зчеплення діагонально розташованих педипуляторів вмикаються та вимикаються по чергово, здійснюючи покроковий рух робота. У системі координат XYZ робот має п'ять ступенів свободи, а саме: повздовжнє переміщення  $\pm S_y$  та нахил  $\pm \beta$  щодо осі Y; переміщення  $\pm S_z$  та поворот  $\pm \alpha$  щодо осі Z; переміщення  $\pm S_x$  по осі X. Така кількість ступенів рухомості дає змогу роботу виконувати не тільки транспортні, а й технологічні операції.

Пневматичний накопичувач енергії цього робота показано виносним елементом «А» на рис. 5. За командою контролера вмикається двигун 1, який через муфту 2 і вал 3 передає обертання приводній шестірні 4, що обертає зубчасте колесо 5 і несамогальмуючу гайку 6. Остання повідомляє поступальне переміщення гвинта 7 і встановленого на ньому з можливістю вільного обертання поршня 8. При цьому поршень 8 стискає повітря, що перебуває в порожнині «с».

Одночасно шестірня 4 повідомляє поступальне переміщення зубчастій рейці 9, жорстко закріпленої на корпусі робота. Оскільки захвати однієї пари педипуляторів зчеплені з поверхнею переміщення, робот рухається з напрямними 10 у полозку 11 поступально разом із педипуляторами, захвати яких вільні від зчеплення з поверхнею переміщення. На цьому етапі – першому кроці через те, що поршень стискає повітря в порожнині «с», нагромаджується певний запас потенціальної енергії для подальшого її перетворення на кінетичну енергію руху.

Процес руху корпусу робота й одночасного стиску газу в порожнині «с» буде тривати доти,

поки тиск газу не сягне заданого проектом значення. Після чого спрацює датчик тиску, за сигналом якого контролер виключає двигун, муфту 2 і відключає зчеплення захватів однієї пари педіпуляторів і одночасно включає зчеплення таких самих захватів двох інших педіпуляторів. Далі сила стислого газу діє на поршень, і тим самим переміщає гвинт 7 несамогальмуючої гвинтової передачі у зворотному напрямі, обертаючи через гайку 6 тепер уже колесо 5 також у зворотному напрямі. Інакше кажучи, поступальний рух несамогальмуючого гвинта під дією сили стислого газу в порожнині «с» перетворюється на обертний рух колеса і шестірні у зворотному напрямі. А оскільки одна пара педіпуляторів, на відміну від іншої діагонально розташованої, тепер вільна від зчеплення з поверхнею переміщення, шестірня 4, обкатуючись по зубчастій рейці 9, переміщає полозок 11, а разом із ними й відповідні педіпулятори на величину, раніше пройдену поршнем з урахуванням передаточного числа трансмісії педіпулятора.

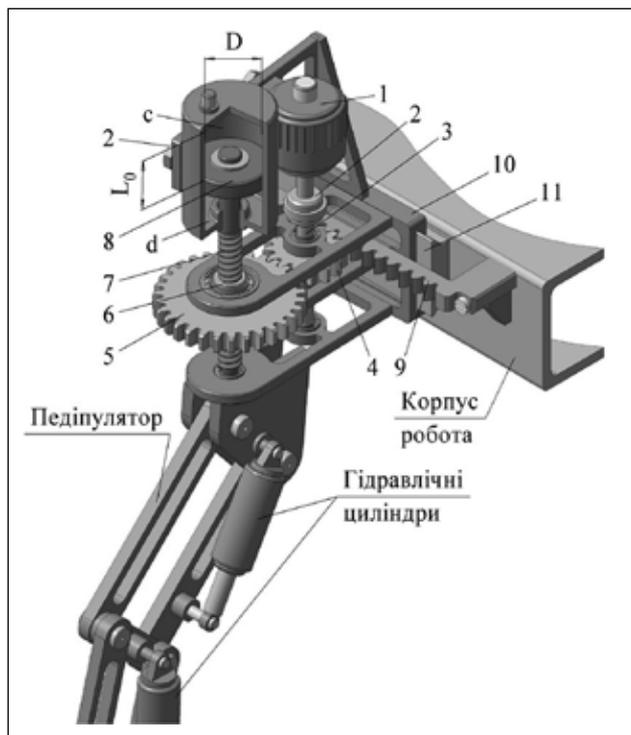


Рис. 5. Пневматичний накопичувач енергії мобільного робота

Переміщення педіпуляторів буде відбуватися до падіння тиску в порожнині «с», що дорівнює початковому значенню. При цьому їхня швидкість не буде постійною, на відміну від першого кроку переміщення педіпуляторів, у зв'язку із зазначеним падінням тиску в газовому циліндрі. Однак

цей недолік не настільки суттєвий порівняно з економією енергії, яка досягається під час переміщення педіпуляторів на наступний крок, але вже при вимкнених двигунах. У разі потреби руху робота у зворотному напрямі, тобто заднім ходом, контролером перемикається пневматичний розподільник, і порожнина «с» з'єднується з атмосферою, а порожнина «d», навпаки, заглушається заради стиску газу і нагромадження потенційної енергії. Двигун на першому кроці заднього ходу робота буде працювати в реверсивному напрямку, а на другому кроці буде вимкнений аналогічно до вище описаного руху вперед.

Таким чином, відбувається накопичення потенційної енергії на кожному першому кроці робота і перетворення її на кінетичну енергію руху на кожному другому кроці переміщення робота, але вже при вимкнених двигунах, що надає суттєву економію ресурсу автономних джерел живлення мобільних роботів.

**Розрахунок параметрів пневматичного акумулятора.** Для проектування накопичувача енергії у вигляді циліндричної пневматичної камери необхідно розрахувати її діаметр  $D$  і довжину  $L_0$  (див. рис. 5), що визначають максимальний об'єм камери при мінімальному тиску  $p_{\min}$  повітря чи газу. На першому етапі поршень стискає повітря і, таким чином, нагромаджується певний запас потенційної енергії, а на другому етапі повітря розширюється і віддає набуту енергію. Коректно припустити, що процес відбувається при постійній температурі, а тому, за законом Бойля – Маріотта, має місце рівність  $p_0 V_0 = p V$ , де  $p_0 = p_{\min}$  – тиск у камері при максимальному її об'ємі  $V_0 = \frac{\pi D^2}{4} L_0$ ;  $p$  – тиск у камері при довільному положенні поршня;  $V = \frac{\pi D^2}{4} (L_0 - x)$ ;  $x$  – поточне переміщення поршня.

Враховуючи вище наведене рівняння Бойля – Маріотта і введені позначення, одержуємо формулу для знаходження тиску  $p$  при довільному положенні поршня пневматичного накопичувача енергії

$$p = p_0 \frac{L_0}{L_0 - x}, \quad (1)$$

Якщо мінімальним тиском  $p_0$  і максимальним тиском  $p_{\max}$  (при  $x = x_{\max}$ ) задатися наперед, то з виразу (1) знаходимо необхідну довжину камери

$$L_0 = \frac{p_{\max} x_{\max}}{p_{\max} - p_0}, \quad (2)$$

Отже, пружну силу  $J$  стислого повітря (газу), яка діє на поршень, обчислюємо за формулою з урахуванням виразу (1):

$$J = p \frac{\pi D^2}{4} - p_a \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi D^2}{4} \left( p_0 \frac{L_0}{L_0 - x} - p_a \right), \quad (3)$$

де  $p_a$  – атмосферний тиск при нормальних умовах.

Оскільки ефективність пневматичного накопичувача визначається потенційною енергією  $U$ , що нагромаджується у процесі стискання повітря в камері, обчислимо значення цієї енергії:

$$U = \int_0^x J dz = \frac{\pi D^2}{4} \int_0^x \left( p_0 \frac{L_0}{L_0 - z} - p_a \right) dz = \frac{\pi D^2}{4} \left( -p_0 L_0 \ln |L_0 - z| - p_a z \right) \Big|_0^x = \frac{\pi D^2}{4} \left( p_0 L_0 \ln \frac{L_0}{L_0 - x} - p_a x \right) \quad (4)$$

Отже, максимальне значення потенційної енергії в одній пневматичній камері одного педипулятора робота становитиме:

$$U_{max} = \frac{\pi D^2}{4} \left( p_0 L_0 \ln \frac{L_0}{L_0 - x_{max}} - p_a x_{max} \right), \quad (5)$$

**Результати моделювання.** Представлені нижче графоаналітичні залежності дають змогу вибрати параметри пневматичного акумулятора залежно від вантажопідйомності чи технологічного призначення мобільного робота. На рис. 6 показано, наскільки суттєво залежить пружна сила стислого повітря (газу)  $J$  від переміщення  $x$  поршня акумулятора енергії. Очевидно, що зростання чи падіння величини пружної сили, як це показано на рис. 7, буде також суттєво залежати й від співвідношення  $k=L/D$  розмірів газової камери, а саме від її довжини  $L$  та діаметра  $D$  при певному значенні початкового тиску  $p_0$  у камері пневматичного акумулятора.

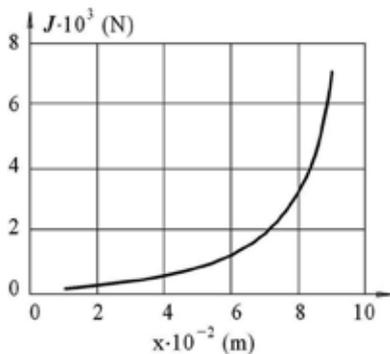


Рис. 6. Зміна пружної сили  $J$  стислого повітря від переміщення  $x$  поршня при  $p_0 = 101 \cdot 10^3$  (Pa);  $D=0,1$ (m)

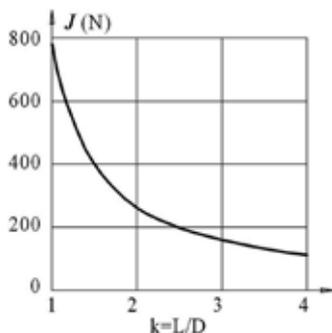


Рис. 7. Зміна пружної сили  $J$  стислого повітря від співвідношення  $k=L/D$  при  $p_0 = 101 \cdot 10^3$  (Pa);  $x=5 \cdot 10^{-2}$  (m)

Графік рис. 8 ілюструє залежність пружної сили  $J$  від одночасної зміни розмірів камери за умови, що  $D=L$ . Така рівність дає змогу забезпечити компактність конструкції пневматичного акумулятора потенціальної енергії.

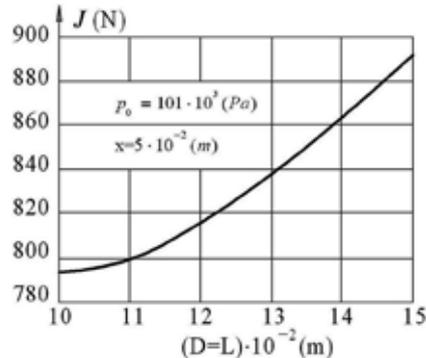


Рис. 8. Залежність пружної сили  $J$  від зміни розмірів камери  $D=L$

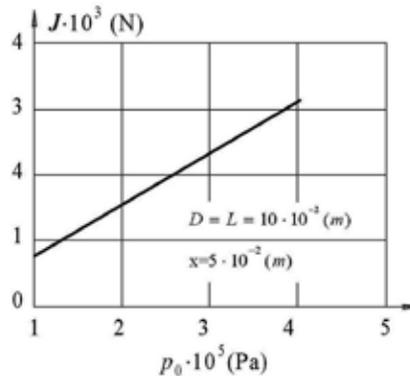


Рис. 9. Залежність пружної сили  $J$  при зміні початкового тиску в камері

Але домінуючим чинником впливу на величину пружної сили  $J$ , яка й визначає ефективність функціонування пневматичного акумулятора, є значення початкового тиску  $p_0$  в камері, як це показано на графіку (рис. 9). Вказаний початковий тиск може бути встановлений шляхом попереднього накачування стислого повітря (газу) через запірні зворотні пневматичні клапани, що монтуються в корпусі газового циліндра акумулятора. Наведені графічні залежності рекомендуються для використання як діаграми для визначення параметрів пневматичного акумулятора енергії на стадії технічного проекту.

**Висновки.** Застосування такого засобу нагромадження потенціальної енергії, як пневматичний акумулятор, із подальшим її перетворенням на кінетичну енергію руху робота дає змогу суттєво заощадити енергетичний ресурс автономних джерел живлення приводів мобільних роботів.

Запропонована принципово нова конструкція мобільного робота з пневматичним

акумулятором енергії та отримані графоаналітичні залежності дають змогу створювати мобільних роботів із підвищеною енергетичною ефективністю для виконання як транспортних, так і технологічних операцій у різних областях промисловості.

#### Список літератури:

1. Manuel F. Silva and J.A. Tenreiro Machado. A Survey of Technologies and Applications for Climbing Robots Locomotion and Adhesion. *Climbing and Walking Robots* / Behnam Miripour. London, 2010. 25 p.
2. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Мобильные роботы: проблемы управления и оптимизации движений. *XII Всероссийское совещание по проблемам управления* : труды ВСПУ 2014 г., Москва 16–17 июня 2014 г. Москва, 2014. С. 67–78.
3. Raju D.D, Jaju S.B. Developments in wall climbing robots: a review. *International journal of engineering research and general science*. 2014. № 2. P. 35.
4. Saunders A., Goldman D.I, Full R.J. and Buehler M. The RiSE Climbing Robot: Body and Leg Design. *Boston Dynamics, Unmanned Systems Technology VIII*. Proc. of SPIE. Vol. 6230. 2005. 13 p.
5. Tin Lun Lam, Yangsheng Xu. *Tree Climbing Robot: Design, Kinematics and Motion Planning*. Springer Heidelberg, New York, 2012. 178 p.
6. Polishchuk M., Oliinyk V. Mobile climbing robot with elastic energy accumulators. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2018. № 1 (82). P. 116–122.
7. Mei Y., Lu Y., Hu Y, Lee C. Energy-Efficient Motion Planning for Mobile Robots. School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University. 2005. P. 6.
8. Ruffieux S., Ijspeert A., Menon C. Modelisation and Simulation of Climbing Robots. Simon Frazer University. 2008. 21 p.
9. Jonathan E. Clark, Daniel I. Goldman, Tao S. Chen, Robert J. Full and Daniel E. Koditschek. Toward a Dynamic Vertical Climbing Robot. September 2006. URL: [http://repository.upenn.edu/ese\\_papers/504](http://repository.upenn.edu/ese_papers/504) (дата звернення: 10.09.2018).
10. Крокуючий мобільний робот. Заявка № а201807976 на видачу патенту України: МПК В62D57/032; заявл. 18.07.2018; опубл. 25.01.2019. Київ : Укрпатент, Бюл. № 2, 2019. 16 с.

#### **Polishchuk M.N. MOBILE ROBOT WITH PNEUMATIC ENERGY BATTERY**

*The process of evolution of technical systems in the field of engineering in the development of technological equipment, as a rule, led to the emergence of new means of production. Mobile robots are characterized by the predominant use of autonomous sources of energy from traditional batteries with their limited capacity resource to solar batteries, which require a large effective area of receivers.*

*The main direction of increasing the energy efficiency of mobile robots is to reduce the power of their drives and the subsystem retention on the surface to overcome the gravitational force. The power of the traction drives of robots is the dominant factor in the power consumption of mobile robots. Therefore, the creation of designs of robots, which tend to the minimum energy consumption, is an extremely important task. The solution of this problem can be carried out by creating drives and transmissions of robots with the possibility of accumulating energy at each previous step of movement and transforming it into energy of movement at each subsequent step.*

*The article presents a description of a fundamentally new design of a mobile robot with a pneumatic accumulator of energy capable of accumulating the potential energy of compressed air and converting it into the kinematic energy of motion of the walking mechanism. The novelty of the energy accumulator lies in the fact that it is made in the form of a pneumatic cylinder, the piston and rod of which has a kinematic connection with the transmission of the robot's walking mechanism through a non-self-braking helical transmission. The analytical dependencies for calculating the parameters of the energy accumulator and the results of modelling the parameters of the accumulation module and the energy conversion of the robot's movement are given. Taken together, these solutions contribute to increasing the energy efficiency of a mobile robot by saving the resource of an autonomous power source.*

**Key words:** mobile works, walking mechanisms, vertical movement works, energy accumulators.

# ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.923.42

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/02>**Рудик А.В.**

Чернігівський національний технологічний університет

**Пасов Г.В.**

Чернігівський національний технологічний університет

## ЗАЛЕЖНІСТЬ ПАРАМЕТРІВ ЗРІЗІВ ВІД РЕЖИМІВ ПРИБУТНОМУ ТА ПОПУТНОМУ ШЛІФУВАННІ

*Параметри зрізу визначають енергетичні та економічні показники процесу шліфування. Інтенсивність контактів різальних кромок абразивного інструмента із припуском відповідає закону Пуассона. Це дає змогу знайти елемент імовірності, а на його основі – математичне сподівання та дисперсію. Отже, можна моделювати закон зміни інтервалів часу між контактами за поворотом деталі та відсоток тих, де виконуються умови різання. З іншого боку, була отримана проекція на нормаль до поверхні інструмента відносно швидкості деталі. Це дає змогу знаходити нормальну швидкість відомих методів як для зустрічного, так і попутного напрямів подачі. Товщину зрізів знаходять як найбільшу відстань між сусідніми поверхнями різання. Враховані усі кінематичні складники та різне за висотою положення кромок щодо найбільш виступаючих.*

*У процес шліфування поверхонь обертання доповнений перелік параметрів зрізу, де поряд із товщиною зрізу необхідно вказувати інтервали часу між контактами кромок із припуском та відсоток різальних серед їх загальної кількості. Запропонована методика дає змогу враховувати усі кінематичні складники та відносну орієнтацію інструмента. Отримані теоретичні залежності параметрів зрізів від режиму шліфування. Побудовані графіки впливу режимних параметрів на параметри зрізів. У разі збільшення швидкості різання зменшуються інтервали між контактами, товщина зрізів, відсоток різальних кромок, що не суперечить відомим експериментальним даним. Методика дає змогу врахувати вплив зміни стану робочої поверхні круга та забірною конуса через зношення інструменту на енергетичну насиченість процесу.*

*Розрахунки доводять, що інтервали часу між контактами для зустрічної обробки є більшими, ніж для попутної, звідси і відповідна товщина зрізів. У разі збільшення швидкості різання зменшуються товщина зрізів та частка різальних кромок.*

**Ключові слова:** нормальна швидкість, імовірність, математичне сподівання, дисперсія, товщина зрізу, інтервали часу між контактами, відсоток різальних кромок.

**Постановка проблеми.** Відомо, що рівняння товщини зрізу є основним у теорії шліфування [1–3; 5] та визначає низку параметрів процесу, таких як продуктивність, якість, силова та теплова напруженість, потужність, зношення інструмента.

До останнього часу універсальної просторової моделі, яка враховує розподіл товщини зрізів та умови переходу від пластичного деформування до різання, не існує, є лише плоска, яка спрощено може бути використаною для поздовжнього шліфування. Навіть для цих умов варто враховувати вплив утвореного зношенням забірною конуса на інструменті та, відповідно, поздовжньої подачі, що важливо, наприклад, для умов глибинного

шліфування. Це підкреслює актуальність досліджень.

Разом із товщиною зрізу доцільно визначати інтервали часу між контактами та відсоток різальних кромок серед тих, що контактують.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемою ефективного шліфування поверхонь займалися вітчизняні та радянські вчені, серед яких В.В. Гусев, Ю.В. Петраков, П.Р. Родин, Л.Н. Филимонов [1–5] та інші.

**Постановка завдання.** Метою статті є визначення параметрів зрізів (інтервалів часу, товщини та відсотка різальних кромок) для найбільш поширеного та дослідженого процесу шліфування

поверхонь обертання при зустрічному або попутному напрямках подачі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З огляду на ординарність контактів різальних кромок із металом (по одній, а не парами), їхню імовірну кількість  $m$  за законом Пуассона із параметром  $a_k$  можна визначити як [2; 6]:

$$P(m, a_k) = \frac{a_k^m}{m!} \cdot e^{-a_k}, \quad (1)$$

де  $m$  – число різальних кромок, що вступило в контакт із металом. За відсутності контакту  $m=0$ :

$$P(0, a_k) = e^{-a_k}, \quad (2)$$

Параметр стаціонарного закону Пуассона  $a_k$  визначає число подій-контактів за проміжок деякого часу  $\tau_k$ . Цей параметр знаходять множенням питомої кількості кромок  $N(z_k)$  на одиниці довжини РПК глибиною, меншою  $z_k$ , на пройдений шлях  $L = \tau_k \cdot v_{кр}$ , де  $v_{кр}$  – швидкість різання.

Для нестационарного потоку Пуассону параметр  $a_k^*$  є змінним за часом:

$$a_k^* \approx \tau_k \cdot v_{кр} \cdot \int_0^{\tau_k} N(x(\tau)) \cdot d\tau, \quad (3)$$

де  $0 \leq x(\tau_k) \leq 1$  – відносна глибина проникнення металу щодо висоти профілю РПК:

$$x(\tau_k) = \frac{1}{H_n} \cdot \int_0^{\tau_k} V_n(\tau) \cdot d\tau, \quad (4)$$

де  $V_n(\tau)$  – проекція вектора швидкості  $\vec{V}$  відносного руху заготовки виражена у функції часу  $\tau$  на напрям нормалі  $\vec{n}$  до поверхні інструмента,  $H_n$  – висота профілю РПК, мкм. Інтегральна функція положення кромок за висотою  $H_n$  пов'язана з  $N(x_k)$  співвідношенням [1]:

$$N(x(\tau_k)) = N_n \cdot F(x(\tau_k)), \quad (5)$$

де  $N_n$  – питома число кромок на одиниці довжини РПК ( $\text{мм}^{-1}$ ).

Отже, імовірність того, що жодне зерно не вступило в контакт із металом,  $m=0$  за час  $\tau_k$ , що визначають:

$$P_0(\tau_k) = P(0, a_k^*) = e^{-a_k^*} = e^{-\tau_k \cdot v_{кр} \cdot \int_0^{\tau_k} N(x(\tau)) \cdot d\tau}, \quad (6)$$

Імовірну кількість кромок  $N(z_k)$ , які знаходяться на одиниці довжини РПК глибиною, не більшою  $z_k$ , можна, наприклад, визначити з рівняння [1] для закону бета-розподілення:

$$N(x_k) = N_n \cdot F(x_k) = N_n \cdot A_z \cdot \int_0^{x_k} t^{\gamma_z-1} (1-t)^{\eta_z-1} dt, \quad (7)$$

де  $\gamma_z, \eta_z, A_z = \frac{\Gamma(\gamma_z + \eta_z)}{\Gamma(\gamma_z) \cdot \Gamma(\eta_z)}$  – параметри та постійний коефіцієнт для закону бета-розподілення [1], що характеризують число кромок за висотою  $z$ ;  $t$  – робоча змінна,  $x_k$  – безрозмірна глибина,  $\Gamma(\eta_x)$  – гама функція.

Отже, імовірність відсутності контакту кромки з металом визначають:

$$P_0(\tau_k) = e^{-a_k} \approx \exp(-N_n \cdot \tau_k \cdot v_{кр} \cdot 10^3 \cdot A_z \cdot \int_0^{\tau_k} N(x_k) \cdot d\tau), \quad (8)$$

Із використанням стандартної функції пакету програм MathCAD це рівняння можна записати у вигляді:

$$P_0(\tau_k) = \exp(-N_n \cdot (\tau_k \cdot v_{кр} \cdot 10^3) \cdot pbeta(x_k)), \quad (9)$$

Для знаходження елементу імовірності та щільності розподілення варто провести диференціювання рівняння (9) за часом  $\tau$ . Використовуючи правила похідної добутку та складної функції після спрощень, отримують:

$$\left. \frac{dP_0(\tau)}{d\tau} \right|_{\tau=\tau_k} = -P_0(\tau_k) \cdot N_n \cdot v_{кр} \cdot 10^3 \cdot \left\{ F(x(\tau_k)) + \tau_k \cdot f(x(\tau_k)) \cdot \frac{V_n(\tau_k)}{H_n} \right\}, \quad (10)$$

Тут  $F(x)=pbeta(x)$ ;  $f(x)=dbeta(x)$  – функція та щільність розподілення кромок за висотою РПК для закону бета-розподілення,

$$\frac{dX}{dz} = \frac{1}{H_n}, \quad \frac{dz}{d\tau} = V_n(\tau), \quad X(\tau_k) = \frac{\int_0^{\tau_k} V_n(\tau) \cdot d\tau}{H_n}, \quad \frac{V_n(\tau_k)}{H_n}$$

– відносна висота та нормальна швидкість, зараховані до висоти профілю  $H_n$  РПК;  $\tau$  – деякий час у межах  $\tau_k$  проходження кромкою області контакту.

Далі визначають математичне сподівання  $MO$  та дисперсію (або  $СКВ$ ) інтервалів часу  $\Delta\tau_k$  між контактами кромок за відомими правилами [7]:

$$\begin{aligned} m_{\Delta\tau}(\tau_k) &= \int_0^{\tau_k} \tau \cdot \frac{\partial P_0(\tau)}{\partial \tau} \cdot d\tau, \quad a \\ D_{\Delta\tau}(\tau_k) &= \int_0^{\tau_k} \tau^2 \cdot \frac{\partial P_0(\tau)}{\partial \tau} \cdot d\tau \end{aligned}, \quad (11)$$

Таким чином, ймовірність контакту із припуском є функцією від проміжку часу; проявляються статистичний (марка, стан РПК  $A_z, N_n, H_n$ ) та кінематичний ( $v_{кр}, v_n$ ) ефекти [1] (рис. 1).

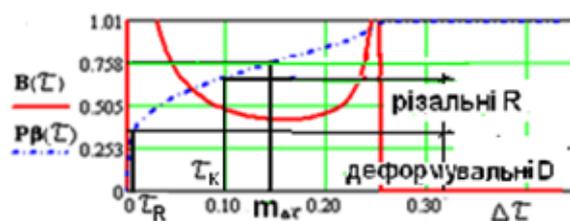


Рис. 1. Функція  $PB(\tau)$  та щільність  $B(\tau)$  розподілення інтервалів часу

Ці графіки побудовані для умов круглого поздовжнього шліфування з параметрами розсіювання  $m_{\Delta\tau} = 15$  мкс,  $\sigma_{\Delta\tau} = 0,16$  мкс.

На рисунку 2 представлені графіки наведених залежностей.

Виконання умов необхідних для переходу кромки від пластичного деформування до різання, за сучасними уявленнями, описують так званим *визначальним* рівнянням при існуванні

конкретних значень тиску на задніх поверхнях кромки, який дорівнює межі міцності оброблюваного матеріалу, однак ці умови автори не уточнюють.

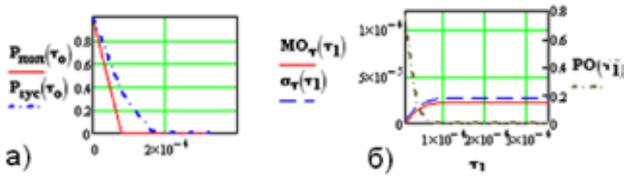


Рис. 2. Імовірності зникнення контакту (а) МО та СКВ інтервалів між контактами для зустрічного та попутного шліфування (б)

Під товщиною зрізу  $A_z$  [4] розуміють найбільшу відстань між сусідніми положеннями поверхонь різання, яку спрощено можна оцінити добутком  $V_{n \cdot \max} \cdot m_{\Delta t}$ . З точки зору інтенсивності обробки режими є еквівалентними, якщо ці відстані однакові. Нормальна швидкість, на думку авторів, – більш зручний показник інтенсивності, ніж питома продуктивність, бо враховує усі кінематичні складники та описує локальну інформацію.

У роботі [5] отримані рівняння для знаходження нормальної швидкості для зустрічної та попутної подач, отже:

$$A_z = V_{n \cdot \max} \cdot m_{\Delta t} + \Delta Z_{\max}, \quad (12)$$

Додаткове заглиблення кромки щодо рівня найбільш виступаючих поверхонь, зумовлене їх різним положенням за висотою РПК, визначають за правилом математичного сподівання (МО):

$$\Delta z(x_k) = H_n \cdot \int_0^{x_k} t^* f(t) \cdot dt, \quad (13)$$

де  $f(t) = A_x \cdot t^{\gamma_x - 1} (1 - t)^{\gamma_x - 1} = dbeta(t)$  – щільність розподілення положення кромки за висотою РПК,  $t$  – робоча змінна.

Динаміка зміни заглиблення припуску вглиб РПК за кутом обертання деталі (без урахування впливу забірною конусу прилегло до торця з боку подачі) визначається скалярним добутком векторів нормалі та швидкості відносного руху [5], отже,

$$V_n(\theta) = \omega_\partial \cdot (R + r) \cdot \sin \theta \approx V_\partial \cdot \left[ 1 + \frac{R}{r} \right] \cdot \theta, \quad (14)$$

З урахуванням усіх кінематичних складників поздовжнього та урізного шліфування:

$$V_{n \cdot \text{ноз}} = \omega_\partial \cdot \{ (R + r) \cdot \theta_n + t_0 + S_0 \cdot \alpha \}, \quad (15)$$

де  $\theta_n = \theta_2 - \theta_1 = \sqrt{\frac{2r \cdot t_0}{R + (R + r)}} + \frac{\alpha \cdot S_0}{R + r}$  – найбільше значення кута контакту круга з припуском та його межі,  $t_0, S_0$  – радіальна та поздовжня подачі на оберт [3; 6],  $R, r$  – радіуси круга та деталі;  $\alpha$  – кут профілю.

Визначимо величину проникнення кромки вглиб заготовки за час повороту деталі на деякий центральний кут  $\phi_1$ , в межах розмірів контакту  $\phi_n$ . Використовуючи співвідношення  $\tau_1 = \phi_1 / \omega_\partial$  та  $d\tau = d\phi / \omega_\partial$  для зустрічної та попутної подач отримують:  $z^{\text{звч}} = \int_0^{\tau_k} V_n(\tau) d\tau$ . Для попутної обробки змінюються напрям обертання деталі і границі інтегрування:

$$z^{\text{звч}}(\phi_1) = \int_0^{\phi_1} \left[ \omega_\partial \cdot (R + r) \cdot \left( \frac{r}{R} \cdot \phi \right) \right] \frac{d\phi}{\omega_\partial} = (R + r) \cdot \frac{r}{R} \cdot \frac{\phi_1^2}{2}, \quad (15)$$

$$z^{\text{нон}}(\phi_1) = \int_{(\phi_n - \phi_1)}^{\phi_n} V_n d\phi = (R + r) \cdot \frac{r}{2 \cdot R} \cdot [2 \cdot \phi_n \cdot \phi_1 - \phi_1^2]$$

Вплив режимних параметрів на товщину зрізу для умов поздовжнього шліфування із зустрічною подачею наведений на рисунку 3.

Частку (або відсоток) різальних кромки серед тих, що контактують  $\%_p$ , визначають відношенням ординат (рис. 1). При цьому відношення інтегральних функцій збільшує до 100% частку тих кромки, які контактують. З огляду на прийняті позначення отримують:

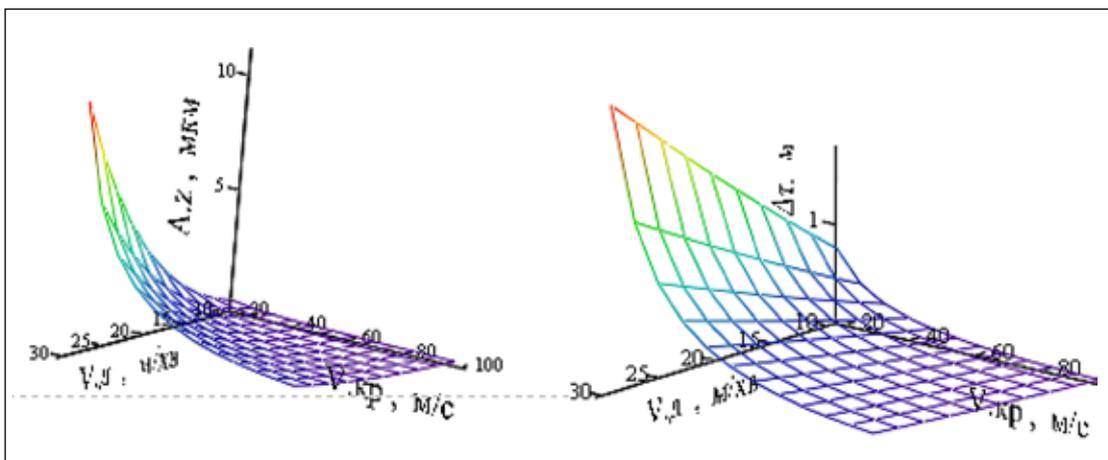


Рис. 3. Вплив режимів ( $V_n, V_{кр}$ ) на товщину зрізів та інтервали часу між контактами для зустрічного шліфування

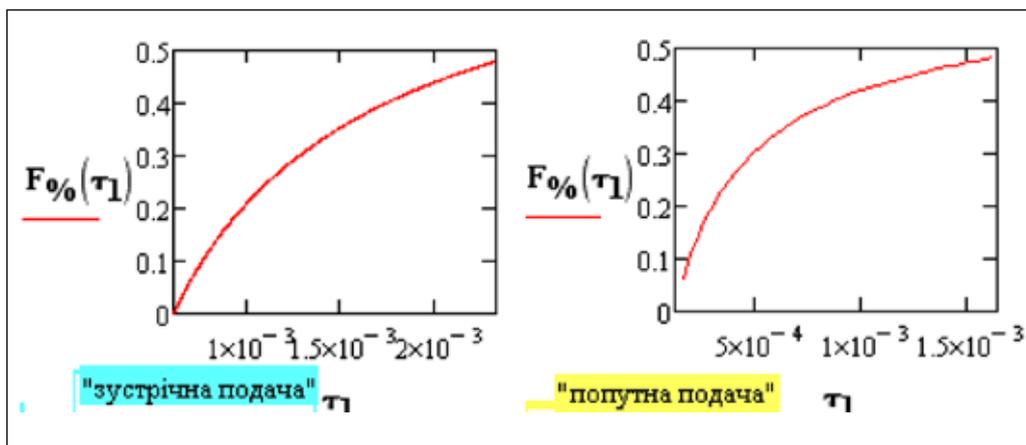


Рис. 4. Зміна відсотку різальних кромок для зустрічної (а) та попутної (б) подач протягом часу обробки

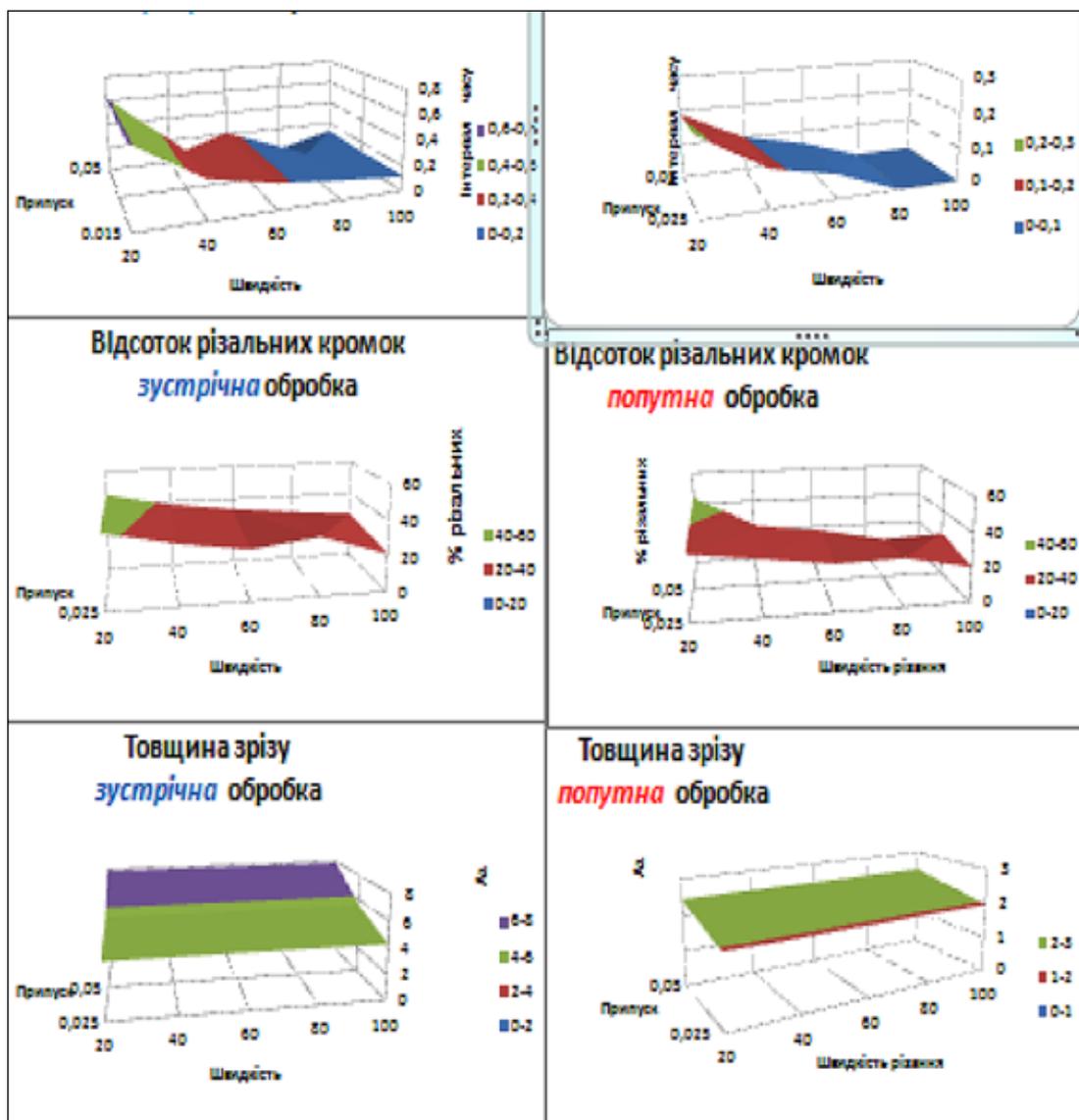


Рис. 5. Розрахунок зміни середнього часу між контактами, товщини зрізів та частки різальних кромок від глибини та швидкості різання для кругів марок 40СМ1 (б) у стані після правки

$$\%_p = 100 * (pbeta(\tau_k) - pbeta(\tau_R)) / pbeta(\tau_k),$$

або

$$\%_p = 100 * (1 - \frac{pbeta_\tau(\tau_R)}{pbeta_\tau(\tau_k)}), \quad (16)$$

Змінюючи біжучу межу  $\tau_k$  можна знайти для різних напрямів подачі відсоток різальних кромок (рис. 4). Графіки наведені для режимних параметрів: круг марки 25СМ1 після правки, швидкості різання та подачі, відповідно,  $V_{кр} = 50 \text{ м/с}$ ;  $V_d = V_{кр}/60$ ;  $t = 0,05 \text{ мм}$ .

Як бачимо, характер залежності лишився той самий у разі зміни інтервалів між контактами.

Вплив режимів шліфування на параметри зрізаного шару наведений на рисунку 5.

**Висновки.** Результати розрахунків параметрів процесу шліфування не суперечать прийнятим науковим міркуванням. Результати розрахунків дають змогу визначати інтервали часу між контактами кромок за кутом повороту деталі, частку

різальних серед загальної їх кількості та товщину зрізів. Як вхідні дані враховані марка та стан РПК, глибина та швидкість різання, напрям подачі. Питання точного визначення часу  $tR$  переходу від деформування до початку різання значно впливає на перераховані показники, тому потребує подальшого уточнення.

Розрахунки доводять, що *інтервали часу між контактами* для зустрічної обробки є більшими, ніж для попутної, тому відповідна товщина зрізів є більшою. У разі збільшення швидкості різання  $v_k$  зменшується товщина  $a_z$  зрізів, частка різальних кромок, що не суперечить експерименту. Вплив забірною конуса через знос інструменту може бути врахованим.

Стан РПК при затупленні, або зернистість, зменшує висоту профілю, або відстані між кромками, що викликає зменшення часу між контактами, товщину зрізу, відсоток різальних кромок.

#### Список літератури:

1. Филимонов Л.Н. Высокоскоростное шлифование. Львів : Машиностроение, 1979. 248 с.
2. Гусев В.В. О распределении параметров срезов при глубинном круглом шлифовании периферией круга. *Резание и инструмент в технологических системах*. 2003. № 65. С. 37–47.
3. Петраков Ю.В. Управління процесами шліфування. Київ : КПІ, 2018. 216 с.
4. Родін П.Р. Основи формоутворення поверхонь різанням. Київ : Вища школа, 1997. 192 с.
5. Рудик А.В., Венжега В.І. Продуктивність високоефективного поздовжнього та глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованого абразивного інструменту. *Вісник ЧНТУ*. 2015. № 1(77). С. 59–64.
6. Рудик А.В. Визначення товщини зрізу кромкою круга із врахуванням стану поверхні інструмента та кінематики. *Вісник ЧНТУ*. 2016. № 1(3). С. 65–73.
7. Корн М. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Москва : «Наука», 1985. 720 с.

#### Rudik A.V., Pasov G.V. DEPENDENCE OF CUTTING SURFACE PARAMETERS FROM SURFACE GRINDING MODES

*The cutting parameters determine the energy and economic performance of the grinding process. The contact intensities of the cutting edges of the abrasive tool with an assumption are in accordance with the Poisson law. This allows us to find an element of probability, but based on it, mathematical expectation and variance.*

*So, you can simulate the law of changing the time intervals between contacts on the time of cutting and the percentage of those where the conditions of cutting are fulfilled. On the other side, a projection was obtained on the normal to the instrument surface relative speed of the workpiece. This allows us to find the normal speed of known methods for both associated filing directions. The cutting layer thickness is the largest distance between the adjacent cutting surfaces. The kinematic components and different positions of the edges are considered in relation to the most convex edges.*

*A list of cutting parameters is completed, with the thickness of the cut, it is necessary to specify the time intervals between the contacts of the edges with the allowance and the percentage of cutting ones among their total number Under rotation surfaces grinding. The proposed method allows to take into account all kinematic components and relative orientation of the tool. The theoretical dependences of the cut-off parameters on the grinding regime are obtained. Constructed graphs of influence regime parameters with section parameters. With increasing cutting speeds, the cutting layer thickness, the proportion of cutting edges are turn down. It does not contradict the known experimental data.*

*The method allows to take into account the influence of the change in the state of the working surface of the wheel and the cone through the wear of the instrument on the energy saturation of the process.*

*The calculations prove that the time intervals between the contacts for counter-processing are larger than for the adjacent, therefore the corresponding thickness of the sections. With increasing cutting speed decrease time intervals between contacts, the cutting layer thickness and the proportion of cutting edges.*

**Key words:** normal speed, probability, mathematical expectation, variance, cutting layer thickness, time intervals between contacts, percentage of cutting edges.

## АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

UDC 621

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/03>

**Rahulin S.V.**

Flight Academy of the National Aviation University

**Syroizhka I.O.**

Flight Academy of the National Aviation University

### NEW APPROACHES OF FACTORS CLASSIFICATION WHICH AFFECT THE RELIABILITY OF AIRCRAFT

*The article examines the methods and approaches to the qualification of factors targeted at their influence on the aircraft reliability. Approaches are evaluated with the view of the possibilities of their practical implementation and the prevention of the appearance of defects on aviation equipment.*

*All factors that characterize the actual operating conditions and affect the technical condition of the aircraft, can be divided into two groups: objective and subjective. On the other hand, the factors that influence the change in the technical condition of the aircraft can be divided into design-manufacturing, which determine the initial quality of objects, and operational, which reflect the change in the technical condition during operation. Operational factors play a decisive role in changing the technical condition and reliability of aircraft, because the level of reliability of aircraft equipment is determined during the operation. Operational factors can be divided into 3 groups: groups of loading (objective) factors; groups of ambient conditions (factors); human factor groups. Operational factors determine a wide variety of processes that change the technical condition of objects and lead to complete or partial loss of performance. There are three main types which degrade device performance capabilities: fast-flowing processes, medium-speed processes and slow-flowing processes. Fast-flowing processes end within the machine cycle and have a periodicity of change, which is usually measured in fractions of seconds. The medium-speed processes take place during the continuous operation of the machine and their duration is usually measured in minutes or hours. Slow-flowing processes take place throughout the entire period of operation. The variety and stochastic nature of the influence of operational factors on the objects of aviation technique lead to the fact that with the same lifetime or service life the objects have a different actual technical condition, which, naturally, should be taken into account when developing strategies for the maintenance and repair of these objects.*

**Key words:** aviation technique, reliability, factors, operational factors, loads, processes, flight safety.

**Problem setting.** Always in all airlines of the world in the first place is the safety of flights (transportation of goods, passengers, etc.). A very important role is played by the maintenance of aviation equipment; it is a complex dynamic stage of operation that includes a number of interrelated functional processes [1].

During the operation of the aircraft, their units, aggregates and parts are constantly influenced by a number of factors that affect their technical condition in a different way, and therefore their operational reliability and performance.

**Analysis of recent research and publications.** The most significant results in this direction are reflected in the work on automating the aircraft maintenance system and improving the reliability of

aviation equipment (A.A. Komarov, R.M. Salimov, N.N. Smirnov, A.A. Tamargazin), on engineering psychology and the human factor (V.G. Denisov, M.A. Kotik, B.F. Lomov, V.V. Pavlov, A.V. Skripets, G.P. Shibanov).

Maintenance products are not any new products, but completed works provided for by the manufacturing task. The maintenance quality reflects the labor quality of engineering and technical personnel of aircraft maintenance facility [2].

The labor quality is influenced by a significant number of factors. The main groups of factors that have a decisive influence on the labor quality of the maintenance personnel [3].

Nowadays, methods and models describing the maintenance processes, in particular, on the basis of

semi-Markov processes with a finite set of states [4], the generalized structural method [5], the use of game theory [6], the plotting and analysis of causative-consecutive graphs [7], situation evaluation trees [8].

In reference textbook [9], the study of the aircraft reliability is reduced to considering the reliability of the aircraft, taking into account the activities of the maintenance personnel.

However, today this task remains unresolved, since the approaches to its analysis are very diverse and depend on a correct, competent analysis of the specific situation and the conclusions of research.

**Task setting.** Further research requires a return to the classification of operational factors affecting the aircraft reliability. It is the correct prioritizing and its influence, competent research trends and in-depth analysis of the obtained results that can solve a specific problem.

The difficulty is in detailing the conditions for determining the object of research. However, the use of deterministic approaches in combination with the correct modeling techniques can greatly facilitate research.

**Statement of basic materials.** All factors that characterize the actual operating conditions and influence the technical condition of the aircraft can be divided into two groups: objective and subjective.

The objective are: the influence of the environment, mechanical and other external actions on the structural elements and components of functional systems.

The subjective include those that are to some extent dependent on the person. This could include the construction scheme solutions for the design; selection of materials and design elements; normal operation modes; strategy, methods and maintenance conditions, etc. As a rule, these factors are the causes of sudden failures.

On the other hand, the factors that influence the change of the technical condition of the aircraft can be divided into design-manufacturing, which determine the initial qualities of the objects, and operational, which reflect the change in the technical condition during operation.

The design-manufacturing factors include:

- selection of schematic and design solutions, elements and materials;
- manufacturing technology of parts and units, assembly and testing of objects;
- manufacturing quality;
- characteristics of ongoing and output controls.

Operational factors play a decisive role in changing the technical condition **and aircraft reliability. It**

**is during the operation that the level of this reliability is determined.**

Aircraft are operated in specific conditions that are significantly different from the work of overland transport. This specificity is outlined as follows:

- a significant complication of working conditions, that is, an increase in the number of active loads and their absolute values (temperature, pressure, vibration, etc.);
- rapid change in time and space of factors acting on the aircraft (voltage, temperature);
- a wide range of changes in these factors (aerodynamic loads, overloads, temperatures, etc.).

Classification of operational factors that affect the technical condition of the aircraft and engine

Operational factors can be divided into several groups [10].

**Groups of loading (objective) factors**, h.e. factors associated with the characteristics of the aircraft use and the conditions of its flight operation:

1. **External load**: aerodynamic loads, overloads, pressures, vibrations, acoustic loads, aerodynamic heating, heating from a operating power plant, electrical loads.

2. **Modes of operation** of aircraft engines and functional systems.

**Group of ambient conditions (factors)**:

1. **Environmental withstand**. These include temperature, pressure and humidity of atmospheric air, their daily and annual fluctuations, changes and differences in height and length of the route, precipitation (rain, snow, ice, fog), air saturation with aggressive substances (salt, alkali, etc.).

2. **Conditions that characterize the state of the airfields**: dustiness of the atmosphere, quality of coverage of runways and taxiways, degree of their purity, presence of precipitation on them, etc.

3. **Biological factors**: mold, insects, rodents, birds. Mold causes rotting of materials of organic origin. Rodents and insects litter systems and aggregates, eat insulation, processing details, etc. Birds get into the engine, damage the glazing and coating.

**Human factor group**:

1. **Flight operation conditions, flight crew performance**: the number of takeoffs and landings, the use of flight modes and engine operating modes, the ability to act correctly in abnormal operations and specific flight conditions, the ability to adequately prepare for flight and correct computation of it, etc. These factors depend on the level of training and preparation of flight personnel.

2. **Maintenance quality**: organization of operation, qualification of the engineering and technical personnel,

quality and timeliness of maintenance and repair work, special characteristics of transportation and storage.

During maintenance, on the one hand, the condition of the systems, units and aircraft assemblies are improved and malfunctions are prevented (oil refilling, monitoring of parameters, etc.), while, as a result of poor-quality work, their technical condition may deteriorate and even a malfunction can appear.

Depending on the nature of the impact on the technical condition of the units and systems, two more separate groups of factors can be identified.

1. The initial quality of materials that are used (fuel and lubricants, etc.): the degree of oxidation and aging, contamination by foreign particles, the presence of moisture, etc.

2. Temporary material changes. This is primarily an aging process, that is, a process of slowly changing the physicochemical properties of materials. The speed of the aging process can change under the influence of ambient factors: heat, vibration, oxygen, ozone, moisture, etc.

For many materials, the aging process proceeds without visible signs of deterioration in the properties of materials. These changes accumulate and in some cases can lead to sudden damage. To the greatest extent aging materials are amenable to materials of organic origin.

In each of the three states in which an aircraft can be (in flight, on the ground, during maintenance), a specific group of factors to a given state affect its systems and aggregates, and the degree of influence of these factors is different.

Thus, in flight, operational factors associated with the peculiarities of the application and the conditions of its flight operation, climatic factors and factors connected with the flight crew operation, quality of fuel and lubricants act on the systems, units and parts of the aircraft.

The factors that affect the aircraft on earth include climatic, biological, hourly factors, the state of airfields, etc.

The influence of operational factors on the technical condition of objects is in the form of deviations from the nominal of their parameters as a result of wear, aging of parts and misalignment of aggregates. These factors are the causes of slow failures.

**Classification based on the principle of uniformity of the physical essence of damage processes.** All the above-mentioned operational factors cause a wide variety of processes that change the technical condition of objects and lead to complete or partial loss of efficiency. There are three main types of deteriorating

a device performance: fast-flowing processes, medium-speed processes and slow-flowing processes. Each of them deserves separate attention [11].

Fast-flowing processes have a rate of change reoccurrence, which is usually measured in fractions of seconds. These processes end within the machine cycle and reappear during the next cycle. These include the vibration of units, the change in friction forces in moving joints, fluctuations in workloads, and other processes that affect unit's collocation at any specific time and distort the machine's work cycle. The origination of fast-flowing processes is due to complex physical interactions that occur during the operation of mechanisms, friction in guide elements, etc. On an aircraft, vibrations caused by nonequilibrium of engines masses and units that rotate can be attributed to fast-flowing processes; pipeline vibrations due to both mechanical vibrations and parametric excitation; changes in friction forces in bearings, moving parts of units, for example, pumps; pressure pulsation of the working fluid as a result of its uneven representation by pump; acoustic oscillations that are caused by the exhaust gas stream.

The medium-speed processes take place during the continuous operation of the machine and their duration is usually measured in minutes or hours. They lead to a unvaried change in the initial parameters of the machine. This causes the occurrence of parametric or slow malfunctions and failures.

Examples include changes in ambient temperature and temperature of service fluid in systems during the flight; change in the temperature of the working units of engines and body; change in air pressure inside and outside of pressure cabins. All of these changes are reversible processes.

Among the irreversible processes of this type, we can call the process of changing the physical properties of the working fluid, the progress of which accelerates with increasing temperature; changing the physical properties of organic materials, rubber and other processes.

Slow-flowing processes take place throughout the entire period of operation. Such processes include systematic wear of all working items that experience friction; wear out of bearings; structural elements of the airframe, units, pipelines, joints; corrosion; aging of rubber products, plastics, etc.

These processes have an impact on the tedious strength of materials, the accuracy of the units and mechanisms operation, changes in the engines, pumps and other products efficiency.

It should be emphasized that all these changes occur relatively slow and are characterized by random

functions, which are characterized by spreading of the values of the corresponding parameters. Therefore, for their study and analysis is used the mathematical tool of probability theory, mathematical statistics and the theory of random functions.

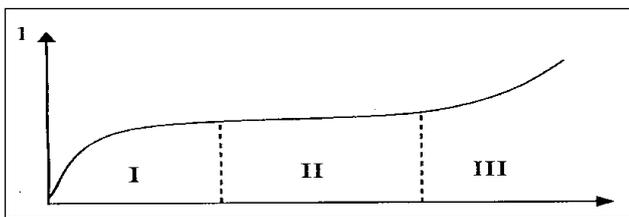
Thus, the change in the parameters and characteristics of elements in time is a consequence of the physicochemical processes that occur in them. The process of occurrence of a failure is, as a rule, a certain hour process, the internal mechanism and the speed of which is determined by the properties of the material, stresses, and the influence of climatic and other factors.

The variety and stochastic nature of the influence of operational factors on the objects of aviation technology lead to the fact that with the same operating time or service life, the objects have a different actual technical condition, which, obviously, should be taken into account when developing strategies for the maintenance and repair of these objects.

Depending on the acting loads and the physical nature of the processes that occur, typical failures and damage to aviation equipment products can be classified into such groups:

1. Cracks, deformations and damage caused by the action of repeated loads during operation. These failures and damages are widespread in the form of fatigue cracks. They appear in the skin and elements of the inner structural frame. Especially dangerous are cracks in the wing stiffen panels in localized loads area (for example, landing gear and flap attachment units), as well as in places of stress concentration (for example, changes in longeron thickness).

In general, the development of cracks has a character similar to wear out, with three distinct zones of their development intensity.



**Fig. 1. The typical pattern of development of the size of fatigue cracks in the airframe skin:**  
 $l$  – crack size;  $t$  – lifelength

The first zone is characterized first by a high and then gradually decreasing speed; the second zone is the period of sustainable crack development; the third zone is a catastrophic crack growth, which results in the damage of the element.

In operation, these processes are well studied and on the basis of a thorough analysis of the reliability and survivability of the structure, the maximum allowable crack sizes are established.

2. Damages represented by cracks, deformations and demolitions caused by cases of excessive loads are not local, but are common remaining damage of the construction main parts. Such overloads can occur as a result of rough landings, getting into a zone of thunderstorm activity and a turbulent atmosphere, unacceptable maneuvers, etc.

3. Corrosive damage as a result of the destruction of lacquer coating and other types of protective coatings.

4. Different types of mechanical wear out that occur during long-term influence of variable working loads (for example, backlashes of sliding and rivet joints, scuffing of constructional elements, etc.).

5. Malfunctions that occur as a result of aging of parts made of organic materials (glass, rubber, plastics, etc.). The aging process is stimulated by climatic factors (precipitation, temperature and its changes, solar radiation, humidity, etc.), environmental factors (saturation of the atmosphere with salts, dust, dirt, etc.). Usually this process is unseen and most often turns out to be in the form of sudden damage.

6. Various mechanical damage of the skin, floors and other elements caused by negligence during maintenance, commercial activities, repair, etc.

**Conclusions.** Thus, from the represented considerations, the interaction and interweaving of known causes and operational factors can be seen.

To build a reasonable structural model of their mutual influence, more in-depth researches are needed.

Moreover, their direction should be based on a determining influence with limited TBO (time between overhaul) and SLL (service life limit).

#### References:

1. Человеческий фактор. Сборник материалов № 12. «Роль человеческого фактора при техническом обслуживании воздушных судов» (циркуляр 253-AN/151/ИКАО/), 1995.
2. Рекомендация по совершенствованию системы управления качеством технического обслуживания авиационной техники в АТБ гражданской авиации. Москва : «Воздушный транспорт», 1986. 48 с.
3. Техническая эксплуатация летательных аппаратов : Учебник для вузов / Н.Н. Смирнова, Н.И. Владимиров, Ж.С. Черненко и др. Под ред. Н.Н. Смирнова. Москва : Транспорт, 1990. 423 с.
4. Каштанов В.А. Полумарковские модели процесса технического обслуживания. Москва : Знание, 1984. 104 с.

5. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Львов : Наука, 1982. 269 с.
6. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. Москва : Машиностроение, 1975. 396 с.
7. Галактионов А.И. Основы инженерно-психологического проектирования АСУ ТП. Москва : Энергия, 1978. 160 с.
8. Шибанов Г.П. Количественная оценка деятельности человека в системах человек, техника. Москва : «Машиностроение», 1983. 263 с.
9. Надежность и эффективность в технике : Справочник: В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред) и др. Москва : Маш-ние, 1986. Т. 1. Методология. Организация. Терминология / В.С. Авдеевский и др. Под ред. А.И. Рембезы, 1986. 223 с.
10. Смирнова Н.Н., Ицкович А.А. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Транспорт, 1987. 272 с.
11. Смирнов Н.Н., Чинючин Ю.М. Эксплуатационная технологичность летательных аппаратов. Учебное пособие для вузов. Москва : Транспорт, 1994. 256 с.

### **Рагулін С.В., Сиройжка І.О. НОВІ ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА НАДІЙНІСТЬ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ**

*У статті досліджуються методи та підходи до кваліфікації факторів, орієнтованих на їх вплив на надійність повітряних суден. Підходи оцінюються на вигляд можливостей їх практичної реалізації і запобігання появи дефектів в авіаційній техніці. Всі фактори, які характеризують реальні умови експлуатації і впливають на технічний стан повітряного судна, поділяємо на дві групи: об'єктивні і суб'єктивні. З іншого боку, фактори, які впливають на зміну технічного стану повітряного судна, можна розділити на конструктивно-виробничі, які визначають початкові якості об'єктів, та експлуатаційні, що відображають зміну технічного стану у процесі експлуатації. Вирішальну роль у зміні технічного стану та надійності повітряних суден надають експлуатаційні фактори, тому що у процесі експлуатації і визначається рівень надійності авіаційної техніки. Експлуатаційні фактори можна поділити на 3 групи: група навантажувальних (об'єктивних) факторів; група зовнішніх умов (факторів); група людського фактора. Експлуатаційні чинники зумовлюють широке розмаїття процесів, які змінюють технічний стан об'єктів і призводять до повної або часткової втрати працездатності. Виділяють три основних види погіршують працездатність пристроїв: швидкоплинні процеси, процеси середньої швидкості та повільно поточні процеси. Швидкоплинні процеси закінчуються в межах циклу машини і мають періодичність зміни, що вимірюється зазвичай частками секунд. Процеси середньої швидкості проходять за час безперервної роботи машини і їх тривалість вимірюється зазвичай у хвилинах або годинах. Повільні процеси проходять протягом усього періоду експлуатації. Різноманіття і стохастичний характер впливу експлуатаційних факторів на об'єкти авіаційної техніки призводять до того, що за одного і того самого напрацювання або тривалості експлуатації об'єкти мають різний фактичний технічний стан, що, природно, має враховуватися у розробці стратегій технічного обслуговування і ремонті цих об'єктів.*

**Ключові слова:** авіаційна техніка, надійність, фактори, навантаження, експлуатаційні фактори, процеси, безпека польоту.

# ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.311

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/04>**Артеменко М.Ю.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Каплун В.В.**

Національний університет біоресурсів та природокористування України

**Бобровник В.М.**

Київський національний університет технологій та дизайну

## ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ПОВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОЇ ЧОТИРИПРОВІДНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗА ВІДОМИМИ АКТИВНИМИ ТА РЕАКТИВНИМИ ПОТУЖНОСТЯМИ ОКРЕМИХ ФАЗ

*Споживачі трифазних систем електроживлення з нелінійним та несиметричним характером навантаження погіршують електромагнітну сумісність електричних мереж та збільшують втрати електроенергії. Нормативна методика розрахунку втрат електроенергії враховує лише активну та реактивну складові частини, які пропорційні відповідним потужностям, не обліковуючи належним чином потужності несиметрії (небалансу) та спотворення. Метою даної роботи є одержання аналітичних виразів для кожної зі складових частин повної потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення, що формують загальні втрати електроенергії, за відомими значеннями активних та реактивних потужностей окремих фаз. Методами теорії електричних кіл одержані нові аналітичні вирази для складової частини повної потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення, що зумовлена основною гармонікою струму нейтралі та потужністю спотворення за відомими значеннями активних та реактивних потужностей окремих фаз, які можуть бути використані для розрахунку додаткових витрат електричної енергії в електричних мережах без зміни метрологічної бази споживача. У наведеному прикладі з несиметричним лінійним навантаженням показано, що складова частина повної потужності першої гармоніки струму нейтралі перевищує потужність небалансу в усьому діапазоні зміни параметра навантаження. Приклад з несиметричним нелінійним навантаженням проілюстрував, що зазначені складові частини повної потужності та потужність спотворення можуть перевищувати активну потужність навантаження, чим суттєво знижують коефіцієнт потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення. Врахування усіх складових частин повної потужності в нормативно-правовій базі обліку витрат електричної енергії стимулюватиме споживачів до вживання організаційних та технічних заходів щодо покращення електромагнітної сумісності системи електроспоживання.*

**Ключові слова:** складові частини повної потужності, втрати електроенергії, трифазна чотирипровідна система електроживлення, електромагнітна сумісність, коефіцієнт потужності.

**Постановка проблеми.** З розвитком електроенергетики та широкого впровадження засобів напівпровідникової техніки зростає кількість споживачів трифазних систем електроживлення з нелінійним та несиметричним характером навантаження, що знижує електромагнітну сумісність трифазних систем та веде до зростання втрат енергії в електричних мережах [1; 2]. Однак, згідно з

чинними нормативними актами [3; 4], методика розрахунку витрат електроенергії враховує лише покази засобів обліку про спожиту активну та реактивну енергії, які пропорційні відповідним потужностям. На цій поза увагою та оплатою залишаються потужності несиметрії (небалансу) та спотворення. Особливої гостроти проблема врахування додаткових витрат електроенергії

набуває в трифазних чотирипровідних системах електроживлення, де несиметрія навантаження та поява вищих гармонік струмів лінійних проводів збільшує сумарні витрати внаслідок зростання струму та теплового навантаження нейтралі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Авторами дослідження [5] запропонували часткове розв'язання проблеми врахування складових частин повної потужності, які не вимірюються, обґрунтувавши аналітичні вирази для потужності небалансу через значення активних та реактивних потужностей окремих фаз. Це розв'язує завдання врахування додаткових втрат електроенергії для трифазної трипровідної системи електроживлення з лінійним навантаженням, оскільки дозволяє без зміни метрологічної бази на стороні споживачів визначати розрахунковим шляхом потужність небалансу та враховувати усі складові частини втрат електроенергії з боку споживачів; шляхом зміни нормативної бази обліку витрат. Наявність таких змін стимулюватиме споживачів до вжиття організаційних та технічних заходів щодо вирівнювання навантаження фаз. Водночас залишається проблема визначення потужності спотворення та складової частини повної потужності, викликані струмом нейтралі трифазної чотирипровідної системи електроживлення.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є одержання аналітичних виразів для кожної зі складових частин повної потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення, що формують загальні втрати електроенергії, за відомими значеннями активних та реактивних потужностей окремих фаз.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до [6], що погоджується з сучасним стандартом [7], квадрат повної потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення за умов симетричної синусоїдної напруги та несиметричного в загальному випадку нелінійного навантаження визначається виразом

$$S^2 = 3U_\phi^2(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_N^2 r_N / r), \quad (1)$$

де  $U_\phi$  – діюче значення фазної напруги;  $I_A, I_B, I_C, I_N$  – діючі значення лінійних струмів та струму в нейтралі;  $r_N / r$  – відношення активних опорів нейтрального та кожного з лінійних проводів.

Покази ватметрів та результати вимірювань реактивної потужності адекватно відбивають енергетичні процеси трифазної чотирипровідної системи лише за умови синусоїдності струмів, коли останні можна представити комплексним вектором діючих значень основної гармоніки

$\begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix}^T$  та перейти до комплексного вектора діючих значень симетричних складових частин нульової (0), прямої (+) та зворотної (-) послідовностей:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_+ \\ \dot{I}_- \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \dot{a} & \dot{a} \\ 1 & \dot{a} & \dot{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix} = \mathbf{F}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$\text{де } \mathbf{F} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \dot{a} & \dot{a} \\ 1 & \dot{a} & \dot{a} \end{bmatrix} -$$

модифікована матриця Фортеск'ю [8], що задовольняє умовам  $\mathbf{F}^{-1} = \mathbf{F}^*$ ;  $\mathbf{F}^T = \mathbf{F}$ ;  $\dot{a} = e^{j2\pi/3}$ ;  $\dot{a} = (\dot{a})^*$ ;  $T$  та  $*$  – знаки транспонування та комплексного спряження відповідно.

Декомпозиція квадрату повної потужності трифазної чотирипровідної системи на квадратичні складові частини за умов симетричної синусоїдної напруги та несиметричного лінійного навантаження має вигляд [6]:

$$S_1^2 = P^2 + Q^2 + R^2 + T^2, \quad (3)$$

де  $P, Q$  – активна й реактивна потужності трифазної системи;  $R^2 = 3U_\phi^2 I_0^2$  – квадрат потужності пульсацій;  $T^2 = 3U_\phi^2 I_0^2 (1 + 3r_N / r)$  – квадрат так званої прихованої потужності.

За результатами вимірювання на частоті основної гармоніки активних  $P_{A1}, P_{B1}, P_{C1}$  та реактивних  $Q_{A1}, Q_{B1}, Q_{C1}$  потужностей окремих фаз навантаження безпосередньо можуть бути визначені відповідно до [6] лише перші дві складові частини формули (3):

$$P = P_{A1} + P_{B1} + P_{C1}; Q = Q_{A1} + Q_{B1} + Q_{C1}. \quad (4)$$

З урахуванням співвідношення  $P^2 + Q^2 = 3U_\phi^2 I_+^2$  [8], перегрупуємо доданки формули (3):

$$S_1^2 = P^2 + Q^2 + R^2 + 3U_\phi^2 I_0^2 (1 + 3r_N / r) = L_1^2 + N_1^2, \quad (5)$$

де  $L_1^2 = P^2 + Q^2 + R^2 + 3U_\phi^2 I_0^2 = 3U_\phi^2 (I_+^2 + I_0^2 + I_-^2)$  – частина квадрату повної потужності основної гармоніки струму, зумовлена струмами у лінійних проводах;  $N_1^2 = 9U_\phi^2 I_0^2 r_N / r$  – частина квадрату повної потужності основної гармоніки струму, зумовлена струмом у нейтралі.

На основі властивостей матриці  $\mathbf{F}$

$$I_0^2 + I_+^2 + I_-^2 = \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_+ \\ \dot{I}_- \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \dot{I}_0 \\ \dot{I}_+ \\ \dot{I}_- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix}^T \left( \mathbf{F}^{-1} \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix} \right)^* = \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{F} \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \dot{I}_{A1} \\ \dot{I}_{B1} \\ \dot{I}_{C1} \end{bmatrix} =$$

$$= I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2 \square I_0^2 = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1} \square \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1} \square = I_0^2 \square$$

тому після відповідного підставлення матимемо вирази для введених складових частин повної потужності:

$$L_1^2 = 3U_\phi^2 (I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2) = 3(S_{A1}^2 + S_{B1}^2 + S_{C1}^2); \quad (6)$$

$$N_1^2 = 3U_\phi^2 I_{N1}^2 r_N / r,$$

де  $S_{n1}^2 = P_{n1}^2 + Q_{n1}^2$ ;  $n = A, B, C$  – квадрати повних потужностей окремих фаз.

З використанням формули Лагранжа [9] можна довести, що

$$3(P_{A1}^2 + P_{B1}^2 + P_{C1}^2) = (P_{A1} + P_{B1} + P_{C1})^2 + (P_{A1} - P_{B1})^2 + (P_{A1} - P_{C1})^2 + (P_{B1} - P_{C1})^2,$$

аналогічна формула справедлива для реактивних потужностей, тому відбувається декомпозиція:

$$I_1^2 = P^2 + Q^2 + D^2, \quad (7)$$

де

$$D^2 = (P_{A1} - P_{B1})^2 + (P_{A1} - P_{C1})^2 + (P_{B1} - P_{C1})^2 + (Q_{A1} - Q_{B1})^2 + (Q_{A1} - Q_{C1})^2 + (Q_{B1} - Q_{C1})^2 -$$

квадрат потужності небалансу, величина якої повністю збігається з результатами роботи [5].

Для скорочення обчислень квадрат потужності небалансу може бути обчислений за формулою

$$D^2 = 3(S_{A1}^2 + S_{B1}^2 + S_{C1}^2) - (P^2 + Q^2), \quad (8)$$

що випливає з формул (6) та (7).

Відмінність даного дослідження полягає у врахуванні квадратичної складової частини повної потужності  $N_1^2$ , зумовленої струмом першої гармоніки нейтралі. Для її визначення через показання приладів вимірювання потужностей знайдемо еквівалентну комплексну провідність кожної фази лінійного навантаження:

$$\bar{y}_n = \dot{I}_{n1} / \dot{U}_n = \dot{I}_{n1}(\dot{U}_n)^* / \dot{U}_n(\dot{U}_n)^* = (P_{n1} - jQ_{n1}) / U_\phi^2, \quad (9)$$

Комплекс діючого значення струму нейтралі можна записати через потужності:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{N1} &= \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{C1} = \dot{U}_A \bar{y}_A + \dot{U}_B \bar{y}_B + \dot{U}_C \bar{y}_C = \\ &= [(P_{A1} - jQ_{A1}) + a^2(P_{B1} - jQ_{B1}) + a(P_{C1} - jQ_{C1})] / U_\phi = \\ &= \{ [P_{A1} - \frac{P_{B1} + P_{C1}}{2} + \frac{\sqrt{3}(Q_{C1} - Q_{B1})}{2}] + j[-Q_{A1} + \frac{Q_{C1} + Q_{B1}}{2} + \frac{\sqrt{3}(P_{C1} - P_{B1})}{2}] \} / U_\phi. \end{aligned} \quad (10)$$

Підставлення квадрата модуля струму нейтралі в другу формулу (6) дає вираз для квадратичної складової частини повної потужності трифазної чотирипровідної системи електропостачання, зумовленою основною гармонікою струму нейтралі:

$$N_1^2 = 3 \left\{ \left[ P_{A1} - \frac{P_{B1} + P_{C1}}{2} + \frac{\sqrt{3}(Q_{C1} - Q_{B1})}{2} \right]^2 + \left[ -Q_{A1} + \frac{Q_{C1} + Q_{B1}}{2} + \frac{\sqrt{3}(P_{C1} - P_{B1})}{2} \right]^2 \right\} r_N / r, \quad (11)$$

Відношення опорів проводів лінії електроживлення  $r_N / r$  може бути визначене експериментальним шляхом за методикою [10].

Для ілюстрації як приклад розглянемо визначення квадратичних складових частин повної потужності трифазної чотирипровідної системи за наявності лінійного несиметричного навантаження, яке задано комплексними провідностями

$\bar{y}_A = G$ ;  $\bar{y}_B = Ge^{j\varphi}$ ;  $\bar{y}_C = Ge^{-j\varphi}$ . Відповідно до формули (9) розраховуємо комплексні потужності:

$$\begin{aligned} P_{A1} - jQ_{A1} &= U_\phi^2 G; \\ P_{B1} - jQ_{B1} &= U_\phi^2 Ge^{j\varphi} = U_\phi^2 G \cos \varphi + jU_\phi^2 G \sin \varphi; \\ P_{C1} - jQ_{C1} &= GU_\phi^2 e^{-j\varphi} = U_\phi^2 G \cos \varphi - jU_\phi^2 G \sin \varphi. \end{aligned}$$

Визначаємо квадрати повних потужностей окремих фаз  $S_{A1}^2 = S_{B1}^2 = S_{C1}^2 = U_\phi^4 G^2$ , активну та реактивну потужності трифазної системи

$$P = P_{A1} + P_{B1} + P_{C1} = U_\phi^2 G(1 + 2 \cos \varphi); Q = Q_{A1} + Q_{B1} + Q_{C1} = 0.$$

Квадрат потужності небалансу визначаємо за спрощеною формулою (8) та переконуємось у її адекватності підставленням різницевих значень потужностей в опис формули (7):

$$\begin{aligned} D^2 &= I_1^2 - (P^2 + Q^2) = 9U_\phi^4 G^2 - U_\phi^4 G^2(1 + 2 \cos \varphi)^2 = \\ &= U_\phi^4 G^2(8 - 4 \cos \varphi - 4 \cos^2 \varphi). \end{aligned}$$

Для визначення квадрату повної потужності першої гармоніки струму нейтралі при заданому навантаженні спочатку доречно знайти комплексний струм нейтралі:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{N1} &= \dot{U}_A \bar{y}_A + \dot{U}_B \bar{y}_B + \dot{U}_C \bar{y}_C = U_\phi G [1 + e^{-j(2\pi/3-\varphi)} + \\ &e^{j(2\pi/3-\varphi)}] = U_\phi G [1 + 2 \cos(2\pi/3 - \varphi)] \end{aligned}$$

та другою скористатися другою формулою (6):

$$N_1^2 = 3U_\phi^2 I_{N1}^2 r_N / r = 3U_\phi^4 G^2 [1 + 2 \cos(2\pi/3 - \varphi)]^2 r_N / r.$$

Введемо відносні коефіцієнти складових частин повної потужності:

$$\begin{aligned} k_D &= \frac{D}{P} = \frac{2\sqrt{2 - \cos(\varphi) - \cos^2(\varphi)}}{1 + 2 \cos(\varphi)}; \\ k_N &= \frac{N_1}{P} = \frac{\sqrt{3}[1 + 2 \cos(2\pi/3 - \varphi)]}{1 + 2 \cos(\varphi)} \end{aligned}$$

та побудуємо графіки їхньої залежностей від параметра  $\varphi$  при  $r_N = r$  (рис. 1).

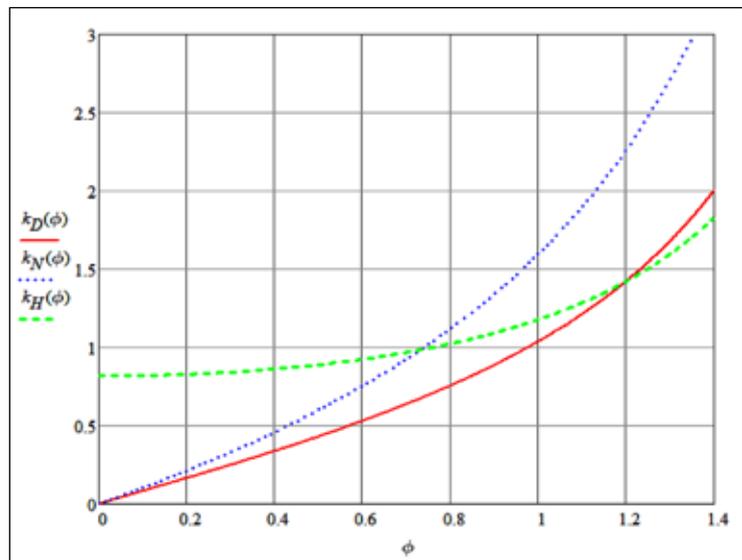


Рис. 1

Початкові значення зазначених коефіцієнтів є нульовими, оскільки за  $\varphi = 0$  маємо симетричне навантаження. Складова частина повної потужності першої гармоніки струму нейтралі перевищує потужність небалансу в усьому діапазоні зміни параметра навантаження  $\varphi$ , причому за деякого його значення обидві досліджувані складові частини повної потужності перевищують активну потужність, що свідчить про важливість їхнього врахування під час визначення витрат електроенергії.

За нелінійного навантаження трифазної системи через наявність вищих гармонік збільшуються діючі значення струмів лінійних та нейтрального проводів, повна потужність обчислюється за формулою (1) і її декомпозиція містить додаткову складову частину у вигляді квадрата потужності спотворення [6].

$$H^2 = 3U_\phi^2(I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_N^2 r_N / r) - S_1^2. \quad (12)$$

З урахуванням ортогональності струмів основної та вищих гармонік  $I_n^2 = I_{n1}^2 + I_{nH}^2$ , так само розкладається і квадрат діючого значення струму нейтралі, тому розрахункова формула для квадрата потужності спотворення набуває вигляду:

$$H^2 = 3U_\phi^2(I_{AH}^2 + I_{BH}^2 + I_{CH}^2 + I_{NH}^2 r_N / r). \quad (13)$$

Квадрати діючих значень струмів вищих гармонік, що входять до формули (13), можуть бути визначені за результатами вимірювання діючих значень відповідних струмів, потужностей та напруг за формулами

$$I_{nH}^2 = I_n^2 - (P_{n1}^2 + Q_{n1}^2) / U_\phi^2;$$

$$I_{NH}^2 = I_N^2 - \left\{ \left[ P_{A1} - \frac{P_{B1} + P_{C1}}{2} + \frac{\sqrt{3}(Q_{C1} - Q_{B1})}{2} \right]^2 + \left[ -Q_{A1} + \frac{Q_{C1} + Q_{B1}}{2} + \frac{\sqrt{3}(P_{C1} - P_{B1})}{2} \right]^2 \right\} / U_\phi^2. \quad (14)$$

Зауважимо, що для визначення потужності спотворення вимірювальний комплекс має містити високочастотні вимірювачі діючих значень як лінійних струмів, так і струму нейтралі.

Розглянемо другий ілюстративний приклад, який відрізняється від першого наявністю ідеального діода в колі активного навантаження фази  $A$ , причому для збереження такого самого струму основної гармоніки цієї фази провідність навантаження обрана рівною  $2G$ . Таким чином, миттєве значення струму лінійного проводу фази  $A$  визначається виразом:

$$i_A(t) = \sqrt{2}U_\phi G[\cos(\omega t) + |\cos(\omega t)|] = i_{A1}(t) + i_{AH}(t), \quad (15)$$

Оскільки перебіг енергетичного процесу трифазної системи на частоті основної гармоніки не змінився, маємо ті ж самі значення  $I_{A1}, I_{B1}, I_{C1}, P, S_1$ , що і в першому прикладі. Як впливає з орто-

гонального розкладання струмів (15), діюче значення струму  $i_{AH}(t)$  складає  $I_{AH} = I_{A1} = UG$ . в інших фазах навантаження вищих гармонік струму немає ( $I_{BH} = I_{CH} = 0$ ), отже, в нейтралі маємо  $I_{NH} = I_{AH} = UG$ . За формулою (13)

$$H^2 = 3U_\phi^2(I_{AH}^2 + I_{AH}^2 r_N / r) = 3U_\phi^4 G^2 (1 + r_N / r). \quad (16)$$

Коефіцієнт відносної потужності спотворення має вигляд

$$k_H = \frac{H}{P} = \frac{\sqrt{3(1 + r_N / r)}}{1 + 2 \cos(\varphi)},$$

графік його залежності від параметра  $\varphi$  при  $r_N = r$  наведений на рис.1. На відміну від коефіцієнтів, що характеризують інші складові частини повної потужності,  $k_H$  набуває ненульового початкового значення, оскільки в даному прикладі вищі гармоніки струму діють в фазі навантаження  $A$  та нейтралі навіть за симетричного режиму на основній частоті.

Інтегральним показником енергоефективності процесу споживання електроенергії в частині відбиття енерговитрат є коефіцієнт потужності [6]

$$\lambda = P / S = 1 / \sqrt{1 + k_Q^2(\varphi) + k_D^2(\varphi) + k_N^2(\varphi) + k_H^2(\varphi)}, \quad (17)$$

У розглянутих прикладах  $Q = 0; k_Q = Q / P = 0$ , тому розрахунок коефіцієнта потужності лише за показниками активної та реактивної потужності веде до хибного оцінювання енергоефективності процесу як ідеального ( $\lambda_Q = 1$ ). Поступове прийняття до уваги відносних коефіцієнтів складових частин потужностей в розрахунковій формулі (17) породжує низку таких формул для часткових коефіцієнтів потужності:

$$\lambda_L = \frac{P}{L_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + k_D^2(\varphi)}} -$$

як повної потужності враховується лише її частина, зумовлена струмами основної гармоніки лінійних проводів;

$$\lambda_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{1}{\sqrt{1 + k_D^2(\varphi) + k_N^2(\varphi)}} -$$

враховує лише повну потужність першої гармоніки усіх струмів;

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{1}{\sqrt{1 + k_D^2(\varphi) + k_N^2(\varphi) + k_H^2(\varphi)}} -$$

враховує всі складові частини повної потужності.

Графіки зазначених часткових коефіцієнтів потужності наведені на рис. 2.

Їхній аналіз демонструє суттєву відмінність фактичного коефіцієнта потужності від ідеального. Наприклад, при  $\varphi = 1$  рад  $\lambda \approx 0.4$ , що означає перевищення фактичних витрат в  $1 / \lambda^2 \approx 6$  разів як порівняти з мінімально можливими при  $\lambda = 1$ .

**Висновки.** Отже, отримані нові аналітичні вирази для складової частини повної потужності

трифазної чотирипровідної системи електроживлення, яка зумовлена основною гармонікою струму нейтралі та потужністю спотворення за відомими значеннями активних та реактивних потужностей окремих фаз, які можуть бути використані для розрахунку додаткових витрат електричної енергії в лініях електроживлення без зміни метрологічної бази на стороні споживачів. Ілюстративний приклад з використанням одержаних формул показав, що зазначені складові частини повної потужності можуть перевищувати як активну потужність, так і потужність небалансу, внаслідок чого суттєво знижується коефіцієнт потужності трифазної чотирипровідної системи електроживлення. Врахування зазначених складових частин повної потужності в нормативній базі обліку витрат електричної енергії сприятиме стимулюванню споживачів до впровадження організаційних та технічних заходів щодо покращення електромагнітної сумісності систем електроспоживання.

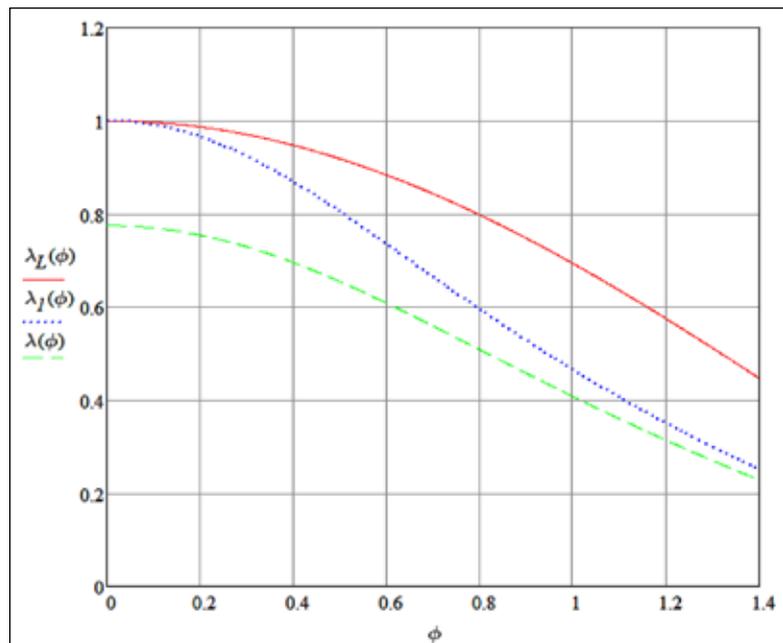


Рис. 2

#### Список літератури:

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промышленных предприятий. Москва : Энергоатомиздат, 2004. 254 с.
2. Гриб О.Г. Качество электрической энергии. Том 3. Методы и средства повышения качества электрической энергии : монография. ПП «Граф-Ікс». Харьков. 2014. 292 с.
3. Жаркин А.Ф., Новский В.А., Палачев С.А. Нормативно-правовое регулирование качества электрической энергии. *Анализ украинских и европейских законодательных актов и нормативно-технических документов*. Киев. Ин-т электродинамики НАН Украины, 2010. 167 с.
4. Про методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання : Наказ № 399 Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21 червня 2013 р. База даних «Законодавство України». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0399732-13#n850> (дата звернення: 22.07.2019).
5. Сиротин Ю.А., Гриб О.Г., Гапон Д.А., Иерусалимова Т.С., Швец С.В. Учет неактивных составляющих полной мощности. *Вісник НТУ «ХПИ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Харків. 2017. № 42 (948). С. 71–76.
6. Дрехслер Р. Измерение и оценка качества электроэнергии при несимметричной и нелинейной нагрузке / пер. с чешск. А. Окина. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 112 с.
7. IEEE standart definitions for the measurements of electrical power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced and nonbalanced conditions. IEEE Std 1459-2010.
8. Каплун В.В., Артеменко М.Ю., Полішук С.Й., Бобровник В.М. Розрахунок енергозберігаючого ефекту від застосування паралельних активних фільтрів в трифазній чотирипровідній системі електропостачання при збільшенні інтервалу осереднення вимірюваних величин. *«Електроніка та зв'язок»*. 2017. № 4 (22). С. 18–24.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике : для научных работников и инженеров. Москва : Наука. 1978. 832 с.
10. Бобровник В.М., Каплун В.В., Артеменко М.Ю. Методика розрахунку енергозберігаючого ефекту від застосування паралельного активного фільтра в трифазній чотирипровідній системі електроживлення з урахуванням його власних втрат. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2018. № 6 (128). С. 9–19.

**Artemenko M.Yu., Kaplun V.V., Bobrovnik V.M. DETERMINATION OF THE APPARENT POWER COMPONENTS OF A THREE-PHASE FOUR-WIRE POWER SUPPLY SYSTEM BY KNOWN REAL AND REACTIVE POWERS OF SEPARATE PHASES**

*Nonlinear and asymmetric consumers of three-phase four-wire power supply system impair the electromagnetic compatibility of power grids and increase electrical energy losses. The regulatory methodology for calculating electrical energy losses takes into account only active and reactive energies that are proportional to the respective powers, without proper considering remain unbalanced and distortion ones. The goal of this work is to obtain analytical expressions for each of the apparent power components of the three-phase four-wire power supply system, which form the total electricity losses, according to the known values of the active and reactive powers of the individual phases. The new analytical expressions for two apparent power components were obtained by methods of electric circuit theory. One of them is caused by the basic harmonic of the neutral current and second is the distortion power. They can be calculating by the known values of the active and reactive powers of the individual phases that can be used for the calculation of electric energy losses without changing of the consumer metrological base. In the first example with asymmetrical linear load it was shown that the apparent power component of the neutral current first harmonic exceeds the unbalance power in the whole range of load parameter changing. The second example with non-symmetric nonlinear load illustrated that the specified apparent power components and distortion power can exceed the load active power that significantly reduces the power factor of power supply system. Taking into account of all apparent power components in the regulatory framework of electrical energy losses determination will stimulate consumers to take organizational and technical measures to improve the electromagnetic compatibility of the electricity consumption system.*

**Key words:** *apparent power components, electrical energy loss, three-phase four-wire power system, electromagnetic compatibility, power factor.*

УДК 621.316.9  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/05>

**Гончаров Є.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ОБМЕЖУВАЧА СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ

*У статті проведено технічний аналіз наявних схем та конструктивних рішень щодо обмеження надвисоких струмів короткого замикання. Проаналізовано будову та умови роботи індукційних обмежувачів струму короткого замикання. Проаналізовано вимоги електромереж до струмообмежувальних реакторів у якості індукційних обмежувачів струму короткого замикання. Проаналізовано особливості використання надпровідників у індукційних обмежувачів струму короткого замикання. Встановлено переваги використання традиційних та надпровідникових реакторів, як індукційних обмежувачів струму короткого замикання.*

*Проаналізовано особливості режимів роботи індукційних обмежувачів струму короткого замикання з мідною або надпровідниковою обмоткою. Відповідно до конструктивних особливостей індукційних обмежувачів струму короткого замикання наведено розрахунок основних параметрів магнітної системи, що враховує коефіцієнт обмеження струму, ударний коефіцієнт, коефіцієнт реагування. Застосування високотемпературного надпровідника, завдяки підвищеним критичним параметрам, забезпечує збереження надпровідного стану обмотки у режимі короткого замикання. Використання індукційних обмежувачів струму короткого замикання з надпровідниковою обмоткою забезпечує енергоощадження у номінальному режимі. Застосування індукційних обмежувачів струму короткого замикання знижує вимоги до апаратів захисту, полегшує роботу електроустановок, у тому числі генераторів електростанцій, а також знижує вартість обладнання і розподільчих електромереж.*

*На підрунті проведеного аналізу визначені достатні та необхідні вимоги до параметрів застосування індукційних обмежувачів струму. Отримані результати аналізу можуть використовуватися для дослідження методів з удосконалення експлуатаційних характеристик індукційних обмежувачів струму.*

**Ключові слова:** коротке замикання, струмообмежувальний реактор, обмежувач струму, високотемпературний надпровідник, реактивний опір, індуктивність, магнітопровід.

**Постановка проблеми.** Розвиток електроенергетичної галузі потребує підвищення якості електроенергії та застосування електричних апаратів відповідного рівня призначених для керування та захисту в мережах електропередачі. Освоєння та створення нових енергетичних комплексів великої потужності, зростання генерації електроенергії, зумовлює появу надвисоких класів напруг.

Збільшення споживаної потужності в електромережах, спричиняє зростання рівня аварійних струмів короткого замикання. Що, зі свого боку, призводить до збільшення ризиків значної руйнації електрообладнання, і потребує ефективний захист. У разі реконструкції та переустаткування наявних енергосистем необхідне застосування ефективних засобів захисту від аварійних режимів виникнення струму короткого замикання.

Таким чином, одним з визначальних параметрів під час вибору встаткування підстанцій і ліній електропередачі є захист ліній електропередачі та споживачів електроенергії від струмів короткого замикання, що є досить актуальним завданням. Відомі

різні традиційні пристрої захисту електромереж і електрообладнання від надмірних струмів такі як, плавкі запобіжники, вимикачі, струмообмежуючі реактори та різні пристрої обмеження струму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для обмеження струмів і для деяких інших цілей використовуються багато різновидів індукційних обмежувачів струму (далі – ІОС) реакторів, які за своїм призначенням підрозділяються на струмообмежувальні реактори, загороджувачі зв'язку, що згладжують (наприклад, у мережах електрифікованого залізничного транспорту), пускові для синхронних компенсаторів та інше. Реактор, що являє собою котушку з великим незмінним індуктивним і малим активним опором, встановлюють на кабельних лініях, що відходять, або в колі понижуючих трансформаторів потужних станцій і підстанцій. Він призначений для обмеження струмів короткого замикання і підтримки напруги на шинах під час аварійного режиму.

При короткому замиканні за реактором струм короткого замикання значно менше, чим у мережі

нереактованій, оскільки загальний індуктивний опір у першому випадку більше (завдяки опору реакторів).

За конструктивними особливостями обмотки відомі реактори з кабельною обмоткою, дисковою, обмоткою зі стрічкового провідникового матеріалу, з радіальним або аксіальним напрямом намотування. За видом ізоляції також розрізняють сухі та маслонаповнені реактори. Відомі також струмообмежувальні реактори з покращеними характеристиками завдяки використанню надпровідних обмоток [1].

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз наявних схемних і конструктивних рішень та особливостей використання індукційних обмежувачів струму короткого замикання.

Завдання роботи – аналіз необхідних та достатніх вимог до основних параметрів індукційного обмежувача струму короткого замикання, зокрема з використанням надпровідників та феромагнетику у магнітній системі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Найбільше поширення одержали бетонні реактори з повітряним охолодженням, прості за конструкцією та надійні в роботі. Обмотку реактора 1 виконують з гнучкого багатожильного ізольованого проводу. Витки обмотки укладають на спеціальному каркасі та скріплюють бетонними колонками 2, просоченими лаком. Кожна колонка реактора встановлюється на опорні ізолятори 3, які забезпечують ізоляцію від землі та між фазами (рис. 1). У трифазних установках застосовують реактори, що складаються з трьох котушок, ізольованих один від одного та від заземлених частин [2].

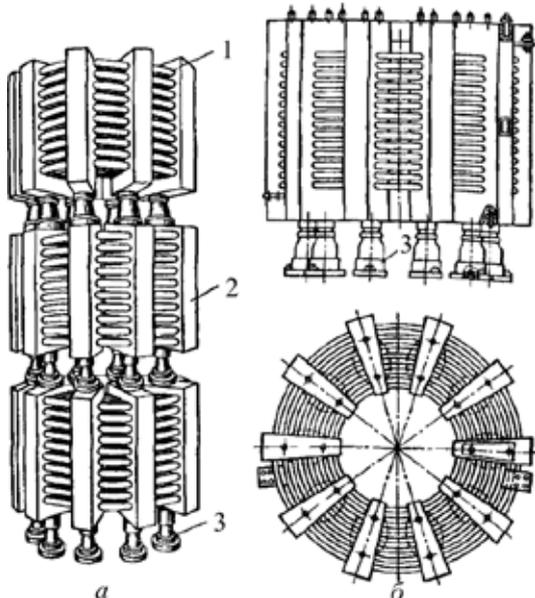


Рис. 1. Бетонний реактор РБА-6-400-4: а – загальний вид; б – фаза реактора; 1 – обмотка, 2 – бетонна колонка, 3 – опорний ізолятор

Основні параметри реактора: 1) номінальна напруга  $U_{ном}$ ; 2) номінальний струм  $I_{ном}$ ; 3) реактивний опір  $x_{р\%}$ ; 4) струм термічної стійкості  $I_t$  для часу  $t$ ; 5) струм динамічної стійкості  $i_{уд}$ . На рис. 1 показано бетонний реактор РБА-6-400-4, де букви та цифри означають: Р – реактор; Б – бетонний; А – з алюмінієвою обмоткою; 6 – номінальна напруга [кВ]; 400 – номінальний струм [А]; 4 – індуктивний опір (%).

При номінальних струмах  $I_{ном} = 1500$  А зазвичай застосовують вертикальну установку фаз (котушок) реактора, при струмах  $I_{ном} > 1500$  А – горизонтальну установку. Напрямок намотування витків середньої фази повинне бути протилежним напрямку витків верхньої та нижньої фаз (за вертикальної установки) і крайніх фаз (за горизонтальної установки). Це необхідно для того, щоб під час протікання струму короткого замикання котушки притягалися, а не відштовхувалися.

Основні споживачі струмообмежувальних реакторів це електричні станції, що генерують, ТЕС, ГЕС, ГрЕС, ФЕС, ВЕС, розподільні підстанції, електричні мережі, великі промислові підприємства, енергомісткі об'єкти інфраструктури. У своїй більшості ІОС використовуються як сухі бетонні реактори у розподільних електромережах напругою 6-10 кВ та струми до 4 кА при індуктивному опорі  $x_{р\%} = 4-12$  для внутрішньої й зовнішньої установки. Струмообмежувальні ІОС реактори напругою 35 кВ і більше застосовують масляну ізоляцію, мають каркас стрижневої або тороїдальної форми з ізоляційного матеріалу і сталевий бак. На рис. 2 подані схеми приєднання до мережі одинарних реакторів.

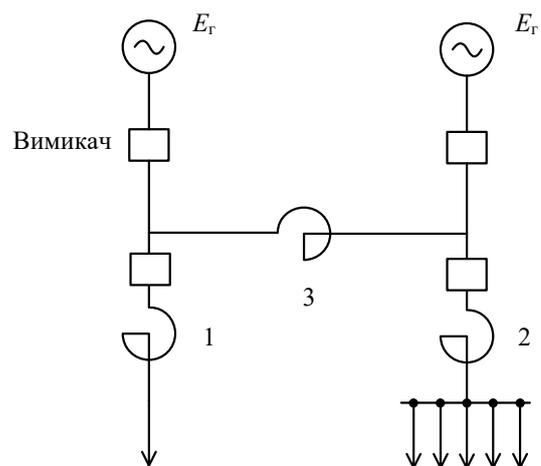


Рис. 2. Основні схеми розміщення струмообмежувальних реакторів: 1 – лінійний реактор; 2 – груповий; 3 – секційний

Залежно від місця установки реактора в тій або іншій схемі з'єднань розрізняють лінійні, групові

та секційні реактори (рис. 2). Використання реакторів у всіх наведених вище випадках забезпечує зменшення (обмеження) струмів КЗ. Застосування реакторів також дає змогу підтримувати в момент КЗ рівень напруги неущокоджених з'єднань. Номінальною напругою  $U_{\text{ном}}$  реактора називається номінальна лінійна напруга мережі, у яку включений реактор.

При трифазному короткому замиканні без використання реактора струм визначається здебільшого індуктивним опором генератора:

$$I_{\text{КЗГ}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}X_{\text{Г}}}, \quad (1)$$

Таким чином, струм короткого замикання у лінії з увімкненим реактором визначається сумарним опором генератора та реактора:

$$I_{\text{КЗР}} = \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}(X_{\text{Г}} + X_{\text{Р}})}, \quad (2)$$

де  $U_{\text{ном}}$  – номінальна напруга реактора;  $X_{\text{Г}}$  – реактивний опір генератора;  $X_{\text{Р}}$  – реактивний опір реактора.

Реактивний індуктивний опір реактора:

$$X_{\text{Р}} = \omega L, \quad (3)$$

де  $\omega = 2\pi f$  – кутова частота;  $f$  – частота коливань напруги;  $L$  – індуктивність реактора.

Основною величиною, що визначає призначення реактора, є його номінальна реактивність, що являє собою виражене у відсотках відношення індуктивного падіння напруги у фазі трифазного комплекту реакторів під час проходження через нього симетричного трифазного номінального струму до номінальної фазної напруги:

$$x_{\text{Р}\%} = \sqrt{3} \frac{I_{\text{ном}} X_{\text{Р}}}{U_{\text{ном}}} 100, \quad (4)$$

де  $X_{\text{Р}}$  – реактивний опір реактора;  $I_{\text{ном}}$  – номінальний струм навантаження реактора.

Відповідно до частоти електромереж в Україні ( $f = 50$  Гц) з рівняння (4) номінальна відсоткова реактивність реактора:

$$x_{\text{Р}\%} = \sqrt{3}\pi \cdot 10^4 \frac{I_{\text{ном}} L}{U_{\text{ном}}}, \quad (5)$$

Номінальний струм  $I_{\text{ном Р}}$  навантаження реактора визначається з умов припустимого нагрівання обмотки реактора або за економічною щільністю струму. Найчастіше один генератор обслуговує кілька десятків споживачів, тому номінальний струм лінії менший за номінальний струм генератора. Струм реактора обирається рівним струму лінії, таким чином  $I_{\text{ном}} \ll I_{\text{ном Г}}$ . Якщо вважати, що  $x_{\text{Р}\%} = x_{\text{Г}\%}$ , тоді впливає що  $X_{\text{Р}} \gg X_{\text{Г}}$ , відповідно  $I_{\text{КЗР}} \ll I_{\text{КЗГ}}$  таким чином

$$I_{\text{КЗР}} \approx \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{3}X_{\text{Р}}} = I_{\text{ном}} \frac{100}{x_{\text{Р}\%}}, \quad (6)$$

Таким чином, бажано щоб ІОС мав нульовий опір за нормальних умов функціонування електричного кола і швидко змінював його (до першого піка струму КЗ) від нуля до передбачуваного значення, необхідного для обмеження струму КЗ. Достатньо, щоб падіння напруги на обмежувачі струму при нормальних умовах функціонування кола було менше декількох відсотків  $\sim 5\%$  від номінальної напруги мережі. У цьому випадку обмежувач струму не порушує стабільної роботи електроенергетичної системи та не впливає на технологічні властивості ліній.

**Особливості використання надпровідників у реакторах.** Розглянемо струмообмежувальні реактори, що використовують високотемпературні надпровідникові (далі – ВТНП) обмотки. За конструктивними особливостями можна виділити дві основні схеми ІОС з надпровідниковими обмотками на яких засновані інші конструкції: резистивна та індуктивна [1].

Резистивна конструкція ґрунтується на нелінійності опору надпровідника. Індукційний обмежувач струму використовує нелінійність вольт-амперної характеристики надпровідника, але введенням у коло індуктивного опору. За видом виконання магнітної системи ІОС розрізняють: без сталевих осердя; з магнітним осердям; з підмагнічуванням осердя постійним струмом; із замкнутою системою магнітопроводу та інше. Цей тип конструкції можна розглядати на прикладі схеми трансформатора з надпровідниковим резистором як навантаження вторинної обмотки [3].

Вплив ІОС на роботу електромережі в нормальному режимі характеризуються такими параметрами та коефіцієнтами:

- коефіцієнт обмеження струму  $k_{\text{т}} = \frac{I_{\text{КЗР}}}{I_{\text{ном}}}$ , де  $I_{\text{КЗР}}$  та  $I_{\text{ном}}$  – струми КЗ з реактором і номінальний;
- ударний коефіцієнт  $k_{\text{уд}} = \frac{i_{\text{уд}}}{i_{\text{КЗ max}}}$ , де  $i_{\text{уд}}$  – ударний струм КЗ без реактора, а  $i_{\text{КЗ max}}$  – максимальний ударний струм з ІОС;
- коефіцієнт реагування  $k_{\text{р}} = \frac{i_{\text{р}}}{\sqrt{2}I_{\text{ном}}}$ , де  $i_{\text{р}}$  – миттєве значення порога спрацьовування ІОС;
- час початку реагування ІОС на струм короткого замикання  $t_0$ ;
- час існування КЗ  $t_{\text{КЗ}}$ ;
- час відновлення  $t_{\text{відн}}$  вихідних властивостей ІОС.

Використання ІОС на наявних підстанціях виявляється доцільним у випадку зміни схеми живлення підстанції з істотно збільшеним очікуваним струмом КЗ на її шинах і з'єднаннях 6-10 кВ. При збільшенні класу напруги на шинах ВН або при зміні числа живильних ліній електро-

передачі, струм КЗ може перевищити припустиме для наявного устаткування значення. Зниження струму КЗ з допомогою традиційних бетонних реакторів струму у низці випадків виявляється недостатнім за умови збереження прийнятної падіння напруги на ньому.

Використання ІОС може виявитися також доцільним при живленні навантаження від власних електростанцій невеликої потужності з резервуванням електропостачання від мереж єдиної енергосистеми. Параметри ІОС для високовольтних електромереж представлені в табл. 1.

Таблиця 1

**Параметри ІОС для високовольтних електромереж**

Місце установки ІОС	Параметр ІОС					
	$k_t$	$k_{уд}$	$k_p$	$t_{0,c}$	$t_{КЗ,c}$	$t_{відн,c}$
Розподільча мережа 6–10 кВ	7	3	2	0	1,8	0,1
Розподільча мережа власних потреб	7	5	5	0	0,5	0,1
Мережі 110 кВ і вище	3	5	2	0	0,2	0,1

У цьому випадку ІОС є таким видом устаткування, яке дає змогу скоротити витрати на спорудження таких електростанцій.

За сучасного розвитку електромереж рівень струмів КЗ у мережах 110 кВ і вище може досягати 100 кА. Використання ІОС на підстанціях у колах вимикачів ВН дасть змогу скоординувати висхідний рівень струмів КЗ у мережах ВН з вимикальною здатністю вимикачів, що відпрацювали свій ресурс або потребують заміни за значенням струму відключення.

Порівнюючи параметри ІОС для високовольтних і розподільчих мереж можна зробити висновок, що умови роботи ІОС у мережах 6-10 кВ є найважливішим [4].

**Вимоги електромереж до надпровідникового реактора.** Швидке приведення до дії ІОС необхідно для того, щоб обмежити перший пік струму КЗ. З іншого боку, дуже швидкий ріст повного опору призводить до появи небезпечних кидків напруги в мережі. Час зміни опору 2-4 мс достатній для обмеження першого піка струму КЗ і не викликає перенапруг [5]. Тому, важливими параметрами обмежувача струму є його повний опір за нормальних умов та в умовах КЗ, активаційний струм, час спрацьовування та час відновлення. Прийнятні значення цих параметрів лежать у межах, встановлених характеристиками нормального режиму та режиму КЗ електроенергетичної системи. Так

наприклад, для розрахунків питомий опір ВТНП проводу при надпровідному стані можна прийняти  $\rho_a \approx 10^{-15}$  Ом·м, на відміну від питомого опору  $\rho_r$  у нормальному стані (табл. 2) [6].

Таблиця 2

**Параметри високотемпературних надпровідних проводів при нормальному стані (77 К)**

ВТНП провід	Виробник	$J_c, A/M^2$	$\rho_r, Ом \cdot м$
Bi-2223/Ag стрічка	American Superconductor	$10^8$	$1,23 \cdot 10^{-8}$
Bi-2223/AgAu стрічка	TRITHOR	$10^8$	$5,6 \cdot 10^{-8}$
YBCO (344/Fe) стрічка	American Superconductor	$92 \cdot 10^6$	$56 \cdot 10^{-8}$
Bi-2212	NEXANS	$17 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-6}$
Bi-2223	CAN Superconductor	$5 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-5}$

Нормальному режиму відповідає струм електричного кола менший, чим максимальний струм у нормальному режимі. Якщо струм вище цього максимуму не менш, чим удвічі, настає режим перевантаження. Цей режим триває не більше декількох хвилин. Режим КЗ настає, коли струм перевищує максимальне значення номінального струму нормального режиму більш, чим удвічі.

Мінімальне значення сталого струму КЗ дорівнює подвоєному значенню номінального струму  $I_{ном}$ , на цій максимум  $I_{КЗ max}$  досягається при КЗ поблизу шин. Все електроенергетичне устаткування, встановлене в системі, спроектовано на певні значення припустимих перехідних струмів КЗ  $I_{дин}$  (припустимий динамічний вплив) і на певні значення припустимих сталих струмів КЗ  $I_{нагр}$  (припустиме нагрівання). У кожному разі струм КЗ повинен бути менше цих значень і також менше максимально припустимого струму автоматичного вимикача  $I_{вим}$ . Застосування ІОС дає змогу встановити силове устаткування з набагато більше низькими припустимими значеннями  $I_{вим}$ ,  $I_{дин}$  та  $I_{нагр}$ .

Установка ІОС в наявну електроенергетичну систему дає змогу використати таку конфігурацію системи, що у відсутності ІОС призвела б до високих струмів КЗ. Реактор містить активний  $R_p$  ( $R_p \ll X_p$ ) та реактивний  $X_p$  опір, що може бути заданий комплексним повним опором

$$\underline{Z}_p = R_p + jX_p, \quad (7)$$

Якщо максимально припустимий струм автоматичного вимикача  $I_{вим}$  менше струмів  $I_{дин}$  і  $I_{нагр}$ , ІОС повинен обмежувати будь-який струм КЗ до

значення нижче  $I_{\text{вим}}$ . Для випадку трифазного КЗ ця умова призводить до такого обмеження для повного опору ІОС в режимі обмеження  $Z_p$ :

$$\underline{Z}_p > \frac{U_\phi}{I_{\text{вим}}} - Z_{\text{КЗ min}}, \quad (8)$$

де  $U_\phi$  – напруга фази;  $Z_{\text{КЗ min}} = U_\phi / I_{\text{КЗ min}}$  – мінімальний опір кола при КЗ.

Автоматика захисту не спрацює, якщо струм КЗ менше  $2I_{\text{ном}}$ , тому:

$$\frac{U_\phi}{(\underline{Z}_p + \underline{Z}_{\text{КЗ}})} > 2I_{\text{ном}}, \quad (9)$$

де  $\underline{Z}_{\text{КЗ}}$  – повний опір електричного кола при короткому замиканні.

З умови (9) визначаємо співвідношення між опором  $\underline{Z}_p$  ІОС і максимальним значенням  $\underline{Z}_{\text{КЗ max}}$ , при якому ІОС повинен спрацювати:

$$\underline{Z}_{\text{КЗ max}} < \frac{U_\phi}{2I_{\text{ном}}} - \underline{Z}_p. \quad (10)$$

Це дозволяє співвіднести  $i_p$  активаційний струм реагування ІОС з його повним опором  $\underline{Z}_p$ . Дійсно, максимальне миттєве значення струму КЗ дорівнює  $\sqrt{2}k_{\text{уд}}U_\phi / Z_{\text{КЗ max}}$ , де коефіцієнт ударного струму  $k_{\text{уд}} \approx 1,8$  [7]. Виразивши  $Z_{\text{КЗ max}}$  з (10), одержимо умову для діючого струму реагування [8]:

$$\underline{I}_p > 2k_{\text{уд}} \frac{S_{\text{ном}}}{U_\phi - 2\underline{Z}_p I_{\text{ном}}}, \quad (11)$$

де  $S_{\text{ном}}$  – повна потужність фази.

Межа активаційного струму задається з умови:

$$\underline{I}_p < I_{\text{вим}}. \quad (12)$$

Також, необхідно щоб коефіцієнт корисної дії ІОС відповідав вимогам електромережі. Відповідно, втрати потужності в ІОС, бажано, щоб перебували у межах близько до 1% від його номінальної потужності, як наприклад у трансформаторі.

Втрати потужності надпровідникового ІОС на охолодження містять зовнішні припливи тепла [9] (по струмоводах; крізь стінки кріостата) та внутрішні припливи тепла (гістерезисні втрати від змінного струму у провідниках ВТНП обмотки; втрати потужності у магнітопроводі).

Таким чином, потужність тепловиділень має такі складові частини:

$$P_{\text{тепл}} = P_{\text{ос}} + P_{\text{зовн}} + P_{\text{гіст}} + 2P_{\text{св}}, \quad (13)$$

де  $P_{\text{ос}}$  – магнітні втрати в осерді магнітопровода;  $P_{\text{зовн}}$  – зовнішні припливи тепла крізь стінки кріостата;  $P_{\text{гіст}}$  – гістерезисні втрати в проводах надпровідної обмотки при перемагнічуванні;  $P_{\text{св}}$  – приплив тепла по струмоводу.

**Висновки.** Отже, застосування індукційних обмежувачів струму короткого замикання дозволяє знизити вимоги до електродинамічної та термічної стійкості провідників та апаратів; полегшити роботу низки елементів електроустановок, у тому числі генераторів електростанцій, при перехідних процесах; знизити вартість електроустановок і розподільних мереж. Установка індукційних обмежувачів струму дасть змогу як тимчасово реконструювати підстанцію, так і у вигляді остаточного технічного рішення.

Переваги застосування індукційних обмежувачів струму з надпровідниковими обмотками полягають у відсутності активного опору у нормальному режимі. Швидкість втрати надпровідної фази обмотки дає змогу майже безінерційно збільшувати опір індукційних обмежувачів струму під час виникнення короткого замикання та обмежувати струм до певної величини. Також, можливо досягти зниження падіння напруги та потужності втрат реактора завдяки використанню високотемпературних надпровідників.

### Список літератури:

1. Данько В.Г., Полянська І.С., Гончаров Є.В. Використання високотемпературної надпровідності в електроенергетичному обладнанні. Харків : НТМТ, 2011. 248 с.
2. Стернин В.Г., Карпенский А.К. Сухие токоограничивающие реакторы. Москва : Л., изд. Энергия, 1965, 256 с.
3. Koki Omura, Hiroki Kojima, Naoki Hayakawa, et al. Current Limiting Characteristics of Parallel-Connected Coated Conductors for High-Tc Superconducting Fault Current Limiting Transformer (HTc-SFCLT). *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 2009. Vol. 19. No 3. P. 1880–1883.
4. Алексеев М.П., Кейлин В.Е., Микляев С.А., и др. Сверхпроводящий ограничитель тока короткого замыкания. *Электричество*. 2003. № 9. С. 20–26.
5. Meerovich V., Sokolovsky V., Goren S., Jung G. AC losses in HTSC BSCCO hollow cylinders with induced current. *Physica C : Superconductivity*, 1999, Vol. 319. No. 3. P. 238–248.
6. Janowski T., S. Kozak, B. Kondratowicz-Kucewicz, et al. Analysis of transformer type superconducting fault current limiters. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2007. Vol. 17. No 2. P. 1788–1790.
7. Реакторы токоограничивающие бетонные : ГОСТ 14794-79. Москва : Издательство стандартов, 1986, 36 с. (Межгосударственный стандарт).
8. Sokolovsky V., Meerovich V., Vajda I., et al. Superconducting FCL : Design and Application. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2004. Vol. 14. No. 3. P. 1890–1899.
9. Dan'ko V.G., Goncharov E.V., Polyakov I.V. Analysis of energy efficiency of a superconducting short circuit current limiter. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6. No. 5 (84). P. 4–12.

## **Honcharov E.V. ANALYSIS OF APPLICATION OF THE INDUCTIVE SHORT CIRCUIT CURRENT LIMITER**

*In paper technical analysis of existing circuit designs and constructive solutions concerning restriction of ultrahigh currents of short-circuit is spent. The structure and operation conditions of inductive short-circuit current limiters are analyzed. Demands of networks to current-limiting coils in the capacity of inductive short-circuit current limiters are analyzed. Application peculiarities of superconducting materials in inductive short-circuit current limiters are analyzed. Application advantages of traditional and superconducting current-limiting coils, as inductive short-circuit current limiters are determined.*

*Peculiarities of operation modes of inductive short-circuit current limiters with a copper or superconducting winding are analyzed. According to design features of inductive short-circuit current limiters it is resulted calculation of key parameters of magnetic system which considers factor of restriction of a current, shock factor, reaction factor. Application of a high-temperature superconductor, thanks to the raised critical parameters, provides preservation of a superconducting condition of a winding in a short-circuit mode. Application of inductive short-circuit current limiters with a superconducting winding will provide power savings in a nominal mode. Application of inductive short-circuit current limiters reduces requirements to protection devices, facilitates work of electric devices, including generators of power stations, and also reduces cost of electric equipment and distributive electric systems.*

*On the basis of the spent analysis of sufficient and necessary demands to parameters of inductive current limiters application are obtained. The gained results of analysis can be used in research of methods to advance operation characteristics of inductive current limiters.*

**Key words:** *short-circuit, current-limiting coil, current limiter, high-temperature superconductor, reactance, inductance, magnetic circuit.*

## ПРИЛАДИ

УДК 681.335

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/06>

### **Дегтярук В.І.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### **Будник М.М.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### **Ходаковський М.І.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### **Будник В.М.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### **Риженко Т.М.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### **Мудренко М.І.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### **Чайковський І.А.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

## **РОЗРОБКА ЕКГ-ФОТОМЕТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЗГІДНО З ВИМОГАМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГЛАМЕНТУ НА МЕДИЧНІ ВИРОБИ**

*У роботі наведені результати розробки портативного ЕКГ-фотометричного комплексу (далі – комплекс) згідно з вимогами технічного регламенту (далі – ТР) на медичні вироби. Одним з основних завдань розробки є захист від електромагнітних перешкод, оскільки з широким розповсюдженням електричних і електронних приладів та бездротових інтерфейсів все більш жорсткими стають вимоги ТР щодо забезпечення стійкості виробів до зовнішніх радіочастотних завад. Крім того, медична техніка не повинна генерувати надлишкові рівні електромагнітних завад (далі – ЕМЗ). Ці вимоги перевіряються у лабораторіях з випробувань електромагнітної сумісності. Вказаний комплекс призначений для діагностики та точкової реєстрації в часі в певних ділянках на поверхні тіла людини, а саме різниці потенціалів у ЕКГ відведеннях, яка генерується біоелектричною активністю серця та зміни оптичної густини у двох фотоплетизмографічних відведеннях, викликані зміною об'єму крові у приповерхневому шарі біотканин, яка генерується біомеханічною активністю серця. Вимоги ТР були враховані шляхом внесення захисту приладу від ЕМЗ та електростатичних розрядів (далі – ЕСР). Для послаблення дії ЕМЗ було використано синфазні дроселі та деякі інші компоненти для захисту від ЕСР. Захист USB портів ЕКГ та ФПГ модулів електронного блоку від ЕМЗ та ЕСР був реалізований шляхом застосування вдосконаленого USB інтерфейсу фірми Intel. Додатковий захист з метою ізоляції електронних модулів було здійснено поліетилен-терефталатною плівкою, а захист внутрішніх частин та корпусу електронного блоку виконано кремнійорганічним герметиком.*

**Ключові слова:** *технічний регламент, ЕКГ-фотометричний комплекс, електромагнітні завади, електростатичні розряди.*

**Постановка проблеми.** З 1 січня 2016 року набрав чинності Технічний регламент (далі – ТР) на медичні вироби (Постанова КМУ № 94 від 13 січня 2016 р.) [3; 4]. Даний ТР висуває вимогу

проведення обов'язкової оцінки відповідності та нанесення відповідного маркування до введення продукції в експлуатацію. Необхідність захисту ЕКГ-фотометричного комплексу від електромагнітних

завад (далі – ЕМЗ) та електростатичних розрядів (далі – ЕСР) викликана вимогами ТР на медичні вироби, зокрема на конструкцію блоку обробки сигналів (далі – БОС).

Одним з основних завдань ТР є захист від ЕМЗ, оскільки з ростом числа електричних і електронних приладів і з широким розповсюдженням бездротових інтерфейсів все більш важливим стає вимога до забезпечення стійкості виробів до дії радіочастотного випромінювання. Крім того, медична техніка не може генерувати надлишкові рівні ЕМЗ, і ця характеристика оцінюється в лабораторіях з випробування електромагнітної сумісності (далі – ЕМС).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Раніше нами розроблено 5 зразків портативного ЕКГ-фотометричного комплексу [1; 2]. Вказаний комплекс призначений для діагностики та точкової реєстрації в часі в певних ділянках на поверхні тіла людини змін ЕКГ потенціалів у 6 відведеннях, які генеруються біоелектричною активністю серця та змін оптичної густини у двох фотоплетизмографічних (далі – ФПГ) відведеннях, викликаних зміною об'єму крові у приповерхневому шарі біотканин, які генеруються біомеханічною активністю серця.

Фотометричний метод реєстрації пульсових хвиль поєднує в собі всі переваги традиційних. Крім високої інформативності він дає змогу виконувати дослідження упродовж тривалого часу без впливу на перебіг досліджуваних процесів. Це дає можливість аналізувати досить тривалі відрізки записів пульсу, що, зі свого боку, дає змогу відстежувати та давати цифрову або кількісну оцінку окремих компонентів пульсових кривих, які мають самостійний характер і за аналогією з ритмологічним підходом до динаміки серцевої діяльності [1] з'являється можливість визначити вплив нервової та гуморальної регуляції на скорочувальну активність як судинної системи так і серця. Низка досліджень показали, що ендотеліальна дисфункція – одне з перших свідчень про захворювання серцево-судинної системи, яке визначається клінічно і є його предиктором за кілька років до проявів захворювання [1; 2; 5].

В роботі використано практичні рішення щодо підвищення стійкості до ЕМЗ і ЕСР, які рекомендовані в [6].

**Ціллю статті** є розробка ЕКГ-фотометричного комплексу згідно з вимогами ТР на медичні вироби. Одним з основних завдань розробки є захист від електромагнітних перешкод, оскільки за широкого застосування електронних приладів та бездротових інтерфейсів все більш жорсткими стають вимоги ТР щодо забезпечення стійкості виробів під час медичних досліджень.

**Виклад основного матеріалу.** Одержання вірогідних даних під час вимірювання ЕКГ та ФПГ-характеристик під час діагностики організму людини вимагає надійного захисту ЕКГ-фотометричного комплексу від ЕМЗ та ЕСР, а відтак виникає необхідність чітко виконувати вимоги ТР на медичні вироби, зокрема на конструкцію БОС.

**Будова та робота приладу.** Блок-схема приладу наведена на рис. 1.

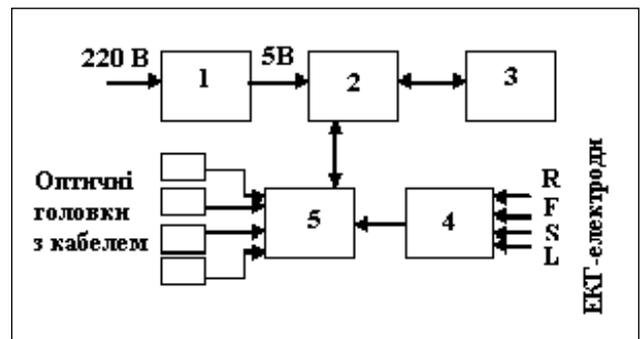


Рис. 1. Блок-схема приладу: 1- джерело живлення; 2-ноутбук; 3 - програмне забезпечення; 4- ЕКГ кабель; 5- блок обробки сигналів

Сигнали надходять в БОС 5, де проходять обробку на мультиплексорі, АЦП та мікропроцесорі. З мікроконтролера сигнал у цифровому вигляді через гальванічну розв'язку та роз'єм USB надходить на обробку в комп'ютер [2].

Експлуатаційні характеристики приладу такі: прилад є відновлювальним виробом і за наслідками можливих відмов в процесі експлуатації належить до класу В згідно з РД 50-707.

Щодо потенційного ризику застосування прилад належить до класу ІІб, як неінвазивний медичний виріб згідно з ДСТУ 4388.

Прилад є ЗВТ і підлягає повірці раз на 1 рік.

**Вдосконалення приладу згідно з вимогами ТР.** Вимоги ТР на медичні вироби до БОС ЕКГ-фотометричного комплексу були враховані шляхом внесення захисту від ЕМЗ та ЕСР. Згідно з наявними можливостями, зокрема, електронних компонентів фірми Intel для послаблення ЕМЗ було використано синфазні дроселі та деякі інші компоненти для захисту від ЕСР. Також був внесений додатковий захист з метою ізоляції модуля ЕКГ та захисту внутрішніх і зовнішніх частин БОС. Захист USB портів ЕКГ та ФПГ модулів, корпусу БОС від ЕМЗ та ЕСР був реалізований шляхом застосування вдосконаленого комп'ютерного інтерфейсу фірми Intel.

Згідно з вимогами ТР в конструкцію БОС та ЕКГ і ФПГ модулів були внесені наступні зміни щодо захисту USB портів від ЕМЗ та ЕСР. Для захисту була використана рекомендована топологія друку-

ваної плати для одного порту USB: дві диференціальні сигнальні лінії (D+ і D-) з роз'єму йдуть на TVS-діод (код 824 011) і через синфазний дросель (код 744 232 090) на USB контролер. Це забезпечує надійний захист від ЕСР і придушення ЕМЗ в обох лініях. Лінія Vbus виконується подібно сигнальній лінії, але замість синфазного дроселя використовується феритовий фільтр (код 742 792 641).

Після феритового фільтра можна включити конденсатор і другий феритовий фільтр для досягнення максимального придушення ЕМЗ. Для дуже чутливих ІС і/або для пристроїв, що вимагають високої надійності, можна отримати оптимальне придушення ЕСР, використавши подвійне підключення матриці з чотирьох TVS-діодів (код 824 015) (рис. 2 і 3).

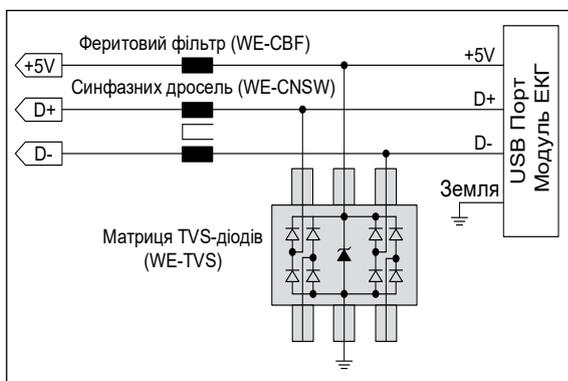


Рис. 2. Схема захисту USB порту модуля ЕКГ

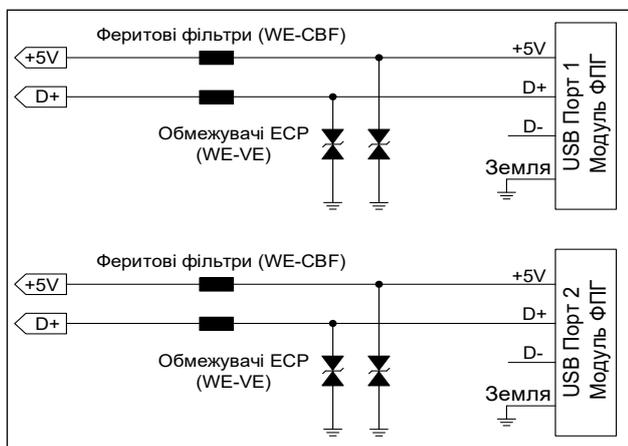


Рис. 3. Схема захисту USB портів модуля ФПГ

Надійно захищеними виявляються всі чотири сигнальні лінії та спільне джерело живлення. Для подальшої оптимізації, тобто для фільтрації вхідного синфазного шуму, а також диференціального шуму лінії USB, використовується LC фільтр на основі синфазного дроселя WE-CNSW і конденсаторів. Для придушення шуму в лініях живлення також використали феритові фільтри

(чип-ферити) серії WE-CBF Würth Elektronik (WE CBГ 742792641).

Для захисту лінії живлення немає сенсу використовувати обмежувач ЕСР малої місткості. Для цієї мети краще підійде стандартний варістор (WE-VE 82307050029) для поверхневого монтажу, здатний витримувати значні імпульсні перенапруги та потужні перехідні процеси. Компанія Würth Elektronik випускає матриці TVS-діодів серії WE-TVS, які виконують три основні функції: захист від електростатичних розрядів згідно з EN 61000-4-2; захист від імпульсної перенапруги згідно з EN 61000-4-5; захист від імпульсних перехідних перешкод згідно з EN 61000-4-4. Серія WE-TVS являє собою матрицю з TVS-діодів з високими характеристиками, здатних обмежувати імпульсні перенапруги.

Ці матриці рекомендуються для захисту від перенапруги високошвидкісних ліній передачі даних, таких як USB 2.0, DVI або LAN. Параметри серії WE-TVS перевершують вимоги стандарту EN 61000-4-2. Завдяки надмалій місткості (<2 пФ) ці діоди практично не впливають на характеристики сигнальної лінії. Крім того, між сигнальною лінією і землею включаються компоненти для захисту однієї лінії, такі як обмежувачі ЕСР серії WE-VE.

*Екранування корпусу БОС для захисту від ЕСР.* Найбільш ефективно ЕСР екранування може бути досягнуте з допомогою оболонки з металу з високою провідністю (мідь, срібло або алюміній). Форма оболонки та товщина стінок на якість екранування майже не впливають. Для забезпечення ЕСР екранування корпусу БОС був використаний гнучкий текстоліт вкритий шаром мідної фольги (фольгований текстоліт). На рис. 4 показано екран на корпусі БОС. Додатковий захист з метою ізоляції модулів ЕКГ та ФПГ поліетилентерефталатною (далі – ПЕТ) плівкою та захист внутрішніх частин і корпусу БОС виконано з допомогою кремнійорганічного герметика ЕКП-102 марки Е. На рис. 5 показано модуль ЕКГ покритий плівкою.



Рис. 4. Екран на корпусі БОС



Рис. 5. Плівка ПЕТ якою вкритий модуль ЕКГ

Плівка ПЕТ – виготовляється з поліетилен-терефталата. Поряд з хімічною стійкістю плівка має підвищені механічні властивості, діелектричні показники в широкому діапазоні температур від  $-65$  до  $+155$  °С, високу теплостійкість й малу усадку.

Герметик кремнійорганічний ЕКП-102 марки Е застосовується для поверхневої герметизації приладів, резисторів, приклеювання і фіксації деталей. Герметик ЕКП-102 марки Е випускається за ТУ У 25.1-00203625-096-2003 у вигляді однокомпонентної композиції білого або сірого кольору з в'язкістю до 1 000 сек. Має питомий об'ємний опір, Ом\*см, не менше  $1 \cdot 10^{13}$ . Температурний інтервал експлуатації в повітряному середовищі герметика від  $-60$  до  $+150$  °С.

Також були встановлені феритові фільтри на кабелі БОС. Феритові кільця – це компоненти електричного кола, які використовуються як пасивні елементи для фільтрації високочастотних перешкод завдяки підвищенню індуктивності провідника і поглинання перешкод, що перевищують заданий поріг. На багатожильних проводах ферит працює як синфазний трансформатор, який пропускає несиметричні сигнали в кабелі (імпульси струму, наприклад, в кабелях передачі даних або в ланцюгах живлення постійним струмом) і гасить симетричні сигнали (які потенційно можуть викликатися в таких кабелях тільки електромагнітними наведеннями). На кабелях живлення феритові кільця (рис. 6) застосовуються для зменшення перешкод, які можуть створити самі кабелі, а на сигнальних – (які передають дані) ферити гасять наведені перешкоди. Для придушення шуму в лініях живлення використовували феритові фільтри (чип-ферити) серії WE-CBF Würth Elektronik (WE CBF 742792641).



Рис. 6. Феритові фільтри на кабелях БОС

Крім того, між сигнальною лінією і землею включаються компоненти для однієї лінії, такі як обмежувачі ЕСР серії WE-VE.

#### *Проведення випробувань на ЕСР в УкрТЕСТі.*

На рис. 7 відображено розташування приладу для проведення випробувань на стійкість до пробую електростатичними розрядами.



Рис. 7. Електростатичний розряд, прикладений до стінки БОС

Стіл покрито листом металу та поверх вкрито захисним гумовим килимом. З допомогою генератора електростатичних розрядів проводиться випробування на стійкість всіх частин приладу до серії електростатичних розрядів:  $\pm 2$  кВ,  $\pm 4$  кВ,  $\pm 6$  кВ,  $\pm 8$  кВ.

Після проведення попередніх випробувань на електромагнітну сумісність DC/DC перетворювач ADUM 6000 був замінений на перетворювач напруги RV-0505S Resom. Даний перетворювач має кращі характеристики з завадозахищеності від високого рівня шумів.

Під час випробування приладу під дією ЕСР може зависати мікроконтролер. Для повторного запуску встановлена кнопка перезавантаження мікроконтролера. У випадку, коли під час випробувань ЕСР може бути пробитим корпус приладу, пропонуємо захист корпусу в роз'ємі ЕКГ електродів (рис. 8).



Рис. 8. Захищений корпус роз'єму ЕКГ електродів

**Висновки.** Отже, розроблено ЕКГ-фотометричний комплекс згідно з вимогами ТР на

медичні вироби. Виконано захист від електромагнітних перешкод щодо забезпечення стійкості виробів під час медичних досліджень. Вдосконалена конструкція блоку обробки сигналів згідно з вимогами технічного регламенту, з урахуванням вимог міжнародних стандартів для проходження випробувань з електромагнітної сумісності та завадостійкості проти електростатичних розрядів. Проведено випробування з електромагнітної сумісності та завадостійкості проти електростатичних розрядів в УкрТЕСТі ДП «Укрметртест-стандарт». Доопрацьована конструкторська документація, в яку внесені зміни згідно з проведеними вдосконаленнями щодо електромагнітної сумісності.

#### Список літератури:

1. Дегтярук В.І. Пульсові процеси в серцево-судинній системі людини та їх використання для діагностики. Зб. наук. праць Ін-ту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України «Комп'ютерні засоби, мережі та системи». Київ : 2014. № 13. С. 43–52.
2. Дегтярук В.І., Будник М.М., Ходаковський М.І., Мудренко М.І., Мешков В.В. Розробка фотометричних приладів для пульсометрії. Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. 2018. Т. 29 (68). № 5. 12 с.
3. Процедура оцінки відповідності з Технічного регламенту по медичним виробам : Постанова КМУ від 02.10.2013 № 753. – 2015 р. URL: [www.matriks.com.ua/tehnicheskij-reglament-753](http://www.matriks.com.ua/tehnicheskij-reglament-753).
4. Про затвердження переліку національних медичних виробів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 02 жовтня 2013 року № 753 : Наказ МОЗ України від 11.10.2017 № 1245. URL: [www.moz.gov.ua/nakaz-moz-ukraini-vid-11102017-1245](http://www.moz.gov.ua/nakaz-moz-ukraini-vid-11102017-1245).
5. Забезпечення єдності вимірювань в біомедичних оптичних приладах / Ходаковський М.І., Будник М.М., Лебедева Т.С., Шпильовий П.Б., Мерж винський П.А., Дегтярук В.І., Риженко Т.М., Тимошенко Я.М., Грищенко Л.В., Расчектаева А.І., Тимофеев Є.П. *Метрологія та прилади*. 2017. № 1. С. 25–36.
6. The Protection of USB 2.0 Applications. URL: [https://www.we-online.de/web/de/electronic\\_components/produkte\\_pb/application\\_notes/robustes\\_design\\_von\\_usb\\_anwendungen.php](https://www.we-online.de/web/de/electronic_components/produkte_pb/application_notes/robustes_design_von_usb_anwendungen.php).

**Dehtiaruk V.I., Budnyk M.M., Khodakovskiy M.I.,**

**Budnyk V.M., Ryzhenko T.M., Mudrenko M.I., Chaykovskyy I.A.**

#### **DEVELOPMENT OF ECG PHOTOMETRIC COMPLEX UNDER THE REQUIREMENT OF TECHNICAL REGULATIONS FOR MEDICAL PRODUCTS**

*The results of a portable ECG-photometric complex (hereinafter – the complex) development in accordance with the requirements of the technical regulations (hereinafter – TR) for medical products are presented in this paper. One of the main tasks of the development is protection against electromagnetic interference, since with the widespread distribution of electrical and electronic devices and wireless interfaces; TR requirements are becoming increasingly rigid to ensure that products are resistant to intentional and unintentional radio frequency interference. In addition, medical equipment can not generate excessive levels of electromagnetic compatibility (hereinafter – EMC). These requirements are checking in the laboratories for testing electromagnetic compatibility. The specified complex is intended for diagnostics and point registration in time in certain areas on the human body surface, namely the potential difference in ECG leads, which is generated by the bioelectric activity of the heart and changes of optical density in two photoplethysmographic (hereinafter – PPG) leads caused by changes in blood volume in a near-surface bioassay layer that is generated by the biomechanical activity of the heart. TR requirements were taken into account by the device protection from EMC and electrostatic discharges (hereinafter – ESD). In order to reduce the EMC action, common-mode chokes and some other components for protection from ESR were used. An additional isolation of the ECG module and the internal and external parts of the signal processing unit was also introduced. The protection of USB ports of ECG and PPG modules of the electronic unit from EMC and ESD was implemented through the use of the improved USB interface of Intel Company. Additional protection for the isolation of the ECG module was carried out with a polyethylene terephthalate film, and the protection of internal and external parts using a silicon organic sealant.*

**Key words:** technical regulations, ECG-photometric complex, electromagnetic interference, electrostatic discharges.

## ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.9

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/07>

**Борейко М.Г.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

**Будник М.М.**

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України

### УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ ВИЯВЛЕННЯ ФІБРИЛЯЦІЇ ШЛУНОЧКІВ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГІЛЬБЕРТА

Серцево-судинні захворювання (далі – ССЗ) є одними з найнебезпечніших та є причиною майже третини смертей у всьому світі. Серед різних форм ССЗ особливо важливою та небезпечною є фібриляція шлуночків – порушення ритму серця, що призводить до летального результату за лічені хвилини. Єдиним способом врятувати людину, в якій почалася фібриляція шлуночків, є дефібриляція – пропускання потужних високовольтних електричних імпульсів через грудну клітину людини. Однією з найголовніших характеристик дефібрилятора є здатність відрізнити фібриляцію шлуночків від нормального синусового ритму за сигналом ЕКГ.

У статті розглянуто сучасні алгоритми для детектування фібриляції шлуночків, такі як TCI, VF, SPEC, CPLX, NILB. Найкращу чутливість серед них має алгоритм NILB, який ґрунтується на побудові фазо-просторового графіка методом перетворення Гільберта. Фазо-просторовий графік ЕКГ з фібриляцією шлуночків має більш випадковий характер, та точки наявні майже на всій площі графіку. Густина заповнення площі графіку є головною метрикою для прийняття рішення. Проте специфічність даного методу недостатня – алгоритм часто плутає фібриляцію шлуночків з тахікардією.

Авторами було знайдено можливості для покращення специфічності алгоритму NILB завдяки введенню додаткових умов до розподілу точок на фазо-просторовому графіку, таких як центр мас та середньоквадратичне відхилення від нього. Авторами було розроблено програмне забезпечення (далі – ПЗ) для аналізу сигналу ЕКГ в одному відведенні. ПЗ реалізує попередню фільтрацію сигналу та запропонований алгоритм детекції фібриляції шлуночків.

Проведена валідація алгоритму на відомих відкритих базах даних, таких як MIT-BIH Arrhythmia Database, American Heart Association Database (AHA), Creighton University Ventricular Tachyarrhythmia Database (CU). Була отримана чутливість для даних CU – 83%, позитивна прогностичність – 93%, для MIT-BIH – 100% та 100%, для AHA – 90% та 98%, відповідно. Проведено порівняння результатів з алгоритмами TCI, VF, SPEC, CPLX та NILB. Чутливість та позитивна прогностичність запропонованого алгоритму краще за відомі алгоритми.

**Ключові слова:** електрокардіограма, фібриляція шлуночків, перетворення Гільберта, автоматичний аналіз ЕКГ, MIT-BIH база даних.

**Постановка проблеми.** Серцево-судинні захворювання (далі – ССЗ), викликані порушеннями у роботі серця і судин, є значною проблемою в усьому світі. Всесвітня організація охорони здоров'я (далі – ВООЗ) [1] повідомила, що 17,7 мільйона людей померли від ССЗ у 2015 році, що становить приблизно 31% всіх смертей у світі. За даними ВООЗ, якщо не розв'язати цю проблему, то рівень смерті від ССЗ буде постійно зростати. У цьому зв'язку актуальним є моніторинг основних

діагностичних показників ССЗ (частота серцевих скорочень, варіабельність ритму серця, ЕКГ, частота дихання та інші) [2]. Це особливо важливо для професій, пов'язаних з високим рівнем фізичного або емоційного навантаження, наприклад, військовослужбовців [3; 4].

Серед різних форм серцевих захворювань, фібриляція шлуночків (далі – VF) є одним з найважливіших і небезпечних порушень ритму серця. Дійсно, VF може призвести до смерті протягом

декількох хвилин. Ступінь виживання для людини, яка має VF за межами лікувального закладу коливається в межах від 7% до 70% залежно від часу надання першої допомоги [5]. Для реанімації використовуються автоматичні зовнішні дефібрилятори (AED). Ці пристрої аналізують електрокардіограму (ЕКГ) пацієнта і розпізнають, чи повинна бути проведена шок терапія. Отже, життєво важливим є те, щоб алгоритми аналізу ЕКГ, які використовуються в AED, добре розрізняли VF від стабільного, але швидкого нормального синусового ритму (NSR).

Загальноприйнятим методом оцінки точності виявлення VF є валідація на стандартних базах даних, таких як база даних MIT та Beth Israel Hospital (далі – MIT-BIH), база даних Creighton University (далі – CU) з фібриляції шлуночків [6], база даних Американської асоціації серця (далі – АНА). Якість роботи алгоритмів вимірюється на основі статистичних показників точності класифікації, таких як чутливість, специфічність, позитивна та негативна прогностичності, а також враховується складність обчислень та застосовується аналіз на основі ROC кривої для визначення оптимального значення порогу.

**Сучасний стан досліджень.** Найостаннішою і найоригінальнішою роботою, яка порівнює різні алгоритми, є дослідження Amann et al. [7-9], Ismail et al. [10], Anas et al. [11] та Arafat et al. [12]. Amann et al. [7] порівнювали п'ять нових алгоритмів виявлення VF на великій кількості даних, які були анотовані кваліфікованими кардіологами. Вони обрали три бази даних без анотацій та без попереднього відбору епізодів ЕКГ для тестів. У межах отриманих результатів особливо важливими виявилися алгоритми TCI [13], VFF [14]. У подальшому дослідженні Amann et al. [9] розробив алгоритм виявлення VF, який називався Time Delay (далі – TD), на основі реконструкції фазового простору, а потім порівнював його з чотирма наявними алгоритмами, TCI, VFF, спектрального алгоритму (далі – SPEC) і комплексного вимірювання (далі – CPLX), які були представлені в попередньому дослідженні [7].

Ismail et al. [10] порівнювали п'ять різних алгоритмів, у тому числі CPLX, MEA, TCI, TD і VFF, і досліджували вплив комбінування двох алгоритмів. Вони дійшли висновку, що об'єднання двох алгоритмів може покращити загальну продуктивність. Anas et al. [11] розробили послідовний алгоритм виявлення на основі методу «емпіричних мод» (Empirical Mode Decomposition – EMD), який показав кращу продуктивність ніж шість

інших алгоритмів, у тому числі TD і TCI. Однак, EMD вимагає порівняно високої обчислювальної складності у порівнянні з іншими. Arafat et al. [12] розробив алгоритм в часовій області, названий TCSC, адаптований з TCI та порівняв його продуктивність з шістьма алгоритмами, у тому числі CPLX, TCI та TD. Вони прийшли до висновку, що TCSC працює краще, ніж TCI.

Літературні дані результатів різних досліджень демонструють неоднозначні результати серед методів виявлення фібриляції передсердь. Це може бути зумовлено використанням різних порогових значень для класифікації та різних експериментальних параметрів. На жаль більшість досліджень не повідомляли про порогові параметри, що використовувалися в їх дослідженнях. Однак, зрозуміло, що TCI, TCSC, TD, VFF і TOMP є одними з найпопулярніших методів, що використовуються для тестування.

**Постановка завдання.** Однак, розглянуті вище алгоритми не показали достатньо високої точності, тому є велика потреба на підвищення точності та специфічності детектування VF. Альтернативним до класичних алгоритмів є новий алгоритм на основі Гільбертового перетворення, вперше розроблений у [8]. Він дав найкращий результат щодо чутливості до VF, хоч і трохи програв у специфічності. Проте авторами даної роботи були знайдені перспективи підходи до покращення специфічності даного алгоритму. Тому метою даної роботи є розробка й тестування покращеного алгоритму HLB для виявлення фібриляції шлуночків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Методика обчислень.** Запропонований алгоритм ґрунтується на перетворенні Гільберта [15]. Перетворення Гільберта – це специфічний лінійний оператор, який обробляє функцію  $u(t)$  дійсної (не комплексної) змінної та генерує ще одну функцію дійсної змінної  $H(u)(t)$ . Гільбертове перетворення  $u$  можна розглядати як згортку  $u(t)$  з функцією  $h(t) = 1/(\pi t)$ , відомою як ядро Коші. Оскільки  $h(t)$  не є інтегрованим, то інтеграл, що визначає згортку, не завжди сходиться. Натомість перетворення Гільберта визначається з допомогою головного значення Коші (позначене тут  $p.v.$ ). Зокрема, перетворення Гільберта функції (або сигналу)  $u(t)$  описується виразом:

$$H(u)(t) = \frac{1}{\pi} p.v. \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{u(\tau)}{t - \tau} d\tau, \quad (1)$$

З точки зору аналізу в частотній області, перетворення Гільберта можна вважати фільтром, який просто зсуває фази всіх частотних компонент

сигналу на його вході на  $\pi/2$  радіан. Побудуємо фазово-просторовий графік для реального ЕКГ сигналу, для цього на осі абсцис відкладемо сигнал ЕКГ  $x(t)$ , а по осі  $Y$  відкладемо графік перетворення Гільберта  $xH(t)$  сигналу ЕКГ.

Зауважимо, що ділянки фазового простору ЕКГ з фібриляцією шлуночків VF заповнюють площину XY більш-менш нерегулярно, тобто хаотично. З іншого боку, ділянки фазового простору ЕКГ з нормальним синусовим ритмом завжди демонструють показують криві у фазовій площині подібні до кола. На рисунку 1 показано типовий сигнал ЕКГ з нормальним синусовим ритмом з бази даних CU і відповідні точки на графіку фазової площини. Аналогічно на рисунку 2 наведено результати перетворення Гільберта для ЕКГ сигналу з фібриляцією шлуночків.

В оригінальній статті [8] автори пропонували накласти на фазо-просторовий графік сітку  $40 \times 40$ , отримуючи у такий спосіб 1 600 кластерів (комірок), кожен з яких може бути або порожнім, або заповненим. Головним кількісним критерієм для

детектування VF було співвідношення заповнених кластерів до загальної їх кількості.

$$NEC = \frac{\text{number of visited cells}}{\text{number of all cells}}, \quad (2)$$

Проте, зазначений критерій (2) добре працює на ЕКГ без шумів, артефактів та інших аритмій, в той час як у випадку неякісних чи зашумлених ЕКГ сигналів – призводить до великої кількості хибнопозитивних результатів. Приклад показаний на рисунку 3, з якого видно, що за шлуночкової тахікардії коло на графіку у фазово-просторовій площині стає ширшим.

Таким чином, кількість заповнених кластерів достатня, щоб виявити ділянку ЕКГ сигналу з VF, хоч насправді це не відповідає дійсності. Тому запропоновано ввести додатковий критерій – середню відстань  $d$  від кластерів  $r$  до центру мас графіка  $q$

$$d = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{k=1}^n (r_k - q)^2}, \quad (3)$$

де  $r$  – вектор від початку координат до кластера,  $n$  – загальна кількість заповнених кластерів. На цій центр мас графіка обчислюється згідно з

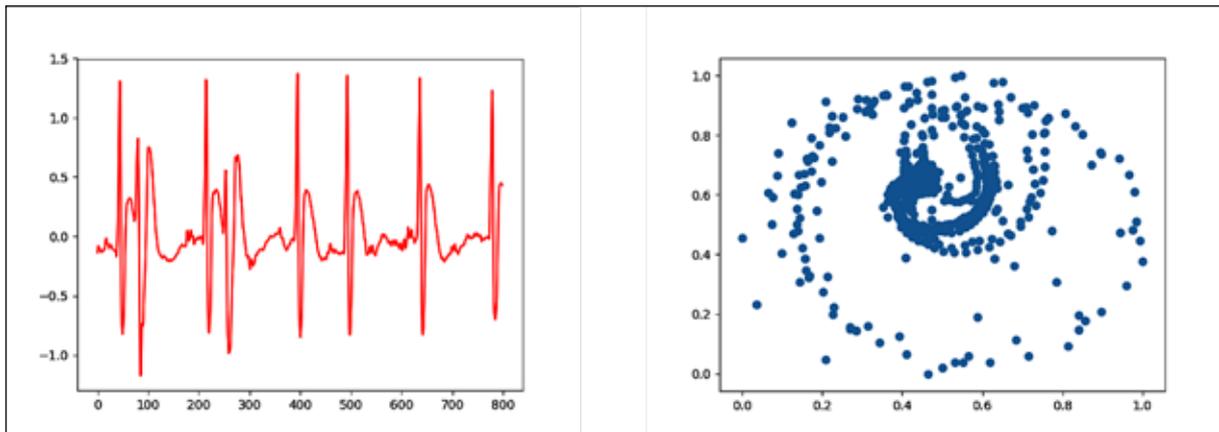


Рис. 1. ЕКГ з нормальним синусовим ритмом (ліворуч) та його фазо-просторовий графік (праворуч)

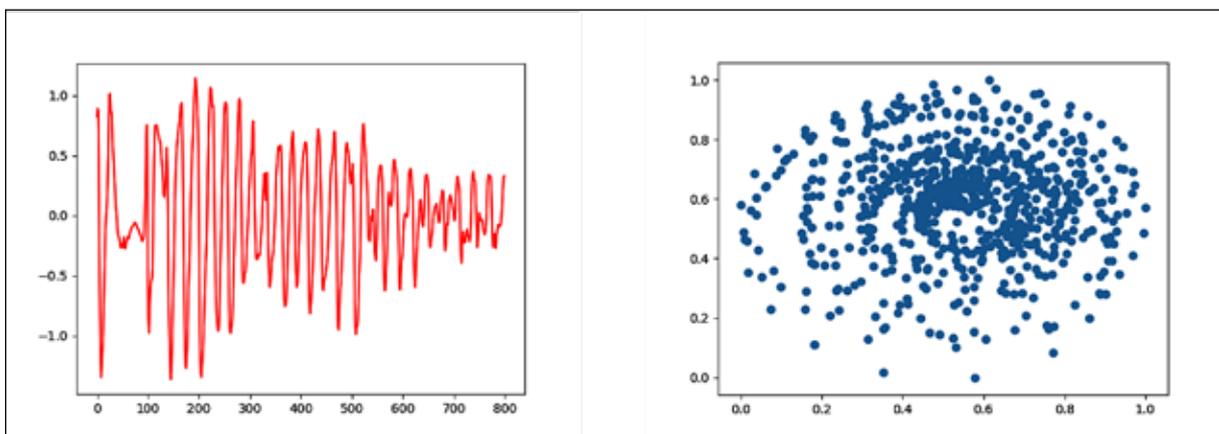


Рис. 2. ЕКГ з фібриляцією шлуночків (ліворуч) та його фазо-просторовий графік (праворуч)

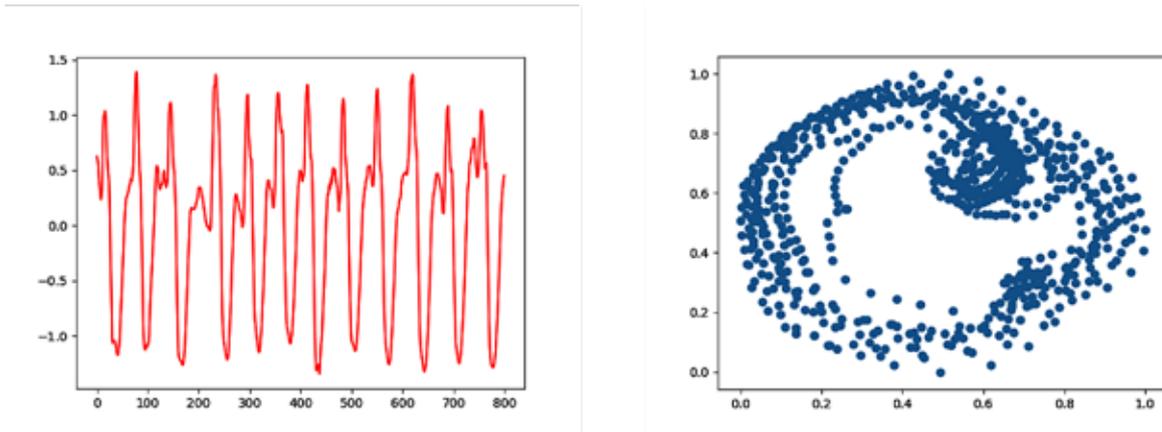


Рис. 3. ЕКГ з тахікардією (ліворуч) та його фазо-просторовий графік (праворуч)

Таблиця 1

Порівняння запропонованого алгоритму з іншими відомими алгоритмами

Алгоритм	CU		MIT-BIH		AHA	
	Se	P+	Se	P+	Se	P+
TCI	71,00%	38,90%	74,50%	0,80%	75,70%	54,40%
VF	30,80%	<b>94,50%</b>	29,40%	82,40%	16,90%	<b>98,90%</b>
SPEC	29,00%	92,00%	23,10%	60,60%	29,20%	97,30%
CPLX	56,40%	52,70%	6,30%	0,10%	60,20%	60,70%
HILB	<b>83,00%</b>	59,10%	97,80%	6,30%	<b>93,30%</b>	78,30%
<b>Запропонований</b>	<b>83,00%</b>	93,00%	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>	90,00%	98,00%

формулою (4). Отже, в ЕКГ з VF показник  $d$  має бути менший, ніж у нормальної ЕКГ.

$$q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i, \quad (4)$$

**Програмна реалізація.** На основі запропонованого алгоритму була написана та протестована комп'ютерна програма на мові Python, що дозволяє аналізувати ЕКГ у форматі MIT на наявність ділянок з фібриляцією шлуночків. На виході програма генерує файл анотації ЕКГ у форматі MIT. Алгоритм роботи програми наведено на рисунку 4.

**Результати та обговорення.** Запропонований алгоритм був оцінений на трьох базах даних:

- БД MIT і Beth Israel Hospital (MIT-BIH) (всього 1 хв 37 с тривалість VF)
- БД Університету Крейтон (CU) (усього 1 год 28 хв 51 с тривалість VF)
- БД Американської кардіологічної асоціації (AHA) (всього 46 хв 28 с тривалість VF)

Порівняння опорних та тестових анотацій проводили з допомогою інструментів доступних на ресурсі Physionet [16]:

- *epictr* – ANSI / AAMI – стандартне порівняння анотацій епізод за епізодом;

- *sumstats* – отримання сукупної статистики з *bxb*, *gxr* тощо;

- *mxx* – стандартне порівняння ANSI / AAMI анотацій;

- *ecgeval* – ця програма генерує Bourne (*sh*) скрипт під UNIX, або пакетний файл під MS-DOS, для порівняння набору файлів тестових анотацій з набором файлів опорних анотацій з допомогою програм *bxb*, *rxr*, *mxx* і *epicmp*, а потім для формування зведених звітів шляхом передачі виходів цих програм *sumstats* і *plotstm*.

Для кожної бази даних розраховано загальну чутливість (**Se**) та позитивну прогностичність (**P+**). Результати тестування запропонованого алгоритму та інших добре відомих алгоритмів наведені в таблиці 1. Найкращі результати виділені жирним, найгірші – курсивом.

Отже, з табл. 1 видно, що загалом запропонований алгоритм дав набагато кращі результати ніж інші відомі алгоритми як для чутливості, так і для позитивної прогностичності. Так для БД MIT-BIH отримано максимально можливі 100% значення чутливості та позитивної прогностичності. Завдяки запропонованим покращенням

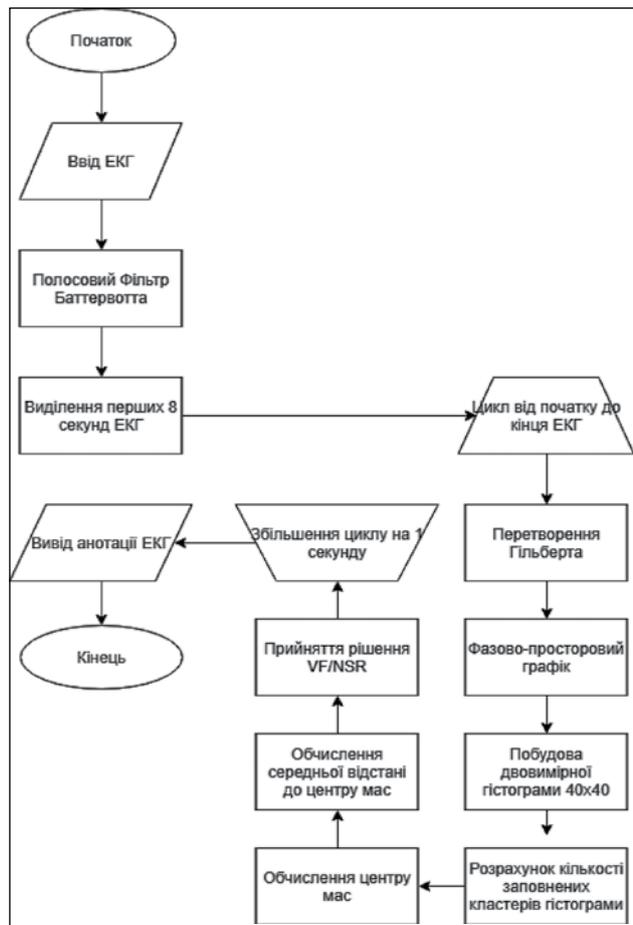


Рис. 4. Алгоритм роботи програми виявлення фібриляції шлуночків

в алгоритмі НІЛВ істотно зменшилася кількість хибно позитивних випадків, а також трохи збільшилася чутливість.

**Висновки.** Отже, у роботі запропоновано методу виявлення фібриляції шлуночків на ЕКГ, яка ґрунтується на застосуванні перетворення Гільберта. Для перевірки якості розробленого методу проведено його тестування на відомих у галузі ЕКГ діагностики електронних базах даних МІТ-ВІН, АНА та СУ, які містять сигнали з фібриляцією шлуночків. На основі запропонованого вдосконалення методики було суттєво зменшено кількість хибно позитивних випадків у порівнянні з відомою версією алгоритму на основі перетворення Гільберта.

За застосування автоматичних зовнішніх дефібриляторів у лікарській практиці специфічність є більш важливим показником точності класифікації ніж чутливість, оскільки жоден пацієнт не повинен бути підданий дефібриляції внаслідок похибки класифікації, тому що це може призвести до зупинки серця. Тому порогові значення для алгоритму класифікації були підібрані так, щоб отримати найвищу специфічність. Загалом, запропонована методика демонструє найвищу точність серед інших відомих алгоритмів класифікації для детектування фібриляції шлуночків серця людини, а саме 83-93% для БД СУ, 100% для БД МІТ-ВІН та 90-98% для БД АНА.

#### Список літератури:

1. World Health Organization (cited 23 Jun 2019). URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs317/en/index.html>
2. Борецько М., Будник М. Розробка програмно-апаратної системи моніторингу фізіологічного стану яхтсменів. *Вчені записки Таврійського нац. ун-ту ім. В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки.* 2018. Том 29 (68). № 3. Ч.1. С.101–104.
3. Борецько М., Чайковський І. Оцінка больового синдрому на основі аналізу варіабельності ритму серця. Зб. тез доповідей 4-ї Всеукр. наук.-практ. конф. «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», 7-8.09.2017. Військова Академія : Одеса. С. 216–217. <http://paperpile.com/b/rKWbUZ/Ewwn>
4. Білецький І., Чайковський І. Визначення частоти дихання на основі ЕКГ та дослідження її зв'язку зі ступенем посттравматичного стресового розладу у військовослужбовців. Там само, С. 215–216.
5. Weaver W.D, Cobb L., Hallstrom A., Copass M., Ray R., Emery M. et al. Considerations for improving survival from out-of-hospital cardiac arrest. *Ann Emerg Med.* 1986;15: 1181–1186.
6. Goldberger A., Amaral L., Glass L., Hausdorff J., Ivanov P., Mark R. et al. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation.* 2000;101: E215–20.
7. Amann A., Tratnig R., Unterkofler K. Reliability of old and new ventricular fibrillation detection algorithms for automated external defibrillators. *Biomed Eng Online.* 2005;4: 60.
8. Amann A., Tratnig R., Unterkofler K. A new ventricular fibrillation detection algorithm for automated external defibrillators. *Computers in Cardiology,* 2005. P. 559–562.
9. Amann A., Tratnig R., Unterkofler K. Detecting ventricular fibrillation by time-delay methods. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2007;54: 174–177.
10. Ismail A., Fries M., Rossaint R., Leonhardt S. Validating the Reliability of Five Ventricular Fibrillation Detecting Algorithms. 4th European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering. Springer Berlin Heidelberg; 2009. P. 26–29.

11. Anas E., Lee S., Hasan M. Sequential algorithm for life threatening cardiac pathologies detection based on mean signal strength and EMD functions. *Biomed Eng Online*. 2010;9: 43.
12. Arafat M., Chowdhury A., Hasan M. A simple time domain algorithm for the detection of ventricular fibrillation in electrocardiogram. *J VLSI Signal Process Syst Signal Image Video Technol*. 2011;5: 1–10.
13. Thakor N., Zhu Y., Pan K. Ventricular tachycardia and fibrillation detection by a sequential hypothesis testing algorithm. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1990;37: 837–843.
14. Kuo S. Computer detection of ventricular fibrillation. *Proc of Computers in Cardiology, IEEE Computer Society*. 1978; 347–349.
15. Hilbert Transform. In: Wikipedia [Internet]. [cited 23 Jun 2019]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert\\_transform](https://en.wikipedia.org/wiki/Hilbert_transform).
16. PhysioToolkit. In: Physionet [Internet]. [cited 23 Jun 2019]. URL: <https://physionet.org/physiotools>.

### **Boreiko M.H., Budnyk M.M. IMPROVED ALGORITHM FOR VENTRICULAR FIBRILLATION DETECTION BASED ON THE HILBERT TRANSFORM**

*Cardiovascular diseases (CVD) are one of the most dangerous and causes almost a third of deaths worldwide. Among the various forms of CVD, ventricular fibrillation is a one of the most important and dangerous. Ventricular fibrillation is a disturbance of the heart rhythm that results in a death in a few of minutes. The only way to save a person who has started ventricular fibrillation is defibrillation – the transmission of powerful high-voltage electrical impulses through the human chest. One of the main features of the defibrillator is the ability to distinguish ventricular fibrillation from the normal sinus rhythm from the ECG signal.*

*The article deals with modern algorithms for detecting ventricular fibrillation such as TCI, VF, SPEC, CPLX, HILB. The best sensitivity among them is the HILB algorithm, based on the construction of phase-space plot using the Hilbert transform. The phase-space plot of ECG with ventricular fibrillation is more random, and the points are present in almost the entire area of the plot. The density of filling the plot area is the main parameter for decision making. However, the specificity of this method is not sufficient – the algorithm often confuses the ventricular fibrillation with tachycardia.*

*The authors found opportunities to improve the specificity of the HILB algorithm by introducing additional features of the phase-space plot, such as the center of mass and the standard deviation of points. The authors developed software for analyzing the one lead ECG signal. The software implements preliminary filtering of the signal and offers an algorithm for detecting ventricular fibrillation.*

*Validation of the algorithm was performed on well-known open databases such as MIT-BIH Arrhythmia Database, American Heart Association Database (AHA), Creighton University Ventricular Tachyarrhythmia Database (CU). Sensitivity obtained for CU database is 83% and positive predictive value is 93%, for MIT-BIH – 100% and 100%, for AHA – 90% and 98%, respectively.*

*Comparison of results with TCI, VF, SPEC, CPLX and HILB algorithms was performed. Sensitivity and positive predictability of the proposed algorithm are better than known algorithms*

**Key words:** *electrocardiogram, ventricular fibrillation, Hilbert transform, automatic ECG analysis, MIT-BIH database.*

**Гончар С.Ф.**

Інститут проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова  
Національної академії наук України

## МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ РИЗИКІВ КІБЕРБЕЗПЕКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

*У роботі запропонована методологія оцінки суми ризиків кібербезпеки інформаційної системи об'єктів критичної інфраструктури. Доведено актуальність даної методології оцінки ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури під час створення систем управління інформаційною безпекою та комплексної системи захисту інформації таких інформаційних систем. Показано, що економічна доцільність застосування і вибір тих чи інших заходів з обробки ризику, включно як організаційні, так і технічні, визначається оцінювальним порівнянням вартості таких заходів з максимальною величиною збитків в результаті дії декількох ризиків. Результат оцінки суми таких ризиків дають підстави для прийняття рішення щодо прийнятності їхнього рівня і необхідності чи економічної доцільності їхньої подальшої обробки. У даній статті під сумою ризиків розуміємо певну величину, що визначається збитками у результаті реалізації усіх складових частин ризиків, і ймовірністю реалізації цих ризиків. Запропонована у статті методологія базується на застосуванні методів розрахунку суми ризиків і обчислення комплексного ризику. Показано, що ризик можливо представити у вигляді комплексного числа. Приведені методи розрахунку суми ризиків і обчислення комплексного ризику. На підставі запропонованої в даній статті методології, можливо розробити комплекс структурних рішень обчислювальних систем оцінки ризику кібербезпеки інформаційних систем, що реалізують методи розрахунку суми ризиків та обчислення комплексного ризику, а також побудувати програмні та апаратно-програмні системи, які базуються на використанні методів розрахунку суми ризиків та обчислення комплексного ризику кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури. Отримані результати можуть бути використані під час визначення ризику складного проекту (може бути складна інформаційна система), що характеризується наслідками під час реалізації даного проекту та ймовірністю цих наслідків.*

**Ключові слова:** кібербезпека, ризик, критична інфраструктура, інформаційна система, методологія.

**Постановка проблеми.** Сьогодні в галузях, які життєво важливі для критичної інфраструктури широко використовуються автоматизовані системи управління технологічними процесами, які включають системи диспетчерського управління і збору даних, системи розподіленого управління та інші конфігурації систем управління.

Ще порівняно недавно питання безпеки об'єктів критичної інфраструктури держави вирішувалося за двома основними напрямками: захист від несанкціонованого доступу на об'єкт та забезпечення надійного функціонування автоматизованих систем управління технологічним процесом. Однак розвиток та поширення інформаційних технологій, глобалізація інформаційно-телекомунікаційних мереж зумовили появу нового типу загроз безпеки об'єктів – злому і порушення режимів функціонування ключових об'єктів інформатизації, які відповідають за управління та забезпечення безпеки об'єктів критичної інфраструктури. Забезпечення кібербезпеки інформаційних систем об'єктів кри-

тичної інфраструктури регламентується Законом України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України», який визначає правові та організаційні основи забезпечення захисту життєво важливих інтересів людини та громадянина, суспільства та держави, національних інтересів України у кіберпросторі, основні цілі, напрями та принципи державної політики у сфері кібербезпеки, повноваження державних органів, підприємств, установ, організацій, осіб та громадян у цій сфері, основні засади координації їхньої діяльності з забезпечення кібербезпеки. Відповідно до даного Закону України кіберзахист – це сукупність організаційних, правових, інженерно-технічних заходів, а також заходів криптографічного та технічного захисту інформації, спрямованих на запобігання кіберінцидентам, виявлення та захист від кібератак, ліквідацію їхніх наслідків, відновлення сталості та надійності функціонування комунікаційних, технологічних систем. Забезпечення кібербезпеки досягається створенням системи управління інформаційною безпе-

кою (далі – СУІБ) відповідно до міжнародного стандарту ISO/IEC 27001:2013 та/або створенням комплексної системи захисту інформації (далі – КСЗІ) відповідно до Закону України «Про захист інформації в інформаційно-телекомунікаційних системах».

Одним з основних етапів побудови СУІБ, КСЗІ являється створення системи ризик-менеджменту. В системі ризик-менеджменту процес оцінки ризику є основою та підґрунтям для наукових досліджень в області аналізу та удосконалення наявних, а також винаходу нових методів оцінки ризику, підвищення точності його оцінки, здійснення над ризиками математичних операцій.

Стейкхолдери інформаційних систем прагнуть звести до мінімуму ризику кібербезпеки, а також мінімізувати витрати на заходи з мінімізації цих ризиків. Економічна доцільність застосування і вибір тих чи інших заходів з обробки ризику, включно як організаційні, так і технічні, визначається оцінювальним порівнянням вартості таких заходів з максимальною величиною збитків в результаті дії декількох ризиків. Результат оцінки суми таких ризиків дають підстави для прийняття рішення щодо прийнятності їхнього рівня і необхідності чи економічної доцільності їхньої подальшої обробки. Під сумою ризиків будемо розуміти певну величину, що визначається збитками у результаті реалізації усіх складових частин ризиків, і ймовірністю реалізації цих ризиків. Таке завдання являється актуальною для визначення ризику складного проекту (може бути складна інформаційна система), що характеризується наслідками під час реалізації даного проекту та ймовірністю цих наслідків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Наявні підходи до визначення поняття ризиків та методи їхньої оцінки недостатньо повно описують це поняття, не враховують суб'єктивний ризик, що ускладнює коректну його оцінку. Питання оцінки ризиків кібербезпеки інформаційних систем досліджувалося багатьма науковцями [1-8]. Водночас не вирішеним залишається питання, пов'язане з можливістю розрахунку суми ризиків, що дало б можливість здійснення кількісної оцінки ризику проекту загалом або вибраного напрямку розвитку процесу.

**Постановка задачі.** Таким чином, на сучасному етапі розвитку науки та техніки є об'єктивна суперечність між потребою в розрахунку суми ризиків та обчисленні комплексного ризику, з

одного боку, та відсутністю відповідних методів розрахунку, з іншого.

З огляду на викладене вище, тема дослідження присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної проблеми, пов'язаної з розробкою методології оцінки ризиків кібербезпеки інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури, орієнтованої на створення відповідних методів розрахунку суми ризиків, є актуальною.

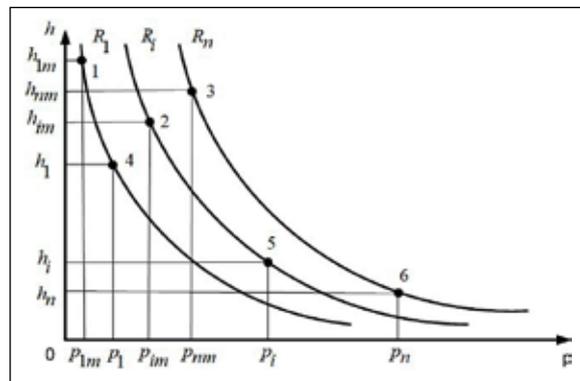
**Виклад основного матеріалу.** Є досить багато понять «ризик». Одне з них визначає ризик  $R$  як ймовірність або можливість  $p$  настання випадкової події, що призводить до певних збитків  $h$ , і може бути записано у вигляді:

$$R = p \cdot h, \tag{1}$$

Відповідно до (1) залежність збитків  $h$  в результаті настання деякої події від ймовірності  $p$  її настання можна представити у вигляді:

$$h(p) = \frac{R}{p}, \text{ де } p \neq 0, \tag{2}$$

Нехай, є  $n$  ризиків, де кожен ризик представлений графіком функції (2) і визначається ймовірністю настання випадкової події, що призводить до певних збитків (точки 4, 5, 6) (рис. 1).



**Рис. 1. Визначення суми ризиків**

Метод визначення суми ризиків передбачає послідовного визначення: максимальних значень збитків для кожного ризику; ймовірності виникнення подій, що призводять до максимальних збитків (точки 1, 2, 3) (рис. 1); величини сумарних збитків, що не перевищує суму максимальних збитків для кожного з ризиків; ймовірність виникнення максимальних збитків, як суми ймовірностей сумісних подій.

Ризик суми визначається, як добуток величини сумарних збитків і ймовірності їхнього виникнення.

Використовуючи отримане значення суми ризиків на підставі вираження (2), будемо графік функції (рис. 2).

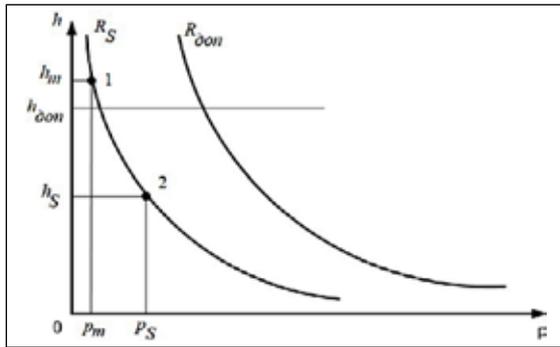


Рис. 2. Порівняльне оцінювання суми ризиків

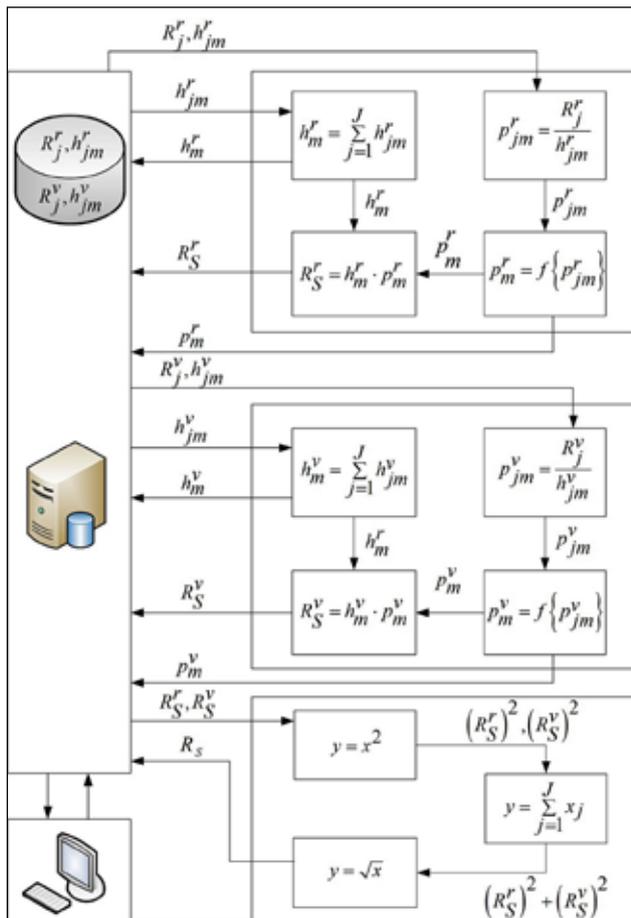


Рис. 3. Структурно-аналітичне відображення розробленої методології оцінки ризиків

Отримані результати дають можливість визначити величину сумарних збитків і ймовірність їхнього виникнення, а також здійснювати оцінювання суми ризиків з метою сприяння прийняттю рішень з його обробки. Оцінювання ризику містить порівняння отриманих результатів із заданими критеріями допустимого ризику або допустимих збитків.

Перевагами даного методу визначення суми ризиків є наочність і простота розрахунків.

Велику роль під час оцінки ризику відіграє те, які потреби індивіда можуть бути задоволені в результаті здійснення сприятливого результату і яку загрозу для нього може представляти несприятливий результат. Прийняття рішень у сфері управління ризиками значною мірою залежить від відчуття ризику. Доцільність врахування суб'єктивного ризику підтверджується дослідженнями, проведеними в [9].

Тому, коректна кількісна оцінка повного ризику повинна поєднувати в собі не тільки складову частину об'єктивного ризику, а й складову частину суб'єктивного ризику.

Однак, наявні методи оцінки ризиків не враховують суб'єктивну складову частину ризику, що ускладнює коректну оцінку ризиків.

Як показують дослідження [10], повний ризик можна представити у вигляді комплексного числа:

$$R = r + iv, \quad (3)$$

де  $r$  – об'єктивний ризик;  $v$  – суб'єктивний ризик;  $i = \sqrt{-1}$ .

Водночас модуль комплексного ризику  $|R|$  визначає дійсну характеристику повного ризику:

$$|R| = \sqrt{r^2 + v^2}, \quad (4)$$

а, аргумент комплексного ризику:

$$\varphi = \arctg \frac{v}{r}, \quad (5)$$

є показником превалювання однієї складової частину ризику над іншою.

Узагальнена методологія, розроблена в даному розділі, базується на методі експертних оцінок і представлених вище методах та включає такі основні етапи:

1) визначення базових параметрів. Визначаються параметри, які являються базовими, для обчислення суми ризиків, використовуючи запропоновані у дисертаційній роботі методи. Визначення базових параметрів може бути здійснено, як приклад, методом експертних оцінок;

2) введення вхідних даних. Здійснюється в модуль пам'яті та далі в модуль обчислення. В модулі пам'яті формується база даних вхідних даних та результатів обчислень;

3) обчислення суми ризиків об'єктивної складової частину;

4) обчислення суми ризиків суб'єктивної складової частину;

5) визначення суми ризиків об'єктивної та суб'єктивної складових частин;

6) візуалізація результатів обчислень.

Надання ризику у вигляді комплексного числа, з урахуванням об'єктивної та суб'єктивної скла-

дових частин, відкриває перспективи побудови моделей поведінки з ризиками на основі застосування апарату теорії функцій комплексної змінної.

Структурно-аналітичне відображення розробленої методології оцінки ризиків представлена на рис. 3.

Використовуючи запропоновану в цій статті методологію, можливо побудувати програмні і апаратно-програмні системи, які базуються на використанні методів розрахунку суми ризиків та обчислення комплексного ризику кібербезпеки

інформаційних систем об'єктів критичної інфраструктури.

**Висновки.** Отже, отримані результати можуть бути використані під час визначення ризику складного проекту (може бути складна інформаційна система), що характеризується наслідками під час реалізації даного проекту і ймовірністю цих наслідків, а також дають підстави для прийняття рішень про економічну доцільність застосування заходів зі зменшення ризику.

#### Список літератури:

1. Jinsoo Shin, Hanseong Son, Gyunyoung Heo. Cyber Security Risk Evaluation of a Nuclear I&C Using BN and ET. *Nuclear Engineering and Technology*. Vol. 49. Issue 3. 2017. P. 517–524.
2. Petar Radanlieva, David Charles De Rourea, Razvan Nicolescu, Michael Huthb, Rafael Mantilla Montalvoc, Stacy Cannadyc, Peter Burnap. Future developments in cyber risk assessment for the internet of things. *Computers in Industry*. Vol. 102. 2018. P.14–22.
3. Мохор В.В., Гончар С.Ф., Дибач О.М. Методи оцінки сумарного ризику кібербезпеки об'єктів критичної інфраструктури. *Ядерна та радіаційна безпека*. 2019. № 2 (82). С. 57–61.
4. Mansour Alali, Ahmad Almogren, Mohammad Mehedi Hassan, Iehab A.L. Rasan, Md Zakirul Alam Bhuiyan Improving risk assessment model of cyber security using fuzzy logic inference system. *Computers & Security*. Vol. 74. 2018. P. 323–339.
5. Derek Young, Juan Lopez Jr., Mason Rice, Benjamin Ramsey, Robert McTasney. A framework for incorporating insurance in critical infrastructure cyber risk strategies. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. Vol. 14. 2016. P.43-57.
6. Martin Eling, Jan Wirfs. What are the actual costs of cyber risk events? *European Journal of Operational Research*. 2019. Vol. 272, Issue 3. P. 1109–1119.
7. Jain P., Pasman H. J., Waldram S., Pistikopoulos E.N., Mannan M.S. Process Resilience Analysis Framework (PRAF) : A systems approach for improved risk and safety management. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2018. Vol. 53. P. 61–73.
8. Terje Aven. Risk assessment and risk management : Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*. 2016. Vol. 253. Issue 1. P. 1–13.
9. Rowe W. D. An Anatomy of Risk. *Environmental Protection Agency*. Washington, 1975. 125 p.
10. Мохор В.В., Гончар С.Ф. Идея построения алгебры рисков на основе теории комплексных чисел. *Електронне моделювання*. 2018. Т.40. № 4. С. 107–111.

#### Honchar S.F. METHODOLOGY FOR RISK ASSESSMENT OF CYBER SECURITY OF INFORMATION SYSTEMS OF OBJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE

*The paper proposes a methodology for estimating the amount of cybersecurity risks of the information system of critical infrastructure facilities. The relevance of this methodology of cybersecurity risk assessment of information systems of critical infrastructure objects in the creation of information security management systems and a comprehensive information security system of such information systems is proved. It is shown that the economic feasibility of the application and selection of various risk management measures, including both organizational and technical ones, is determined by the estimated comparison of the cost of such measures with the maximum amount of losses due to the effect of several risks. The result of assessing the amount of such risks provides a basis for deciding on the acceptability of their level and the need or economic feasibility of their further treatment. In this article, under the sum of risks we understand a certain amount, which is determined by the losses as a result of realization of all component risks, and the probability of realization of these risks. The methodology proposed in the article is based on the application of methods for calculating the amount of risk and calculating the complex risk. It is shown that the risk can be represented as a complex number. The methods of calculation of the sum of risks and calculation of complex risk are presented. Based on the methodology proposed in this article, it is possible to develop a set of structural solutions for computer systems risk assessment of cybersecurity information systems that implement methods of calculating the sum of risks and calculating complex risk, as well as build software and hardware-software systems based on the use of calculation methods and computing complex cyber security risk information for critical infrastructure facilities. The results obtained can be used to determine the risk of a complex project (may be a complex information system), characterized by the consequences of the implementation of the project and the likelihood of these consequences.*

**Key words:** cybersecurity, risk, critical infrastructure, information system, methodology.

**Дубко В.А.**

Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского

## О ПОСТРОЕНИИ МНОЖЕСТВА ИНВАРИАНТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ ЗАДАННОЙ ФУНКЦИИ МНОГИХ ПЕРЕМЕННЫХ

*Використання понять інваріант, інваріантність у тій чи іншій термінології присутній у багатьох науках. З поняттям інваріантності пов'язані ознаки того, що існують певні загальні показники конкретних категоріальних відносин (або значень), які повинні бути. Поняття інваріанта відбиває загальні властивості класів досліджуваних об'єктів.*

*Як бачимо, теорія (та методи) визначення інваріантів відіграють фундаментальну роль у математичних, природничих та технічних науках. Вона формує алгоритми визначення властивостей, характеристик та параметрів досліджуваних об'єктів, які залишаються незмінними при різних перетвореннях цих об'єктів, зовнішніх впливах.*

*У сучасній літературі зростає інтерес до проблеми побудови та аналізу моделей, що включають нелінійні детерміновані й стохастичні компоненти процесів. Існує два основних підходи в різних областях досліджень, пов'язаних із випадковими збуреннями в динамічних системах. Перший підхід виконує аналіз випадкових динамічних систем, здійснюючи пряме стохастичне узагальнення основних понять, що виникають у теорії динамічних систем, таких як випадкові аттрактори та випадкові інваріантні многовиди. Другий підхід, якому ми будемо слідувати у цій статті, належить до побудови класу моделей, для яких існує можливість збереження певного функціонального многовиду.*

*Інваріантні многовиди важливі для теорії динамічних систем, оскільки поведінка будь-якої динамічної системи відноситься до базової геометричної структури простору станів, зокрема, до організації інваріантних стійких і нестійких підпросторів.*

*В теорії управління на основі ідеї інваріантності виділяється клас моделей, властивості, показники яких не змінюються при певних змінах у системі, схемі зв'язку елементів. Теорія дозволяє нам визначити допустимі збурення реальної системи, які не впливають на її основні показники. Як модель таких показників може бути набір деяких математичних функцій.*

*Зазначимо, що пошук інваріантних перетворень узгоджується з проблемою автоморфізму.*

*У цій статті ми доводимо, що, застосовуючи запропонований нами алгоритм, для будь-якої диференційованої функції, ми можемо побудувати набір перетворень, для яких ця функція буде інваріантом. Як приклад застосування отриманих результатів ми розглянули приклад визначення класу рівнянь Іто з пуассонівськими збуреннями, для вибраних детермінованих перших інтегралів.*

*Зазначимо ще раз, що вимога забезпечення стабільності певних системних показників є одним із завдань управління. Факт існування перших інтегралів для рівнянь Іто можна розглядати як основу для вибору управліннь динамічною системою, що дозволяє з імовірністю 1 підтримувати необхідні параметри при сильних збуреннях.*

*Зазначимо, що ми використовуємо визначення першого інтеграла системи стохастичних диференціальних рівнянь Іто (Дубко В.О., 1978) і спираємося на дослідження, виконані нами у 2003 році.*

**Ключові слова:** інваріант, інваріантність, перші інтеграли, рівняння Іто, алгоритм.

**Постановка проблеми.** Использование понятия инварианта, инвариантности в той или иной терминологии присутствуют во многих науках. С представлением об инвариантности, связаны признаки, которыми должны обладать некие общие показатели того или иного категориального отношения (или значения): в понятии инварианта отображаются общие свойства классов исследуемых объектов.

Примерами инвариантов могут служить различные законы сохранения в физике, химии и

других науках, фундаментальные физические константы.

Выявление областей устойчивости системы по отношению к отклонениям: условия глобальной и локальной инвариантности – является и предварительным этапом при переходе к изучению динамики любой системы. Такая информация позволяет оптимизировать управления: не предпринимать никаких дополнительных действий, пока система находится области такой устойчивости.

В теории управления, на основе представления об инвариантности, выделяются класс моделей, свойства, показатели которых не изменяются при определенных изменениях системы, схемы соединения элементов.

Как видим, теория и методы определения инвариантов играют фундаментальную роль в математических, технических и естественных науках. Она формирует алгоритмы определения свойств, характеристик и параметров исследуемых объектов, которые остаются неизменными при различных преобразованиях этих объектов, внешних воздействиях. Отметим, что интерес к исследованию этой проблемы, применительно к вопросам теории автоматического управления, усилился после работ Щипанова Г.В. (1948 г.) [1]. Состояние теории, связанной с представлением об абсолютной инвариантности Щипанова, можно найти, например, в [2].

**Изложение основного материала исследования.** Инвариант преобразования  $g$  - это свойство, величина, не изменяющиеся при преобразовании  $g$ . Понятие инварианта позволяет классифицировать множество, объектов, на основе свойства инвариантности их определяющих показателей, по отношению к заданному преобразованию  $g$  или классу преобразований  $G$ , разделяет по этому признаку любые не эквивалентные объекты из рассматриваемой совокупности.

Важным применением теории инвариантов, является и установление класса воздействий на моделируемую систему, не влияющих на ее жизненно важные показатели. В качестве таких показателей может служить набор некоторых функций.

Пусть  $g(a)$  отображение элементов множества  $A$  во множество  $B$ :  $g(a) \in B$ . Если функция  $f$ , скалярная или векторная, определена на множестве  $A$  и выполняется тождество:

$$f(a) = f(g(a)), \quad (1)$$

то  $g$  называют инвариантным преобразованием для функции  $f$ .

К прямой задаче мы отнесем решение вопроса о строение класса  $g(a)$ , согласованного с условием (1). Как уже отмечалось, с точки зрения теории управления, эта задача связана с решением вопроса о допустимых преобразованиях, не изменяющих определяющий показатель  $f$ .

Отметим, что поиск инвариантных преобразований согласуется с проблемой автоморфности: поиск дробно-линейных преобразований в области аналитичности функций комплексного переменного, которые не изменяют ее функциональный вид. В области построения автоморф-

ных преобразований, в том числе и для функций многих комплексных переменных, существует большое число работ, и оценить их значимость, не работая постоянно в этой области, сложно. Но поскольку в теории автоматических управлений используются преобразования Лапласа, то это уже указывает на важность выделенного направления [3].

В данной работе, мы продолжим наши исследования, начатые в работе [4], и покажем, что для любой дифференцируемой функции, на основе предложенного в [4] алгоритма, можно построить множество преобразований, для которых эта функция будет инвариантом, но не обязательно по всем переменным, от которых она зависит. Приведем и конкретные задачи-примеры, показывающие, что нахождение таких преобразований является необходимым.

**Алгоритм построения.** отождествим множества  $A$  и множество  $B$  с точкам в  $(n + m)$ - мерном евклидовом пространстве и рассмотрим произвольную функцию  $u(y; x)$ , где  $x \in R^n, y \in R^m$ . Покажем, как на основе  $u(y; x)$  определить класс векторных функций  $g(y; x; \gamma)$ , таких, что

$$u(y; x) = u(y; g(y; x; \lambda)), \quad \forall \lambda \in [0, \Lambda), \forall y \in D \subset R^m, \quad (2)$$

Требование (2) эквивалентно равенствам:

$$\frac{\partial u(g(y; x; \lambda))}{\partial \lambda} = 0$$

$$\frac{\partial u(y; g(y; x; \lambda))}{\partial \lambda} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial g_j(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} \cdot \frac{\partial u(y; g(y; x; \lambda))}{\partial g_j(y; x; \lambda)} = 0$$

Это условие ортогональности векторов:

$$\frac{\partial g(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} \text{ и } \nabla_g u(y; g)$$

Оно приводит к следующей системе, в векторной форме, уравнений:

$$\frac{dg(y; x; \lambda)}{d\lambda} = f(y; x; \lambda) \times$$

$$\times \det \begin{pmatrix} e_1 & e_2 & \dots & e_n \\ \frac{\partial u(y; g(y; x; \lambda))}{\partial g_1} & \frac{\partial u(y; g(y; x; \lambda))}{\partial g_2} & \dots & \frac{\partial u(y; g(y; x; \lambda))}{\partial g_n} \\ f_{3,1}(y; x; \lambda) & f_{3,2}(y; x; \lambda) & \dots & f_{3,n}(y; x; \lambda) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{n,1}(y; x; \lambda) & f_{n,2}(y; x; \lambda) & \dots & f_{n,n}(y; x; \lambda) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $e_j$  – единичные, взаимно ортогональные векторы, а  $f(y; x; \lambda)$ ,  $f_{i,j}(y; x; \lambda)$  – произвольные функции, не нарушающие условия существования и единственности решения системы уравнений (3)

где  $e_j$  – единичные, взаимно ортогональные векторы, а  $f(y; x; \lambda)$ ,  $f_{i,j}(y; x; \lambda)$  – произвольные функции, не нарушающие условия существования и единственности решения системы уравнений (3)  $\forall$  фиксированных значений  $x, y$ .

Решение (3) всегда будем искать при начальном условии:

$$g(y; x; \lambda) |_{\lambda=0} = x, \quad (4)$$

**Пример.** Пусть  $x \in R^2$ . В этом случае система уравнений (3), приобретает вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial g_1(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} = f(y; x; \lambda) \frac{\partial u(g(y; x; \lambda))}{\partial g_2} \\ \frac{\partial g_2(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} = -f(y; x; \lambda) \frac{\partial u(g(y; x; \lambda))}{\partial g_1} \end{cases}$$

Выберем, например,  $u(y, x) = (x, x)$ . Тогда:

$$\begin{cases} \frac{\partial g_1(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} = 2f(y; x; \lambda)g_2(y; x; \lambda) \\ \frac{\partial g_2(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} = -2f(y; x; \lambda)g_1(y; x; \lambda) \end{cases}$$

Или в матричной форме:

$$\begin{cases} \frac{\partial g(y; x; \lambda)}{\partial \lambda} = f(y; x; \lambda)Bg(y; x; \lambda), \\ g(y; x; 0) = x \end{cases} \quad (5)$$

Где:

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Решение имеет (5) вид:

$$g(y; x; \lambda) = \exp\left\{2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta B\right\}x.$$

Учитывая, что:

$$B^2 = -\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = -E,$$

приходим к следующему представлению решения (5):

$$g(y; x; \lambda) = -\sin\left(2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta\right)Bx + \cos\left(2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta\right)Ex$$

Таким образом,

$$g_1(y; x; \lambda) = x_2 \sin\left(2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta\right) + x_1 \cos\left(2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta\right),$$

$$g_2(y; x; \lambda) = -x_1 \sin\left(2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta\right) + x_2 \cos\left(2 \int_0^\lambda f(y; x; \theta) d\theta\right).$$

Например, можем отождествить  $x_1 = t$ ,  $x_2 = x$ , или положить  $y = t$ , а  $x \in R^2$ .

**Построение множества стохастических уравнений, обладающих набором первых интегралов.** Если для открытой динамической системы известен инвариант, то по отношению к системе выступает как системный закон. Предположим, что систему можно смоделировать при помощи стохастических уравнений. В этом случае задача состоит в определении класс уравнений, согласованных с условием существования этого инварианта.

В качестве примера применения предложенного алгоритма, рассмотрим систему уравнений Ито с пуассоновскими возмущениями:

$$\begin{cases} dx_i(t) = a_i(t; x(t))dt + \int_{\mathbb{R}(\lambda)} g_i(t; x(t); \lambda)v(dt; d\lambda), \\ x(t) = x(t; x(0)) |_{t=0} = x(0), \quad i = \overline{1, n}, \quad t \geq 0, \end{cases} \quad (6)$$

где  $x(t) \in R^n$  – динамический процесс,  $v(t; \Delta\lambda)$  – однородная по  $t$  случайная мера Пуассона;  $\mathbb{R}(\lambda)$  – пространство параметра  $\lambda$ . Относительно

коэффициентов  $a_i(x; t)$ , и  $g_i(t; x; \lambda)$  в уравнении (6), предполагаем, что они обладают достаточной степенью гладкости по совокупности переменных  $(x, t, \lambda)$ , и подчинены ограничениям, обеспечивающих существование и единственность решения (6) [5, с. 247, 255].

Предположим, что в качестве ограничения для вида системы (6), выступают неслучайные, независимые функции  $u_l(x; t)$ ,  $x \in R^n$  – непрерывные вместе со своими первыми производными по компонентам  $(x; t)$  и такие, что на любой реализации  $x(t; x(0))$  решения уравнения (6)

$$u_l(t; x(t; x(0))) = u_l(0; x(0)), \quad l = \overline{1, m}, \quad m < n, \quad (7)$$

т.е.,  $u_l(x; t)$  являются неслучайным первым интегралом системы (6) [6; 7].

С учетом (7), воспользовавшись расширенной формулой Ито, приходим к равенству:

$$\begin{aligned} du_l(t; x(t)) &= \left[ \frac{\partial}{\partial t} u_l(t; x(t)) + \sum_{j=1}^n a_j(t) \frac{\partial}{\partial x_j} u_l(t; x(t)) \right] dt + \\ &+ \int [u_l(t; x(t) + g(t; \gamma)) - u_l(t; x(t))] v(dt; d\gamma) \equiv 0, \quad \forall t \geq 0. \end{aligned}$$

Это возможно, если:

$$\frac{\partial}{\partial t} u_l(t; x(t)) + \sum_{j=1}^n a_j(t; x) \frac{\partial}{\partial x_j} u_l(t; x(t)) = 0, \quad \forall l = \overline{1, m}, \quad (8)$$

$$u_l(t; x + g(t; x; \gamma)) - u_l(t; x) = 0, \quad \forall \gamma, \quad (9)$$

Рассмотрим равенства (8). Как показано в [6], коэффициенты, обеспечивающие это равенство, можно найти по формуле:

$$e_0 + a(t) = A_0^{-1}(t) \det \begin{pmatrix} e_0 & e_1 & \dots & e_n \\ q_{1,0}(t) & q_{1,1}(t) & \dots & q_{1,n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n,0}(t) & q_{n,1}(t) & \dots & q_{n,n}(t) \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где  $e_j, j = \overline{0, n}$  – набор ортогональных единичных векторов,  $a(t) \in R^n$  – вектор с компонентами  $a_j(t) = a_j(t; x)$ ,  $A_0(t) \uparrow 0$  – алгебраическое дополнение к  $e_0$ ; основное требование к функциям:

$$q_{l,0}(t) = \frac{\partial}{\partial t} u_l(t; x), \quad q_{l,j}(t) = \frac{\partial}{\partial x_j} u_l(t; x),$$

( $l = \overline{1, m}, m \leq n$ ),  $q_{i,j}(t) = q_{i,j}(t; x)$ , ( $i = \overline{m+1, n}$ ),  $j = \overline{1, n}$  – не нарушения условий существования и единственности решений (6).

Если же  $u_l(x; t) = u_l(x)$ , то число независимых  $u_l(x)$  не может превышать  $(n-1)$ . С учетом того, что коэффициенты  $q_{l,0}(t) \equiv 0$ , уравнение для определения компонент вектора  $a(t)$  заменяется таким:

$$a(t) = q(t; x) \det \begin{pmatrix} e_1 & e_2 & \dots & e_n \\ q_{1,1}(t) & q_{1,1}(t) & \dots & q_{1,n}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n-1,0}(t) & q_{n-1,1}(t) & \dots & q_{n-1,n}(t) \end{pmatrix},$$

$$\text{где} \quad q_{l,j}(t) = \frac{\partial}{\partial x_j} u_l(x) \quad (l = \overline{1, m}, m < n),$$

$q_{i,j}(t) = q_{i,j}(t; x)$  ( $i = \overline{m+1, n-1}$ ), и  $j = \overline{1, n}$ . Как и в (10), требование к функциям связываем с обеспечением условий существования и единственности решений (6).

Рассмотрим условие (9). Как следует из уравнения (3), для определения вектора  $g(t; x; \lambda)$ , необходимо решить систему уравнений:

$$\frac{\partial g(t; x; \lambda)}{\partial \lambda} = f(t; x; \lambda) \det \begin{pmatrix} e_1 & e_2 & \dots & e_n \\ f_{1,1}(t; \lambda) & f_{1,2}(t; \lambda) & \dots & f_{1,n}(t; \lambda) \\ f_{2,1}(t; \lambda) & f_{2,2}(t; \lambda) & \dots & f_{2,n}(t; \lambda) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{n-1,1}(t; \lambda) & f_{n-1,2}(t; \lambda) & \dots & f_{n-1,n}(t; \lambda) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где, как и прежде, основное требование к функциям:

$$f(t; x; \lambda), f_{l,j}(t; \lambda) = \frac{\partial}{\partial g_j} u_l(t; g) \quad (l = \overline{1, m}, m < n),$$

$f_{i,j}(t; \lambda) = f_{i,j}(t; x; \lambda)$  ( $i = \overline{m+1, n-1}$ ) – не нарушения условий существования и единственности решений системы уравнений (10).

**Пример.** Пусть  $x \in R^2$ ,

$$u(x; t) = (x_1 + x_2)^2 + c^2 t^2 + b; \quad c, b - const \neq 0.$$

Поскольку пример демонстрационный и связан с применением уравнения (3) в представлении (11), чтобы не усложнять изложение дополнительными выкладками и ограничениями, положим в (6) вектор  $a(t) \equiv 0$ .

Из (11) следует, что:

$$\frac{dg(t; x; \lambda)}{d\lambda} = f(t; x; \lambda) \det \begin{pmatrix} e_1 & d\lambda & e_2 \\ 2(g_1(t; x; \lambda) + g_2(t; x; \lambda)) & & 2(g_1(t; x; \lambda) + g_2(t; x; \lambda)) \end{pmatrix}$$

или

$$\frac{dg(t; x; \lambda)}{d\lambda} = 2f(t; x; \lambda) Dg(t; x; \lambda); \quad g(t; x; 0) = x,$$

где  $D = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix}$

Решение подадим в векторно-матричной форме:

$$g(t; x; \lambda) = \exp\left\{2 \int_0^\lambda f(t; x; \theta) d\theta\right\} D x, \quad (12)$$

Учитывая, что:

$$D^2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

от (12) переходим к представлению:

$$g(t; x; \lambda) = (E + 2D \int_0^\lambda f(t; x; \theta) d\theta) x$$

где  $E$  – единичная матрица.

Покомпонентная запись решения имеет вид:

$$g_1(t; x; \lambda) = x_1 + 2 \int_0^\lambda f(t; x; \theta) d\theta (x_1 + x_2),$$

$$g_2(t; x; \lambda) = x_2 - 2 \int_0^\lambda f(t; x; \theta) d\theta (x_1 + x_2).$$

Убедится в правильности найденного решения, можно путем замены  $x$  на  $g(t; x; \lambda)$  в  $u(x; t) = (x_1 + x_2)^2 + c^2 t^2 + b$ .

**Выводы.** Таким образом, первоначальная идея о построении континуума преобразований для произвольной функции, была отображена в работе [4]. Основным стимулом поиска таких преобразований, стала необходимость исследования вопроса о возможности существования детерминированных первых интегралов для стохастических систем при наличии не только винеровских, но и скачкообразных возмущений, исследование диффузии в среде с резко изменяющимися параметрами. Предложенный алгоритм построения, для любой заданной функции, преобразований, оставляющих неизменный вид этой функции, сделал реальным переход к построению программных управлений на динамических многообразиях, для систем с пуассоновскими и винеровскими возмущениями (см., например, [11] и ссылки в ней). В данной работе, исследуется более общий вопрос, когда для функции, характеризующей состояние системы, инвариантность допускается, но не по всем переменным, входящих в эту функцию.

### Список литературы:

1. Щипанов Г.В. Теория и методы построения автоматических регуляторов. *Автоматика и телемеханика*. 1939. № 1. С. 4–37.
2. Труды Научного семинара «70 лет теории инвариантности», монография / Васильев С. (ред.). Москва, 2008. 256 с.
3. Сильвестров В.В. Автоморфные функции – обобщение периодических функций. *Соровский образовательный журнал*. Т.6, № 3. 2000. С. 124–127.
4. Дубко В.А. Проблема инвариантности и алгоритм построения множества автоморфных преобразований для заданной функции. *Друга міжнар. наук.-практ. Конф. «Відкриті еволюційні системи»* (Київ. 1–30 грудня 2003 р.). Т. 2. Київ : ВНЗ ВМУРОЛ, 2004. С. 66–68.
5. Гихман И.И., Скороход А.В. Стохастические дифференциальные уравнения. Киев : Наук. Думка, 1968. 268 с.
6. Дубко В.А. Первый интеграл системы стохастических дифференциальных уравнений : препр. Киев : АН УССР. Ин-т математики, 1978. 24 с.
7. Дубко В.А. Вопросы теории и применения стохастических дифференциальных уравнений. Владивосток : ДВО АН СССР, 1989. 185 с.
8. Карачанская Е.В. Построение множества дифференциальных уравнений с заданным множеством первых интегралов. *Вестн. Тихоокеан. гос. ун-та*. 2011. № 3. С. 47–56.

## Doobko V.A. ON CONSTRUCTION OF A SET OF INVARIANT TRANSFORMATIONS FOR THE FUNCTION OF MANY VARIABLES

*The use of the concepts of invariant, invariance in one or another terminology is present in many sciences. Associated with the concept of invariance are signs that there are certain general indicators of a specific categorical relationship (or values) that should be. The concept of an invariant displays the general properties of classes of studied objects. As we see, the theory (and methods) for determining invariants play a fundamental role in the mathematical, technical and natural sciences. It forms the algorithms for determining the properties, characteristics and parameters of the objects under study, which remain unchanged under various transformations of these objects, external influences.*

*In modern literature, there is growing interest in the problem of constructing and analyzing models that include non-linear deterministic and stochastic components of processes. There are two main approaches in various fields of research related to random perturbations in dynamical systems. The first approach considers the analysis of random dynamical systems, defining a direct stochastic generalization of the basic concepts that arise in the theory of dynamical systems, such as random attractors and random invariant manifolds. The second approach, in which we will follow this article, relates to the construction of a class of models for which allow existence the preservation of a given functional, variety.*

*Invariant manifolds are important for the theory of dynamical systems, since the behavior of any dynamical system refers to the basic geometric structure of the state space, in particular, to the organization of invariant stable and unstable subspaces.*

*In control theory, on the basis of the idea of invariance, the class of models, properties, indicators of which do not change with certain changes in the system, the connection scheme of elements, are distinguished.*

*The theory allows us to identify the permissible perturbations of the real system that do not affect its basic indicators. As a model of such indicators there may be a set of some mathematical functions.*

*Note that the search for invariant transformations is consistent with the automorphism problem.*

*In this paper, we prove that by applying the algorithm proposed by us, for any differentiable function, we can construct a set of transformations for which this function will be an invariant. As an example of the application of the results obtained, we considered an example of finding a class of Ito equations with Poisson perturbations with selected, deterministic first integrals.*

*We note once again that the requirement of ensuring the stability of certain system indicators is one of the management tasks. The fact of the existence of the first integrals for the Ito equations can be considered as a basis for choosing controls for a dynamic system, which allows, with probability 1, to maintain the required parameters for strong perturbations.*

*Note that we use the definition of the first integral for the system of Ito stochastic differential equations (Doobko V.A., 1978), and based on the research that we have in 2003.*

**Key words:** *invariant, invariance, first integrals, Ito equation, algorithm.*

УДК 004.93'12

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/10>

**Дудикевич В.Б.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Хома В.В.**

Національний університет «Львівська політехніка»,  
Інститут автоматизації Політехніки Опольської (Польща)

**Чекурін В.Ф.**

Інститут прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача  
Національної академії наук України,  
Куявсько-Поморський університет в Бидгощі (Польща)

**Хома Ю.В.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Сабодашко Д.В.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## НОРМАЛІЗАЦІЯ СИГНАЛІВ ЕКГ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМАХ БІОМЕТРИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

*Сигнали ЕКГ легко вимірювати, нагромаджувати на електронних носіях, обробляти з використанням цифрових методів тощо. Ці та інші їхні властивості створюють певні перспективи для їх застосування в системах контролю доступу до об'єктів та інформаційних активів. Проте, на відміну від відбитків пальців та інших «стабільних» біометричних ознак, ЕКГ-сигнали істотно залежать від актуального психологічного та фізичного стану особи. Це сильно ускладнює алгоритми їх оброблення з метою, наприклад, автентифікації особи.*

*Тому для створення систем біометричної ідентифікації на основі сигналів ЕКГ необхідно дослідити їхню варіативність і виявити ознаки, інваріантні для кожної особи. Такі дослідження можна проводити, зокрема, шляхом статистичного аналізу експериментальних даних, отриманих шляхом вимірювання ЕКГ-діаграм.*

*Метою роботи є визначення впливу варіабельності ЕКГ-сигналів суб'єкта на точність його ідентифікації з використанням нейронних мереж без попереднього виділення інформативних ознак чи застосування функціональних трансформант перед класифікацією, а також розроблення та імплементація нового алгоритму темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу і його апробація на множині ЕКГ суб'єктів.*

*Ідея запропонованого авторами підходу полягає у тому, щоб масштабувати кожен сегмент електрокардіограми до заданого стандартного вікна, зберігаючи форму ЕКГ-сигналу, яка залежить від індивідуальних фізіологічних особливостей суб'єкта.*

*Апробацію алгоритму проведено на нейромережевій системі біометричної ідентифікації, яка містить ланки вимірювання ЕКГ-сигналу, цифрової обробки сигналу, сегментації, а також вузли виявлення та коригування аномалій, зменшення розмірності даних, класифікації та ідентифікації. Класифікатор побудовано на основі кількох поширених алгоритмів машинного навчання. З метою пошуку оптимальних параметрів навчання проведено обчислювальні експерименти із застосуванням методів  $k$ -найближчих сусідів, опорних векторів та лінійного дискримінантного аналізу.*

*Результати проведених досліджень підтвердили можливість створення нейромережевих систем контролю доступу на основі ЕКГ сигналів.*

**Ключові слова:** сигнал ЕКГ, нормалізація сигналу ЕКГ, біометрична ідентифікація, зменшення розмірності даних, нейронні мережі, машинне навчання.

**Постановка проблеми.** Сигнали ЕКГ легко вимірювати, нагромаджувати на електронних носіях, обробляти з використанням цифрових методів тощо. Ці та інші властивості ЕКГ-сигналів надихають дослідників на пошук можливостей їх

застосування в системах контролю доступу до об'єктів та інформаційних активів [1; 2].

Проте, на відміну від відбитків пальців та інших «стабільних» біометричних ознак, ЕКГ-сигнали істотно залежать від актуального

психологічного та фізичного стану особи [3; 4]. Це сильно ускладнює алгоритми їх оброблення з метою, наприклад, автентифікації особи.

Однак, якщо сигнали ЕКГ унікально вирізняють особу серед інших індивідумів, незалежно від актуального психологічного та фізичного стану суб'єкта автентифікації, то зусилля для розв'язання цієї проблеми слід спрямувати на дослідження варіативності ЕКГ-сигналів та пошуку певних інваріантів, які з достатньо високою ймовірністю ідентифікували б суб'єкт на основі його ЕКГ-сигналу, отриманого впродовж короткого проміжку часу. Такі дослідження можна проводити, зокрема, шляхом статистичного аналізу експериментальних даних, отриманих шляхом вимірювання ЕКГ-діаграм, залежних від актуального серцевого ритму, та пошуку способів їх перетворення (нормалізації), які б давали змогу істотно зменшити їхній розкид.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Огляд відомих досліджень варіативності ЕКГ-сигналів, виявив їх суто медичну спрямованість [5; 6; 7]. ЕКГ-діаграми тут розглядають переважно як дані для отримання важливих медичних діагностичних ознак. Лише декілька публікацій стосуються проблеми варіативності сигналів, отримуваних методами ЕКГ, у зв'язку з можливим їх застосуванням у системах біометричної ідентифікації.

Це, зокрема, статті [8; 9]. В них застосовано темпоральну нормалізацію, яку виконано шляхом передискретизації сегментованого сигналу до наперед визначеної тривалості. Проте цей метод має свої обмеження, оскільки зміна тривалості ритму сигналу ЕКГ не означає рівномірну зміну всіх його інтервалів сигналу, наприклад, QRS-комплексу.

Автори дослідження [10; 11] розв'язували проблему, нормалізуючи лише QT-інтервал, який більш схильний до варіацій від частоти серцевих скорочень. Деякі дослідники, наприклад, [12] пішли ще далі, сегментуючи кожний цикл серцебиття на традиційні компоненти P, QRS і T, окремо їх передискретизовували, перш ніж знову з'єднати разом. Проте відомі дослідження, зазвичай, застосовували так звані фідуційдальні (fiducial) методи виділення ознак (feature selection). Для цих методів ключовим є локалізація характерних (фідуційдальних) точок та метрика між ними, що, власне, і є вхідними даними класифікатора [13]. У цьому контексті не досліджувався вплив варіативності серцевого ритму на точність розпізнавання осіб безпосередньо за вибірками ЕКГ-сигналу.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення впливу варіабельності ЕКГ-сигналів суб'єкта на точність його ідентифікації з використанням нейронних мереж без попереднього виділення інформативних ознак чи застосування функціональних трансформант перед класифікацією, а також розроблення та імплементація нового алгоритму темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу і його апробація на множині ЕКГ суб'єктів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

**Проблема варіативності ЕКГ-сигналу з позицій біометрики.** Сигнал ЕКГ утворюється електричними імпульсами, що надходять від мозку до серця. Кожен імпульс стимулює різні частини серцевих м'язів (міокарда), щоб виконати повний цикл серцебиття. Цей процес повторюється циклічно, а тому сигнал ЕКГ має квазіперіодичний характер. Крім того, можна спостерігати розподіл електричного поля по всьому тілу, а вимірювання різниці потенціалів із різних частин на поверхні тіла і є сутністю формування ЕКГ-сигналу [14].

Рівень сигналу ЕКГ є низьким, а тому сприйнятливий до різного роду спотворень. Щоб забезпечити якість зареєстрованого ЕКГ-сигналу в клінічній практиці використовуються такі методи та засоби, як гель для підвищення провідності контакту «тіло-електрод», багатоканальний запис біопотенціалів із різних точок грудей і кінцівок (зазвичай 12 відведень), комфортні умови обстежуваної людини (зручне лежання на катапі), зупинка дихання на момент запису ЕКГ. Вочевидь, цей спосіб отримання ЕКГ не може бути використаний у завданнях біометрики, зокрема, у системах контролю доступу. У таких застосуваннях, зазвичай, потрібно забезпечити якомога простішу реєстрацію ЕКГ-сигналу, наприклад, сухими електродами із пальців лівої та правої руки (одноканальний варіант, відомий як перше відведення). Звісно, якість сигналу на цьому сильно постраждає.

Але не лише число каналів і якість сигналу ЕКГ різняться у медичній діагностиці та біометриці – зовсім різними є цілі дослідження: для медицини – це встановити відбувається чи ні відхилення електрокардіограми від норми, а для біометрики – розрізнити ЕКГ, що належать різним суб'єктам.

Вважається, що на форму ЕКГ-сигналу мають вплив будова міокарду, його розташування у грудній порожнині та інші фізіологічні особливості. Численні дослідження показали, що електрокардіограма є надійним біометричним маркером [15; 16],

але зовсім незручним для сприйняття людиною на зір або слух, на відміну від розпізнавання обличчя чи голосу. Малоефективними виявилися і класичні алгоритми цифрового оброблення сигналів, передовсім, через значну варіативність ЕКГ-сигналу. Лише системи, які ґрунтуються на машинному навчанні можуть впоратися з завданням розпізнавання людей за електрокардіограмою, причому істотним для біометрики є те, що форма хвилі серцебиття відрізняється від суб'єкта до суб'єкта [15].

Проте на шляху практичного застосування технологій машинного навчання у реальних біометричних системах на базі ЕКГ виникають істотні проблеми, однією з яких є залежність від частоти серцевих скорочень. Така варіативність серцевого ритму може спостерігатися не лише між різними суб'єктами, але і для однієї й тієї ж людини у різні моменти часу (рис. 1).

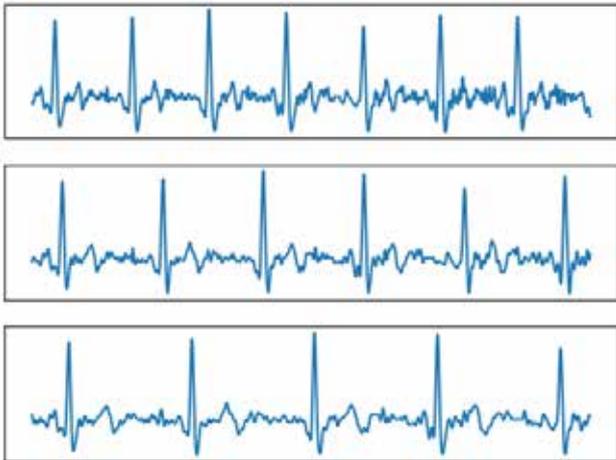


Рис. 1. Фрагменти сигналу ЕКГ із різною тривалістю серцевого ритму

У повсякденному використанні система біометричної ідентифікації має бути інваріантною щодо зміни серцевого ритму, зумовленої емоційними, фізичними чи іншими чинниками. Проблема наборів даних, які використовуються для навчання класифікаторів, полягає у тому, що вимірювання ЕКГ-сигналу зазвичай проводилося в один день впродовж короткого проміжку часу. Як наслідок, значення серцевого ритму в одержаних записах є доволі сталими. Дослідження показали, що класифікатори з поміж іншого формували характерні ознаки, які базуються на тривалості серцевого ритму. Це, зазвичай, є хибним, оскільки, у застосуваннях автентифікації збільшуватиме ймовірність помилкових відмов.

Тому для сигналу ЕКГ, як функції у 2D-просторі, окрім нормалізації за амплітудою, потрібно засто-

сувати нормалізацію в часі. Суть запропонованого авторами підходу полягає у тому, щоб масштабувати кожен сегмент електрокардіограми до заданого стандартного вікна, максимально зберігаючи форму ЕКГ-сигналу, залежну від специфічних фізіологічних особливостей суб'єкта. Це забезпечить толерантність системи розпізнавання щодо стиснення/розтягнення ЕКГ-сигналу як у вертикальному, так і у горизонтальному напрямках.

**Структура системи біометричної ідентифікації.** Структурну схему системи біометричної ідентифікації суб'єктів сигналами їхніх електрокардіограм наведено на рис. 2. Її функціонування (за винятком вузла нормалізації серцевого ритму) описано у роботах [17; 18; 19].



Рис. 2. Структурна схема біометричної системи ідентифікації

До складу біометричної системи ідентифікації входять такі компоненти:

- ланка вимірювання ЕКГ-сигналу;
- ланка цифрової обробки сигналу (далі – ЦОС);
- ланка сегментації;

- вузол виявлення та коригування аномалій;
- вузол зменшення розмірності даних;
- вузол класифікації та ідентифікації.

Ланка вимірювання ЕКГ-сигналу складається з електродів та допоміжної електроніки, з допомогою яких вимірюється зміна різниці потенціалів пальців правої та лівої руки, що відображають роботу серця. Цей спосіб реєстрації електрокардіограми відповідає першому стандартному відведенню, яке використовують в медичній діагностиці.

У ланці ЦОС виміряний сигнал оцифровується і піддається фільтрації та нормалізації за амплітудою. Для фільтрації використано смуговий фільтр Баттерворта (смуго пропускання 4-35 Гц), що дає змогу відфільтрувати із записаного сигналу ЕКГ низькочастотні флуктуації, зумовлені рухами чи диханням людини, мережеве наведення та високочастотні шуми.

Ланка сегментації призначена для детекції R-піків у записі ЕКГ-сигналу, що уможливує виділення сегментів, які є еквівалентні окремим серцебиттям. Для сегментації застосовано відомий алгоритм Гамільтона. Крім того, у цій ланці виконується унормування сигналу за амплітудою (до масштабу  $\pm 1$ ). Також у даній роботі запропоновано додатково приводити кожен сегмент ЕКГ-сигналу до заданої тривалості. Детально цей метод темпоральної нормалізації описано у наступному розділі.

У роботах [18; 19; 20] було показано, що навіть після фільтрування у знешумленому ЕКГ-сигналі залишаються спотворення у вигляді аномальних відхилень окремих чи серії вибірок, внаслідок чого знижується точність ідентифікації. В даному дослідженні застосовано статистичний метод виявлення та коригування аномалій, детально описаний у [19].

У машинному навчанні для покращення продуктивності роботи класифікатора часто застосовують зменшення розмірності даних. У цьому дослідженні було вирішено використати метод головних компонент (Principle Component Analysis – PCA) як один із найпростіших, але ефективних алгоритмів зменшення розмірності даних [20].

Класифікатор побудовано на основі кількох поширених алгоритмів машинного навчання. Пропонується на основі експериментів обрати оптимальний серед: методу k-найближчих сусідів [21], методу опорних векторів [22] та методу лінійного дискримінантного аналізу [23].

**Опис методу темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу та його імплементація.** Для

забезпечення інваріантності класифікатора щодо частоти серцевих скорочень авторами було зроблено та досліджено метод унормування тривалості кожного сегменту. Особливістю цього методу є приведення ЕКГ-сигналів від усіх людей до певного, наперед заданого та однакового для всіх значення ритму. На вхід алгоритму подається набір ЕКГ-сигналів еквівалентних одному серцевому циклу (рис. 3).

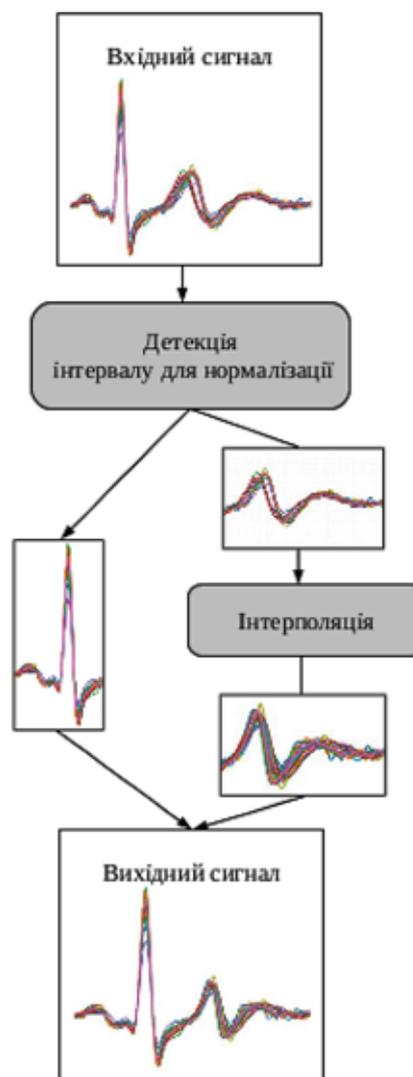


Рис. 3. Структурна схема алгоритму темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу

На ЕКГ серцевий цикл розділений на зубці та інтервали, кожен з яких відповідає певній фазі розповсюдження хвилі збудження у міокарді (рис. 4).

Інтервал від початку Р-зубця до кінця QRS-комплексу практично залишається незмінним, тобто мало залежить від зміни серцевого ритму, а тому на рис. 4 зазначений, як сталий інтервал. Отже, завдання блоку детекції для тем-

поральної нормалізації полягає у знаходженні та виділенні із сигналу кожного циклу серцебиття змінного інтервалу від початку ST-сегмента до кінця U-зубця.

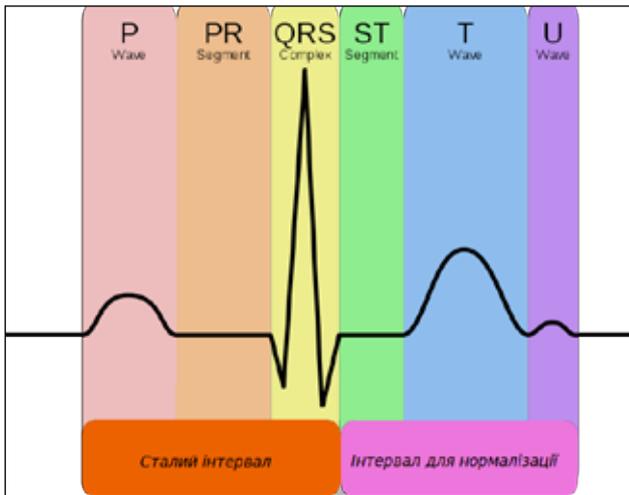


Рис. 4. Структура ЕКГ-сигналу в межах серцевого циклу [24]

Вузол інтерполяції лінійно інтерполіє інтервали для нормалізації таким чином, щоб їх тривалість забезпечувала задане значення серцевого ритму. На виході алгоритму формується набір циклів ЕКГ-сигналу з нормалізованим серцевим ритмом, шляхом сполучення сталих інтервалів із відповідними інтерпольованими.

Вхідний набір ЕКГ-сигналів сформовано з результатів двох вимірювань, виконаних з інтервалом в один місяць (рис. 5 а). Під час першого вимірювання отримано 6 циклів ЕКГ-сигналу із серцевим ритмом 90 уд/хв (ударів за хвилину), під час другого – 10 із серцевим ритмом 75 уд/хв. На

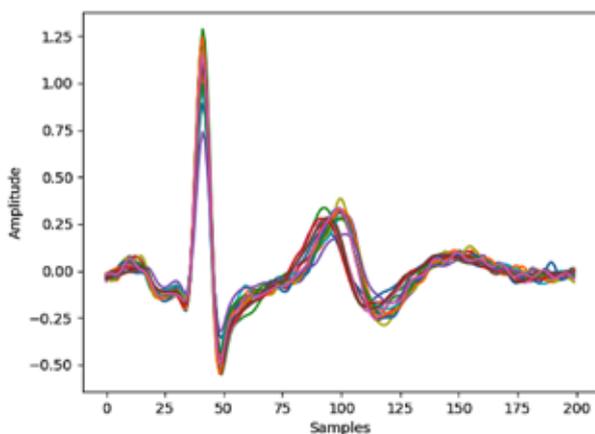
виході алгоритму темпоральної нормалізації усі сигнали приведені до серцевого ритму 120 уд/хв. На рис. 5 б можна візуально побачити результати роботи алгоритму, але важливо дослідити та кількісно оцінити, як темпоральна нормалізація впливає на точність класифікації.

**Методика експерименту та обговорення результатів.** Для досліджень використовувалися дані з зібраного нами Lviv Biometric Data Set [25], який в момент написання статті містить понад 1 400 ЕКГ-записів 95-ти осіб. Усі записи було зібрано з допомогою електронного пристрою eHealth Sensor Platform v2.0 [26] та Arduino Uno [27]. Процес вимірювання та технічні характеристики обладнання докладніше описано в [17].

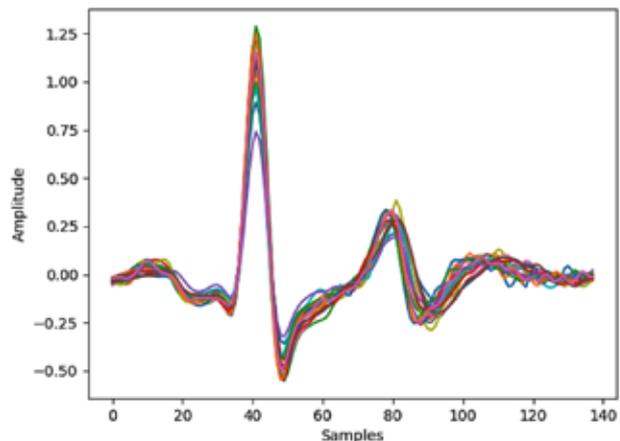
Для оцінювання ефективності роботи алгоритму темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу в біометричних системах ідентифікації експерименти проводилися в таких конфігураціях:

- без темпоральної нормалізації;
- з темпоральною нормалізацією до значення еквівалентного 90 ударам серця за хвилину;
- з темпоральною денормалізацією.

Оскільки у базі даних переважно містяться електрокардіограми зареєстровані впродовж короткого періоду часу, значення серцевого ритму у цих вимірюваннях є сталим. Тестування алгоритму темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу на цих вимірюваннях не репрезентує його ефективності. Тому для тестування, нами імплементовано темпоральний денормалізатор ЕКГ-сигналу, який для кожного вимірювання змінює значення серцевого ритму на випадкове, що міститься на проміжку 60-120 ударів за хвилину.



а)



б)

Рис. 5. Сегментований ЕКГ-сигнал до (а) та після (б) темпоральної нормалізації

Продуктивність алгоритму темпоральної нормалізації

Метод класифікації	Нормалізований серцевий ритм	Нормалізований серцевий ритм + коректор аномалій	Без темпоральної нормалізації	Без темпоральної нормалізації + коректор аномалій	Денормалізований серцевий ритм	Денормалізований серцевий ритм + коректор аномалій
LDA	79.61	93.49	86.12	95.56	68.28	90.01
SVM	71.93	89.50	74.15	93.78	54.71	80.23
KNN	65.23	89.79	77.63	96.95	44.32	63.47
PCA+LDA	78.50	95.87	83.09	96.25	63.16	92.34
PCA+SVM	67.56	91.00	69.85	93.95	47.63	82.37
PCA+KNN	72.48	90.40	78.72	97.09	47.87	64.17

Також для наведених вище конфігурацій, пропонується зробити опціональним використання алгоритму коригування аномалій, оскільки він значною мірою підвищує точність, як системи з темпоральною нормалізацією ЕКГ-сигналу, так і системи без нормалізації. Це повинно підвищити репрезентативність застосування алгоритму темпоральної нормалізації у сучасних системах, оскільки коригування аномалій є їх невіддільною складовою частиною.

У дослідженнях використано три поширені методи машинного навчання – лінійного дискримінантного аналізу (LDA – Linear Discriminant Analysis), опорних векторів (SVM – Support Vector Machines) і К найближчих сусідів (KNN – K Nearest Neighbors). Для зменшення розмірності даних зі збереженням важливої інформації застосовувався метод головних компонент (PCA – Principle Component Analysis).

Далі випадковим чином у пропорції 0,7/0,3 електрокардіограми було розділено на набори для тренування і тестування. Для оцінювання продуктивності класифікації обрано один із ключових показників, який застосовується у метриці машинного навчання, – точність [28]

$$Acc = (TP + TN) / (P + N),$$

де TP і TN – відповідно число вірно класифікованих позитивних та негативних класів, P і N – відповідно загальне число позитивних та негативних класів.

Точність розпізнавання електрокардіограм із тестового набору наведено в табл. 1.

Дані, наведені у таблиці 1, на перший погляд, показали негативний результат застосування темпоральної нормалізації – точність розпізнавання знизилася (приблизно 5%), як порівняти з варі-

антом без нормалізації серцевого ритму. Це пояснюється тим, що класифікатор системи ідентифікації без нормалізації сигналу ЕКГ використовує значення серцевого ритму як інформативний параметр. У системах ідентифікації з нормалізацією значення серцевого ритму приводиться до заданого, однакового для всіх значення, тому так навчений класифікатор допускає помилку 2-роду, відхиляючи кардіограми справжніх суб'єктів.

Застосування алгоритму темпоральної нормалізації усуває описану вище проблему. Точність систем з темпоральною нормалізацією ЕКГ-сигналу є на 10-15% вищою ніж у систем, на вхід яких подається денормалізований сигнал. Це підтверджує, що алгоритм темпоральної нормалізації є важливим і необхідним компонентом у реальній системі біометричної ідентифікації.

**Висновки.** Отже, особливістю доступних наборів електрокардіограм є те, що їх запис для кожного суб'єкта виконувався впродовж короткого інтервалу часу. Значення серцевого ритму у цих вимірюваннях є практично однако-вим. Класифікатори біометричних систем використовують цю особливість, як інформаційну характеристику, за якою вони здійснюють ідентифікацію. Тому у реальних сценаріях зміна серцевого ритму призводить до помилок другого роду. Цю проблему можна вирішити одним із трьох підходів: розширенням обсягу даних, використанням темпоральної нормалізації ЕКГ-сигналу або застосуванням темпоральної денормалізації наборів даних для тренування класифікатора.

За результатами експериментів, найкращий результат ідентифікації (точність 95,87%) отримано з використанням запропонованого алго-

ритму часової нормалізації ЕКГ-сигналів, методу виявлення і коригування аномалій, методу головних компонент (PCA) для зменшення розмірності даних та лінійного дискримінантного аналізу (LDA) як класифікатора.

Застосування темпоральної нормалізації електрокардіограм потенційно на декілька відсотків може підвищити точність розпізнавання людей у повсякденному використанні біометричної системи ідентифікації.

#### Список літератури:

1. Gacek A., Pedrycz W. (Eds) ECG signal processing, classification and interpretation. A comprehensive framework of computational intelligence. Springer - London, Dordrecht, Heidelberg, New York, 2012
2. Khoma V., Pelc M., Khoma Y. Artificial Neural Network Capability for Human Being Identification based on ECG. Proceedings: The 23rd International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, Miedzyzdroje, 27-30 August 2018. pp. 479 – 482.
3. Heart rate variability : standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Guidelines. *European Heart Journal*. 1996. 17. P. 354–381.
4. Shaffer F., Ginsberg J. P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front. Public Health* 5:258. (2017).
5. Koshy A., Okwose N. C., Nunan D. Association between heart rate variability and haemodynamic response to exercise in chronic heart failure. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 2019.
6. Selvaraj N., Jaryal A., Santhosh J., Deepak K. K., Anand S. Assessment of heart rate variability derived from finger-tip photoplethysmography as compared to electrocardiography. *Journal of Medical Engineering & Technology*. Volume 32. 2008. Issue 6.
7. Porges S.W. The Polyvagal Theory : phylogenetic contributions to social behavior. *Physiology & Behavior*. 2003, 79 (3): P. 503–513.
8. Li M., Narayanan S. Robust ECG biometrics by fusing temporal and cepstral information, in Proc. IEEE Int. Conf. Pattern Recognit. (ICPR), Aug. 2010. P. 1326-1329.
9. Kim K.S., Yoon T.H., Lee J.W., Kim D.J., Koo H.S. A robust human identification by normalized time-domain features of electrocardiogram. In : 27th annual international conference of the engineering in medicine and biology society, 2005 IEEE-EMBS 2005. 2005. P. 1114–7.
10. Rabkin S.W., Szefer E., Thompson D. J.S.. A New QT Interval Correction Formulae to Adjust for Increases in Heart Rate. *JACC : Clinical Electrophysiology*, Volume 3. Issue 7. 2017. P. 756–766.
11. Tawfik M.M., Selim H., Kamal T. Human identification using time normalized QT signal and the QRS complex of the ECG. In Proc. 7th Int. Symp. Commun. Syst. Netw. Digit. Signal Process. (CSNDSP), Jul. 2010. P. 755–759.
12. Fatemian S. Z., Hatzinakos D. A new ECG feature extractor for biometric recognition. In Proc. IEEE Int. Conf. Digit. Signal Process. Jul. 2009. P. 1–6.
13. Lourenço A., Silva H., Fred A. Unveiling the biometric potential of finger-based ECG signals, *Comput. Intell. Neurosci*, vol. 2011, p. 5, Jan. 2011.
14. Jenkins, D., Gerred, S. ECGs by Example, 3rd edn., 238 p. Elsilver, 2011.
15. Pinto J.R., Cardoso J.S., Lourenço A. Evolution, Current Challenges, and Future Possibilities in ECG Biometrics. *IEEE Access*. Volume 6. 2018. P. 34746-34776.
16. Pelc M., Khoma Y., Khoma V. ECG Signal as Robust and Reliable Biometric Marker: Datasets and Algorithms Comparison. *Sensors*, 2019. 19(10), 2350. P. 1–8.
17. Wieclaw L., Khoma Y., Fałat P., Sabodashko D., Herasymenko V. Biometric identification from raw ECG signal using deep learning techniques. In 2017 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems : Technology and Applications (IDAACS). Vol. 1. P. 129–133).
18. Urigüen, J.A, Garcia-Zapirain B. EEG artifact removal-state-of-the-art and guidelines. *J Neural Eng.* 12 (3), June 2015.
19. Khoma, V., Pelc, M., Khoma, Y., Sabodashko D. Outlier Correction in ECG-Based Human Identification. *Biomedical Engineering and Neuroscience: Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Brain-Computer Interfaces, BCI 2018, Opole, Poland. Vol. 720. P. 11. Springer.*
20. Karpinski, M., Khoma, V., Dudykevych, V., Khoma, Y., & Sabodashko, D. Autoencoder Neural Networks for Outlier Correction in ECG-Based Biometric Identification. In 2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS). P. 210-215. IEEE.
21. Метод k-найближчих сусідів. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.neighbors.KNeighborsClassifier.html>.
22. Метод опорних векторів. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.svm.SVC.html>.

23. Методу лінійного дискримінантного аналізу. URL: <https://scikit-learn.org/0.16/modules/generated/sklearn.lda.LDA.html>.
24. Електрокардіографія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Електрокардіографія>
25. Lviv Biometric Data Set. URL: <https://github.com/YuriyKhoma/Lviv-Biometric-Data-Set>
26. e- Health Sensor Platform V2.0 for Arduino and Raspberry Pi. URL: <https://www.cooking-hacks.com/documentation/tutorials/ehealth-biometric-sensor-platform-arduino-raspberry-pi-medical>
27. Arduino UNO & Genuino UNO. URL: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>
28. Accuracy and precision. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy\\_and\\_precision](https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision)

**Dudykevych V.B., Khoma V.V., Chekurin V.F., Khoma Y.V., Sabodashko D.V.**

### **ECG SIGNALS NORMALIZATION FOR SYSTEMS OF BIOMETRIC IDENTIFICATION**

*ECG signals are easy to measure, store electronically, process using digital methods. These and some other features of ECG create certain prospects for their application in systems for access control to objects and information assets. However, unlike fingerprints and other “stable” biometric features, ECG signals are significantly dependent on the actual psychological and physical condition of the person. This greatly complicates the processing algorithms for human authentication.*

*Therefore, to design the system of biometric identification based on ECG signals, it is necessary to investigate their variability and to identify features that are invariant to each individual. Such studies may be carried out, in particular, by statistical analysis on experimental data obtained by measuring ECG diagrams.*

*The purpose of the work is to determine the influence of the variability of ECG signals of the person on the accuracy of its identification using neural networks without prior allocation of informative features or the use of functional transformation before classification, as well as the development and implementation of a new algorithm for temporal normalization of ECG signal.*

*The idea of the approach, proposed by the authors, is to scale each segment of the electrocardiogram to a given standard window, preserving the shape of the ECG signal, which depends on the individual physiological features of the subject.*

*Algorithm validation was carried out on the neural network system for biometric identification, which contains modules for measurement of the ECG signal, digital signal processing, segmentation, as well as nodes of detection and correction of anomalies, reduction of the data dimensionality, classification and identification. The classifier is based on several commonly used machine learning algorithms. In order to find optimal training parameters, computational experiments were carried out using *k*-neighboring neighbors, support vector machines and linear discriminant analysis.*

*The results of the conducted studies confirmed the possibility of creating neural network access control systems based on ECG signals.*

**Key words:** *ECG signal, biometric identification, ECG signal normalization, machine learning, classification accuracy, dimensionality reduction.*

**Жученко А.І.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Ситніков О.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РЕГЕНЕРАТИВНОЮ СКЛОВАРНОЮ ПІЧЧЮ

У статті надано основні відомості по процесу виготовлення скломаси та скловаріння загалом, надано аспекти та обґрунтовано необхідність створення системи керування тепловим режимом регенеративної скловарної печі, поставлено завдання, що висувуються до системи керування. На основі проведеного аналізу попередніх досліджень, пов'язаних з розробкою систем керування роботою скловарної печі, було сформовано мету та завдання досліджень. Було використано метод системного аналізу, як найбільш відповідний для вирішення основного завдання роботи. Під час формування алгоритму керування використана універсальна мова UML. Всі складові частини технологічного процесу (вхідні та вихідні) параметри представлені у вигляді зображень. Що буде складатися з блоку активних елементів, даних технологічного регламенту, базових функцій та інформаційних потоків. Для зручності всі елементи були зведені до таблиць елементів. З зображень була створена автоматична система керування скловарною піччю з допомогою діаграми варіантів (Use-case diagram). Всі взаємодії між компонентами виконані з допомогою послідовної передачі даних за відповідні інтервали часу. Послідовність даних визначається значущістю для технологічного процесу та відповідність дій технологічного регламенту. Система керування тепловим режимом регенеративної скловарної печі представлена в роботі у вигляді діаграми класів, що дало можливість в графічній формі описати всі складові частини алгоритму керування та взаємодія між ними в програмних блоках. В ролі класу виступала конкретна складова частина системи керування. Алгоритм, що реалізує основний регулятор представлений з допомогою діаграми стану. Розроблена система дала можливість максимально оперативно виконувати керівні дії над процесом подачі пального, оптимізуючи показники витрати.

**Ключові слова:** скловарна піч, система керування, UML діаграми.

**Постановка проблеми.** Скловаріння досить складний процес, що потребує великих затрат паливно-енергетичних ресурсів. В розвинених країнах витрати палива на варку скла в 1,5-2 рази нижче, ніж вітчизняні показники аналогічного виробництва [1]. Основним завданням вітчизняної скловарної промисловості є досягнення світового рівня економічної ефективності у виробництві скла.

Україна має обмежені запаси природного газу і практично всі питання постачання пального на промислові підприємства виконуються шляхом імпортування. Ціни на пальне (природний газ) зростають згідно з тенденціями ринку та прогнозам експертів відповідної галузі, тому використання газу необхідно вести з максимальною економією, на цім не погіршуючи якість виробленої продукції.

Складність технологічного процесу виробництва скломаси потребує створення сучасної авто-

матичної системи керування, що буде відповідати потребам виробництва.

Скловаріння являє собою найбільш автоматизовану стадію в процесі виробництва скла. Основу автоматизованих систем складають мікропроцесорні засоби контролю та керування. При розв'язанні завдання автоматизації процесу скловаріння на передній план висувається низка чинників:

- підтримання регламенту технологічного процесу;
- оптимальний режим роботи системи керування;
- оперативне керування значенням вихідного параметра – температури скломаси.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням розробки системи керування займався низка вітчизняних та закордонних вчених, що відбито в роботах [2-6]. Розглянуто принципи створення автоматизованої системи керування

підтримки температури у варильній зоні печі, контролю теплового режиму роботи скловарної печі. Надано засіб врахування ефекту від підігріву повітря, що надходить на процес горіння, в регенераторі печі.

**Постановка завдання.** Мета роботи – спираючись на попередні дослідження, розробити систему керування тепловим режимом регенеративної скловарної печі, що буде реалізовувати оптимальне програмне керування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Якість скломаси визначається точністю підтримки набору параметрів на різних етапах технологічного процесу варіння. Складність керування зумовлена запізненням по каналах керування. Під час дослідження системи керування тепловим режимом регенеративної скловарної використовується метод системного аналізу [7; 8], що має широкі можливості досліджень. Під час формування алгоритму системи керування для технологічного процесу виготовлення скломаси, необхідно задатися критерієм керування [9], а для зручності використовувати універсальну мову програмування *UML*, що являє собою максимально широкі можливості для реалізації поставлених завдань.

На теоретично-множинному рівні технологічний процес може бути представлений у вигляді зображень [7; 8]:

$$T_n: A \times B \times Y_{inp} \times R \rightarrow Y_{out}, 1 \leq n \leq N.$$

де  $A = \{a_1 \dots a_n\}$  – блок активних елементів системи керування,  $B = \{b_1 \dots b_n\}$  – блок базових функцій,  $R = \{r_1 \dots r_n\}$  – блок технологічного регламенту, що накладені на показники системи та відповідає технологічному процесу,  $Y = \{y_1 \dots y_n\}$  – блок інформаційних потоків в системі.

Таблиця 1

**Значення елементів блоків**

Елемент	Характеристика елемента
$a_1$	Алгоритм виготовлення скломаси
$a_2$	Оператор SCADA-системи керування процесом
$b_1$	Опитування вимірювальних пристроїв в точках виміру
$b_2$	Вимірювання витрати пального
$b_3$	Включення в роботу регенераторів
$b_4$	Реверс полум'я
$b_5$	Кут повороту димового шиберу
$b_6$	Аварійна ситуація
$b_7$	Швидкість завантаження шихти
$r_1$	Критичне значення параметру тиску
$r_2$	Показники температурного режиму

$r_3$	Матеріальний баланс
$y_1$	Покази датчиків рівня скломаси
$y_2$	Вихідний добовий об'єм отриманої скломаси
$y_3$	Температура газу при вильоту з пальника
$y_4$	Покази термопари склепіння
$y_5$	Покази температури на поверхні скломаси (пірометр)
$y_6$	Покази термопари дна
$y_7$	Температура регенераторів
$y_8$	Час роботи по кожному з пальників
$y_9$	Витрата газу за пальниками
$y_{10}$	Співвідношення газ-повітря
$y_{11}$	Спостереження за формою факела пальника та покриття дзеркала скломаси
$y_{12}$	Кут димового шиберу
$y_{13}$	Робота регенераторів
$y_{14}$	Швидкість роботи завантажувача шихти та склобою
$y_{15}$	Зміна витрати газу за пальниками
$y_{16}$	Сигнал реверсу полум'я

Відображення  $T_n$  будуть мати такий вигляд та зведені в таблицю для зручності формування діаграм:

На схемі під нумерацією позицій представлені: 1 – керування тепловим режимом печі; 2 – керування матеріальним балансом печі; 3 – передача даних системі керування; 4 – можливі дії оператора; 5 – візуальний контроль оператора. Фактично отримано два рівні керування – АСР теплового режиму та оператор SCADA системи. З огляду на схему рис. 1. можна сказати, що АСР являє собою нижній рівень керування процесом, а оператор – верхній рівень.

Взаємодія між складовими компонентами виконана з допомогою послідовної передачі повідомлень за відповідні інтервали часу. Послідовність повідомлень визначається значущістю даного повідомлення для технологічного процесу та відповідність дій технологічного регламенту (як приклад – не можна знімати покази вихідної температури при вимкнених пальниках та завантажувачах).

Для системи керування тепловим режимом скловарної печі буде використана діаграма класів [10; 11], що дозволяє в графічній формі описати всі складові частини алгоритму керування та взаємодія між ними в програмних блоках. Під класом буде розглядатися конкретна складова частина системи керування.

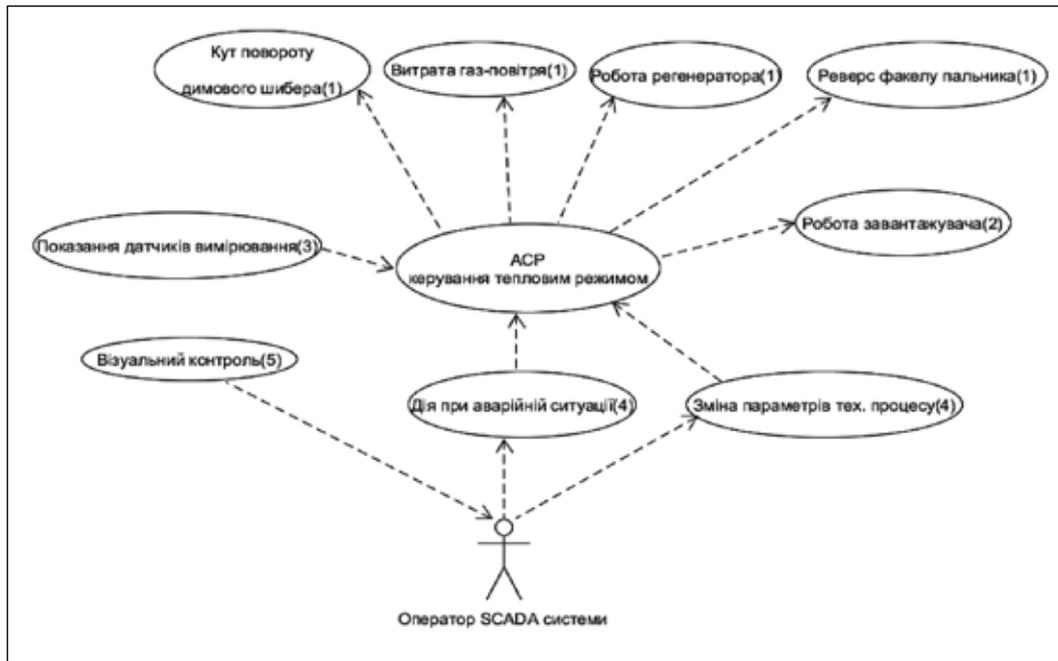


Рис. 1. Створення АСП скловарної печі з допомогою діаграми варіантів (Use-case diagram) UML

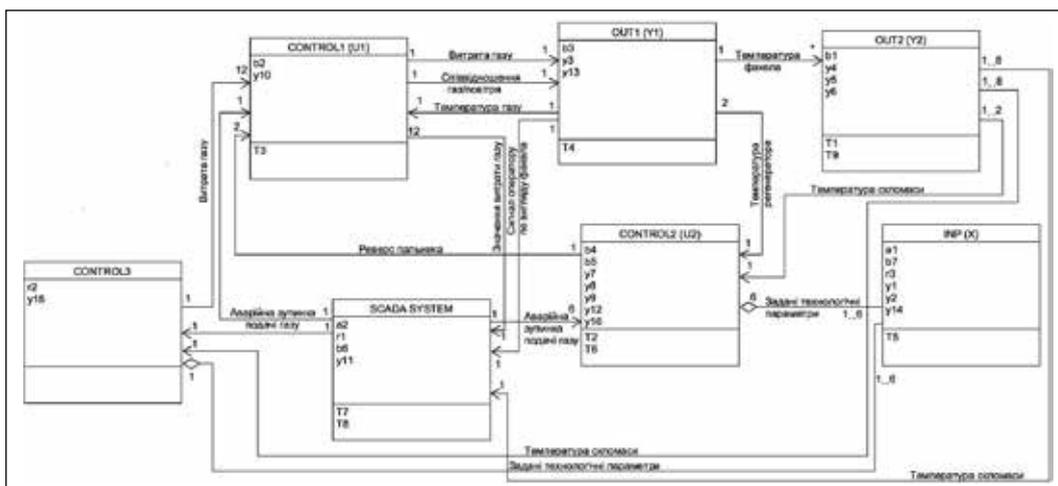


Рис. 2. Система керування тепловим режимом регенеративної скловарної печі



Рис. 3. UML діаграми стану алгоритму керування

Значення зображень  
залежно від елементів блоків

Відображення $T_n$	Вхідні				Вихідні
	активні елементи	базові функції	технологічний регламент	інформаційні потоки	інформаційні потоки
$T_1$ Показання датчиків вимірювання	$a_1$	$b_1$	$r_1, r_2, r_3$	-	$y_1 - y_{10}$
$T_2$ Кут повороту димового шибера	$a_1$	$b_5$	$r_1$	-	$y_7, y_{12}$
$T_3$ Витрата газ-повітря	$a_1$	$b_2$	$r_2$	$y_3 - y_{10}$	$y_{15}$
$T_4$ Робота регенератора	$a_1$	$b_3$	$r_2$	$y_4 - y_{10}$	$y_{13}$
$T_5$ Робота завантажувача	$a_1$	$b_7$	$r_3$	$y_1 - y_2$	$y_{14}$
$T_6$ Реверс факелу пальника	$a_1$	$b_4$	-	$y_4 - y_{10}$	$y_{16}$
$T_7$ Візуальний контроль	$a_2$	-	$r_1, r_2, r_3$	-	$y_{11}$
$T_8$ Дія при аварійній ситуації	$a_1, a_2$	$b_6$	$r_1, r_2, r_3$	$y_1 - y_{11}$	$y_{13} - y_{16}$
$T_9$ Зміна параметрів тех. процесу	-	-	$r_1, r_2, r_3$	$y_1 - y_{11}$	$y_{16}$

Процеси, що відбуваються в основному регуляторі (*control*3 рис. 2) представлено на діаграмі стану.

**Висновки.** Таким чином, розроблена система

керування тепловим режимом регенеративної скловарної печі та надано алгоритм керування.

Всі розробки виконані з допомогою *UML* діаграм.

#### Список літератури:

1. Бочкарева О.А. Система комплексного учета производственных затрат предприятий стекольной промышленности. Вестник *ССЭИ РЭУ им. Г.В. Плеханова*. № 16 (2). 2007. 0,32 п.л.
2. Автоматизированная система управления температурой в стекловаренной печи / Т.А. Халабузарь, В.П. Куценко. Д.: ИУС КМ, 2013. С. 663–668.
3. Автоматизированный контроль теплового режима стекловаренной печи /Л.И Чумак, А.А. Москалева. Д.: Вісник ПДАБА. № 3. 2006. С. 58–62.
4. Развитие систем автоматизации в производстве стекла /А.А. Тарунин, П.И. Межеричкий. М.: АТП в производстве стекла. *Сборник научных трудов*. 1985. С. 10–14.
5. Методика оценки влияния регенеративного подогрева воздуха горения на работу ванной стекловаренной печи. /А.В. Кошельник, В.М. Кошельник, Е.Ю. Долженко. О.: ОПУ сборник трудов. 2007. № 2 (28). С. 1–6.
6. Алонцева Е.Н., Анохин А.Н. Структурное моделирование процессов и систем. Учебное пособие по курсу «CASE и CALS технология». О.: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. 72с.
7. Системный подход к построению системы автоматизированного управления процессом варки стекла / С.В. Куранов, В.А. Иващенко. *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 2.
8. Куракин А.И. Балансовый метод исследования скловаренных печей. «*Стекло и керамика*». 1982. № 3 С. 12–14.
9. Хорошева Е.Р. Выбор критерия управления регенеративными печами в производстве листового стекла. Международная научно-техническая конференция. Конверсия. Приборостроение. Рынок.-Тез.докл., Владимир. 1997. 136 с.
10. Хассан Гома. *UML-проектирование систем реального времени параллельных и распределенных приложений*. М.: ДМК, 2011. 704 с.
11. Дж. Рамбо, М. Блаха *UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка 2-е изд.* СПб.: Питер, 2007. 544 с.

**Zhuchenko A.I., Sytnikov A.V. DEVELOPMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF REGENERATIVE GLASS MELTING FURNACE**

*The article gives the basic information on the process of making glass and glass in general, presents the aspects and justifies the necessity of creating a control system for the thermal mode of a regenerative glass furnace, and presents the tasks put forward in the control system. Based on the analysis of previous studies related to the development of control systems for the operation of a glass furnace, the purpose and tasks of research were formed. The method of system analysis was used as the most suitable for solving the main task of work. When forming the control algorithm, the universal language UML was used. All components of the technological process (input and output) parameters are represented as representations. That will consist of a block of active elements, data of the technological regulations, basic functions and information flows. For convenience, all elements have been reduced to the elements tables. From the displays, an automatic glass-glass furnace control system was created using the Use-case diagram. All interactions between components are performed by sequential data transmission at appropriate intervals. The sequence of data is determined by the importance for the technological process and the compliance of the technological regulations. The thermal regeneration glass furnace control system is presented in the form of a class diagram, which made it possible to graphically describe all components of the control algorithm and the interaction between them in the program blocks. The role of the class was a specific component of the control system. The algorithm implementing the main regulator is represented by a state diagram. The developed system made it possible to carry out control operations on the fuel supply process as efficiently as possible, optimizing the cost parameters.*

**Key words:** glass furnace, control system, UML diagram.

**Киричек Г.Г.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Іванов М.А.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО ЗБОРУ ТА ВИВЕДЕННЯ КРИПТОВАЛЮТИ

У даній роботі запропоновано модель та алгоритм роботи системи автоматичного рішення капч для збору та виведення криптовалюти. Реалізована система автоматичного збору криптомонет з використанням методу емуляції поведінки людини. Для досягнення поставленої мети використовуються метод збору «крани» з рішенням різних капч. Для визначення способу майнінгу використовуються протоколи: *proof-of-work (PoW)* – «доказ роботи»; *proof-of-stake (PoS)* – «доказ частки»; *proof-of-activity (PoA)* – «доказ активності». У якості програмних методів в роботі обрано мову програмування C#, середовище розробки Microsoft Visual Studio 2017 та програмний комплекс CapMonster. Для розгадування ReCaptcha v2, через HTTP-запити до CapMonster 2 підключаємо додатковий модуль «ReCaptcha2 SiteKey Addon». Метою роботи є реалізація системи для збору криптовалюти. Об'єкт дослідження – процес автоматизації збору криптовалюти. Предмет дослідження – моделі, методи та програмні засоби для розв'язання завдань автоматизації збору криптовалюти. У роботі обрано метод заробітку криптовалюти – кран. Завдання, які треба розв'язати під час роботи, є такими: дослідити та розглянути наявні крани з завданнями на рішення капчі; проаналізувати та вибрати кран, який виплачує і має реферальну систему; змодельовати архітектуру та функціональні складові частини системи автоматичного збору криптовалюти; реалізувати функціональні складові частини та модуль рішення різних видів капч; протестувати реалізований модуль рішення капч. За реалізації багатопоточної програми гарантуємо, що будь-яка частина даних захищена від можливості зміни їхніх значень безліччю потоків. Методи дослідження базуються на моделюванні системи та схем взаємодії її модулів, вимірах основних характеристик системи та характеристик рішень капчі.

**Ключові слова:** *recaptcha, криптовалюта, майнінг, біткоїн, кран.*

**Постановка проблеми.** Важливим напрямом в області автоматизації програмування, крім мов програмування, бібліотек і пакетів прикладних програм, є створення інструментальних засобів розробки програмного забезпечення. Криптовалюта – звичайні гроші, універсальний товар, який є мірою вартості при купівлі та продажу інших товарів. Вона має декілька суттєвих переваг: їй не страшна інфляція; вона підтримує децентралізованість та анонімність; їй притаманні доступність та безпека, а також глобальність та швидкість [1]. Транзакції в наявних відкритих криптовалютних системах є незворотними. Криптовалюта складається з декількох записів: адреси відправника; суми грошового переказу та адреси одержувача криптовалюти. Водночас учасник криптовалютної мережі (нода), на якому працює її програмне забезпечення, перевіряє усі блоки та транзакції та має функціонал гаманця.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найпоширенішим способом заробітку криптовалюти вважається майнінг, кінцева мета якого – підбір

цифрового підпису, що закриває блок [2]. Для визначення способу майнінгу використовуються протоколи: *proof-of-work (PoW)* – «доказ роботи»; *proof-of-stake (PoS)* – «доказ частки»; *proof-of-activity (PoA)* – «доказ активності». Майнінг за винагороду не лише забезпечує функціонування системи, але й допомагає досягти мережевого ефекту – люди приєднуються до мережі, щоб одержати вигоду [3]. Вибір місця розташування дата центру для майнінгу залежить від трьох основних чинників: доступ до дешевої електроенергії, здатність швидко надсилати та одержувати через Інтернет великі масиви даних, та клімат, який має запобігати перегріву апаратури. Три чверті пулів зосереджені у двох країнах: 58% пулів загального хешрейту мережі Біткоїн, розташовуються у Китаї та 16% у США. Іншими популярними регіонами є Ісландія, Грузія, та Східна Європа. Хешрейт мережі Біткоїну, у діапазоні вересень 2017 – липень 2019, наведено на рис. 1 [4].

Крім майнінгу є багато інших методів заробітку криптовалюти: крани – послуги з роздачі Bitcoin та

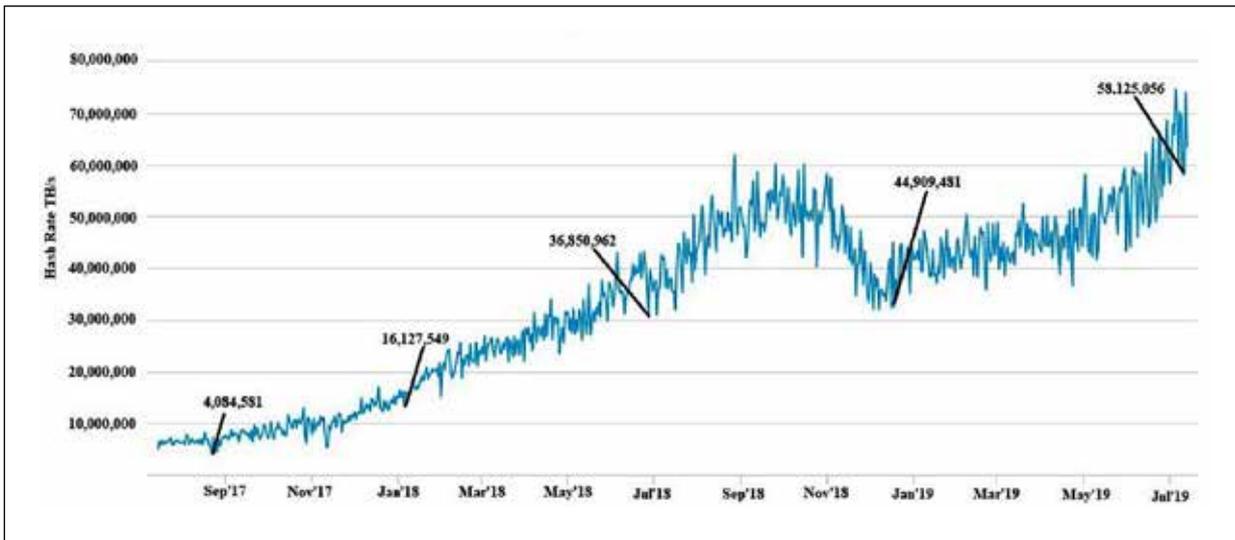


Рис. 1. Хешрейт біткоїну

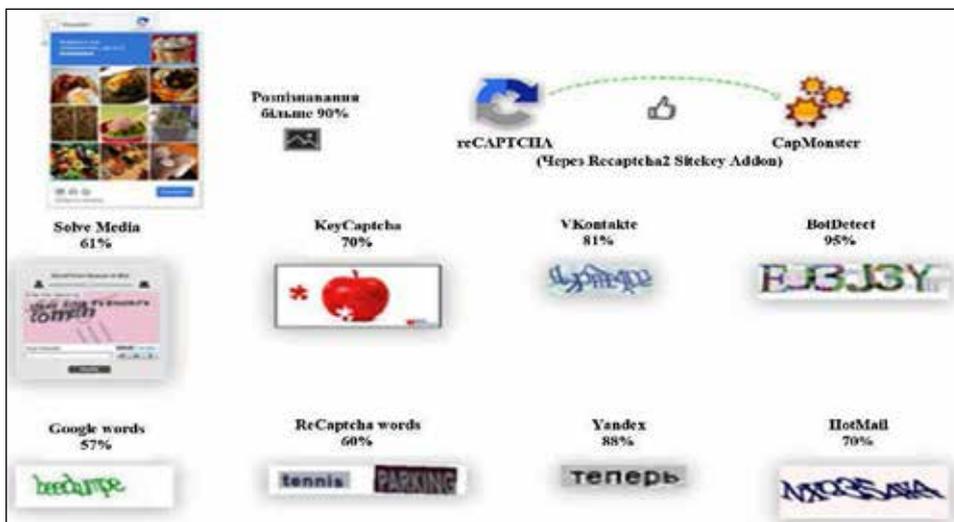


Рис. 2. Відсотки розпізнавання ReCaptcha v2 та інших видів капч

інших монет за виконання дрібних завдань: розгадування капчі, веб-серфінг тощо; баунті – процес реклами нових ICO-проектів через постинг, репостинг, переклади; постинг/копірайтинг – учасники сервісів Steemit і Golos отримують винагороду у вигляді внутрішньої криптовалюти. Алгоритм, за яким здійснюється безкоштовна роздача криптовалюти, виглядає таким чином: власник ресурсу розміщує банерну і відеорекламу та починає просування свого сайту; відвідувачі сайту, залучені у виплаті криптовалюти, виконують задані дії; після виконання завдання або через певний інтервал часу користувач може вивести зароблені кошти [5].

У якості програмних методів в роботі обрано мову програмування C#, середовище розробки Microsoft Visual Studio 2017 та програмний комплекс CapMonster. C# об'єктно-орієнтована мова

програмування з C-подібним синтаксисом, близьким до C++ і Java. Питання управління версіями істотно вплинули на такі аспекти розробки C#, як роздільні модифікатори virtual і override, правила вирішення перевантаження методів і підтримка явного оголошення членів інтерфейсу [6].

Середовище розробки Microsoft Visual Studio є зручною крос-платформною мовою з висококласним середовищем розробки та синтаксисом [6; 7]. CapMonster – програмний комплекс, призначений для розпізнавання капч, має три версії: professional – максимальна кількість одночасних потоків розгадування капчі дорівнює двадцяти та більше; standart – обмеження кількості потоків розгадування капчі до 5; lite – версія з однопоточним розгадуванням різних видів капч [8]. Відсотки розпізнавання ReCaptcha v2 та інших видів капч зображено на рис. 2.

Для розгадування ReCaptcha v2 через HTTP-запити треба приєднати до CapMonster 2 додатковий модуль «ReCaptcha2 SiteKey Addon» [9].

Далі проведемо вибір рішень і технологій для реалізації системи автоматичного збору та виведення криптовалюти.

**Постановка завдання.** Метою роботи є реалізація системи для збору криптовалюти. Об'єкт дослідження – процес автоматизації збору криптовалюти. Предмет дослідження – моделі, методи та програмні засоби для розв'язання завдань автоматизації збору криптовалюти.

У роботі обрано метод заробітку криптовалюти – кран. Завдання, які треба вирішити під час роботи, є такими: дослідити та розглянути наявні крани з завданнями на рішення капчі; проаналізувати та вибрати кран, який виплачує і має реферальну систему; змодельовати архітектуру та функціональні складові частини системи автоматичного збору криптовалюти; реалізувати функціональні складові частини та модуль рішення різних видів капч; протестувати реалізований модуль рішення капч [2; 3].

За реалізації багатопоточної програми гарантуємо, що будь-яка частина даних захищена від можливості зміни їхніх значень безліччю потоків. Зважаючи, що всі потоки в AppDomain мають паралельний доступ до даних програми, очевидно, що доступ до таких загальних даних необхідно синхронізувати. Це гарантує, що в один момент часу доступ до певного блоку коду отримує лише один потік. Так ми гарантуємо цілісність даних, а також їхню актуальність в будь-який момент часу. 3 варіантів синхронізації, зазвичай використовують 4 види: блокування виклику коду; конструкції, що обмежують доступ до частин коду; сигналізуючі конструкції та неблокуюче блокування [10].

Методи дослідження базуються на моделюванні системи та схем взаємодії її модулів, вимірах основних характеристик системи та характеристик рішень капчі [11]. Для зберігання криптовалюти необхідно мати електронний гаманець. У гаманці зберігаються не самі монети, а приватні ключі, які дозволяють отримати доступ до рахунків у блокчейні. Децентралізацію майнінгу криптовалют можна посилити з допомогою майнінгових завдань, розв'язання яких не можливо прискорити з допомогою спеціалізованих інтегральних схем (ASICs).

**Виклад основного матеріалу.** Центральним елементом реалізації програмного забезпечення є моделювання. Моделі дозволяють наочно про-

демонструвати потрібну структуру і поведінку системи. Моделі допомагають досягти кращого структурування модулів системи, що часто призводить до їхнього спрощення та можливості повторного використання [12].

Для роботи desktop-додатку у діаграмах варіантів використання описані такі актори: користувач – особа, що завантажила додаток з метою збору криптовалюти; програміст – людина, яка займається розробкою програмного забезпечення (рис. 3) [13].

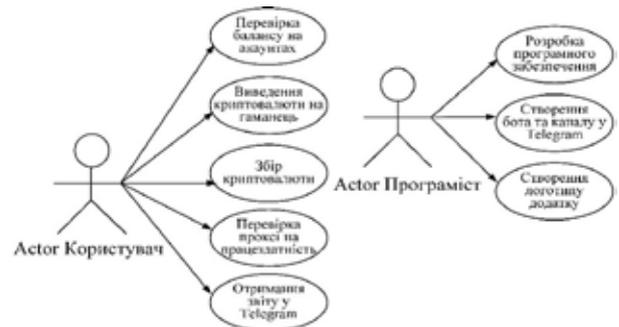


Рис. 3. Діаграми варіантів

Діаграма послідовності показує життєвий цикл об'єкту і взаємодію акторів. Опис роботи користувача у додатку зі збору криптовалюти, зображує послідовність дій. Основний виконавець: користувач.

Основний потік: користувач запускає додаток; користувач вводить дані у поля для заповнення інформації про акаунт; користувач зазначає необхідні файли для подальшої роботи та спостерігає результати збору криптовалюти.

Діаграми послідовності прецедентів «збір криптовалюти» та «виведення криптовалюти на електронний гаманець» зображено на рис. 4 [13; 14].

Подібна діаграма отримання звіту про збір криптовалюти у Telegram наведена на рис. 5.

Для роботи з системою реєструємо облікові записи на freedoge.co.in. Після чого вставимо список акаунтів у відповідне поле за форматом, який вказаний в програмі. Також потрібно вставити список проксі для кожного акаунта і вибрати тип (http, socks4, socks5). Для обмеження кількості потоків програми задаємо параметр в поле «Threads». Коли акаунт розгадав рекапчу та зібрав криптовалюту йому назначиться таймер на сайті, (програма чекає відповідний час, який встановлений для акаунта), число в полі «Wait timer». Якщо ставимо 500, то програма очікує акаунт до 500 секунд. Під час розробки програми потрібно увімкнути бібліотеки (лістинг 1).

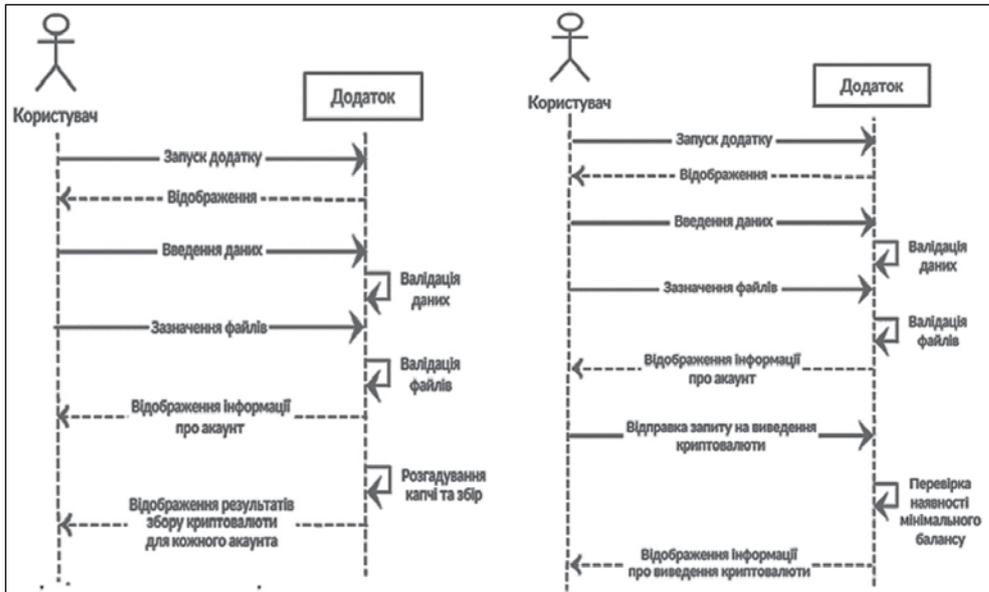


Рис. 4. Діаграми послідовності прецедентів «збір криптовалюти» та «виведення криптовалюти на електронний гаманець»

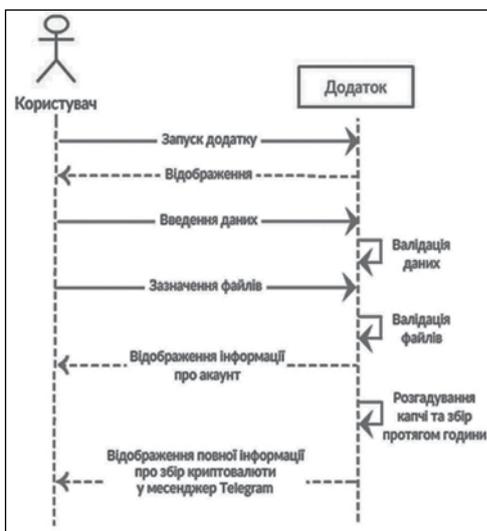


Рис. 5. Діаграма послідовності прецеденту «отримання звіту у Telegram»

Лістинг 1 – Підключення бібліотек:

```

- using System;
- using System.Collections.Generic;
- using System.ComponentModel;
- using System.IO;
- using System.Linq;
- using System.Text.RegularExpressions;
- using System.Threading.Tasks;
- using System.Threading;
- using System.Windows.Forms;
- using xNet;
- using Telegram.Bot;
    
```

Для запуску збору криптовалюти у «Start» реалізуємо код, що наведено у лістингу 2.

Лістинг 2 – Функція старту програми:

```

public void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
    richTextBox1.Text = richTextBox1.Text.TrimEnd();
    kolvo_strok = richTextBox1.Lines.Count();
    label3.Text = "[" + kolvo_strok.ToString() + "]";
    int threadCount = Convert.ToInt32(textBox2.Text);
    //Create and start threads
    for (int i = 0; i < threadCount; i++)
        new Thread(Process) { IsBackground = true }.Start();
}
    
```

Після натискання кнопки «Start» перевіряються усі поля та файли, на заповнення (лістинг 3).

Лістинг 3 – Перевірка на заповнення усіх полів та файлів:

```

if ((openFileDialog1.FileName == String.Empty) ||
    (openFileDialog2.FileName == String.Empty) ||
    (openFileDialog3.FileName == String.Empty))
    { MessageBox.Show("Choose the path to the files!", "Wrong path(s)!"); }
else
    { //continue working... }
    
```

Якщо всі поля заповнені і файли вказані вірно: виконуються подальші команди для підготовки акаунтів та GET-запит для отримання додаткових даних. Для збору криптовалюти виконуємо POST-запит з параметрами акаунту: спочатку розпізнаємо рекапчу з допомогою

sitekey (відповідь GET-запиту); відправляємо GET-запит на розгадування рекапчі з параметрами sitekey та адресою сайту; отримуємо ідентифікатор капчі та відповідь від CapMonster і відправимо GET-запит на отримання результату: `http://127.0.0.1/in.php?key=&method=userrecaptcha&googlekey=sitekey&pageurl=https://freedoge.co.in; http://127.0.0.1/res.php?action=get&id=CaptchaID`. Отримання результату капчі відбувається з допомогою коду, що наведено у лістингу 4.

```

Лістинг 4 – Отримання результату Recaptcha v2:
static SemaphoreSlim semaphoreSlim = new
SemaphoreSlim(1, 1);
string recaptcha = string.Empty;
while (recaptcha == String.Empty)
{ await semaphoreSlim.WaitAsync();
try
{ List<string>quotelist=File.
ReadAllLines(captcha_folder).ToList();
recaptcha = quotelist[0];
quotelist.RemoveAt(0);
File.WriteAllLines(captcha_folder, quotelist.
ToArray()); }
catch { await Task.Delay(2000); }
finally
{ semaphoreSlim.Release();
}}
```

Після отримання результату розгаданої капчі програма посилає POST-запит на сайт з параметрами акаунту та вирішеною капчею.

Щоб зручно контролювати процес збору в системі створено бота для месенджера Telegram. Він кожен годину повідомляє о кількості зборів за сесію/за годину та кількості криптовалюти за сесію/ за годину (лістинг 5).

Лістинг 5 – Посилання звіту з інформацією про збір криптовалюти кожен годину у месенджер Telegram:

```

lock (time)
{if (Convert.ToInt32(end_time) > Convert.
ToInt32(start_time))
{ start_time = DateTime.Now.ToString("hh");
string strChat = "-25658969";
var test = new TelegramBotClient("675252248:A
AEKCz_ZO-WDfysauIG0RW6yBcCgm3JrPy");
var GetMe = test.GetMeAsync();
var SendMessage = test.
SendMessageAsync(strChat, "Freedoge Bot ★
Зборів за сесію:" + kolvo_sbor + " раз. Зборів за
годину: " + kolvo_sbor_hour + " раз"); }
else if(start_time == "12" && end_time == "01")
{ start_time = DateTime.Now.ToString("hh");
```

```

string strChat = "-25658969";
var test = new TelegramBotClient("675252248:A
AEKCz_ZO-WDfysauIG0RW6yBcCgm3JrPy");
var GetMe = test.GetMeAsync();
var SendMessage = test.
SendMessageAsync(strChat, "Freedoge Bot ★
Зборів за сесію:" + kolvo_sbor + " раз. Зборів за
годину: " + kolvo_sbor_hour + " раз");
}}
```

Після завершення реалізації системи перевіряємо її працездатність. Для цього реєструємо акаунт на сайті крапа криптовалюти. Далі заповнюємо поле «Accounts». У вкладці «Cookies» вказуємо директорію файлу з куками для акаунту (наприклад, «D:\Cookies») та вибираємо тип проксі(в системі обрано «Http»). Останнім етапом налаштування є зазначення трьох файлів: файлу з вирішеними капчами; файлу з резервним списком проксі; файлу для акаунтів, які потребують верифікацію через пошту.

Перед початком роботи системи (після налаштування) натискаємо кнопку «Start». У вкладці «Info» можна побачити шість стовпців з певною інформацією: перший «Accs» відбиває пошту, на яку зареєстровано акаунт; другий «Info» надає інформацію, яку надсилає сайт як відповідь на запит; третій «Balance» інформує про баланс акаунта; четвертий «Timer» виводить кількість секунд до наступного збору; п'ятий «Date» показує час, коли акаунт зібрав криптовалюту чи зробив іншу дію; шостий «Roll №» відбиває кількість збору за всю сесію роботи системи.

Щоб побачити детальну інформацію про роботу системи, потрібно відкрити вкладку «Log». Повний звіт про збір криптовалюти приходить кожен годину у месенджер Telegram.

Результатом тестування програми є повний робочий функціонал та звіт про успішний збір криптовалюти у месенджері Telegram.

**Висновки.** Отже, у роботі наведено аналіз криптовалюти, її переваги та недоліки. Проаналізовано та обрано метод збору криптовалюти. Запропоновано модель та алгоритм роботи системи автоматичного рішення капч для збору та виведення криптовалюти на гаманець. Реалізоване програмне забезпечення автоматичного збору криптомонет з емуляцією поведінки людини, проведено аналіз результатів реалізації програмного забезпечення автоматичного збору криптовалюти, розглянуто метод збору криптовалюти у багатопоточному режимі з використанням проксі та автоматичним рішенням ReCaptcha v2.

Список літератури:

1. Kirichek G., Tymoshenko V., Rudkovskiy O., Hrushko S. Decentralized System for Run Services. *CMIS*. 2019. P. 860–872.
2. Поппер Н. Цифровое золото : невероятная история Биткойна. Москва : Вильямс, 2016. 368 с.
3. Тапскотт Д., Тапскотт А. Технология блокчейн. Москва : Эксмо, 2016. 448 с.
4. Hash Rate. The estimated number of tera hashes per second. URL: <https://www.blockchain.com/charts/hash-rate?timespan=2years>(дата звернення: 10.07.2019).
5. Vigna P., Casey M.J. The Age of Cryptocurrency : How Bitcoin and the Blockchain Are Challenging the Global Economic Order. London : St. Martin's Press, 2015. 368 p.
6. Майлз Р. C# Programming Yellow Book, Cheese Edition. Independently published, 2016. 216 с.
7. Рихтер Дж. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft .NET Framework 4.5 на языке C#. Санкт Петербург : Питер, 2013. 896 с.
8. CapMonster. URL: <http://zennobot-shop.ru/capmonster/> (дата звернення: 10.07.2019).
9. Распознавание ReCaptcha 2 через sitekey. URL: <https://zennolab.com/wiki/ru:addons:capmonster:sitekey> (дата звернення: 10.07.2019).
10. Основы многопоточности в .NET Framework. URL: <https://habr.com/ru/company/nixsolutions/blog/260745> (дата звернення: 10.07.2019).
11. Томашевський В.М. Моделювання систем. Київ : BHV, 2005. 349 с.
12. Vaghela V. B., Jadav B. M., Scholar M. E. Analysis of various sentiment classification techniques. *International journal of Computer applications*, 2016. Т.140. №. 3. P. 0975–8887.
13. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя. Москва : ДМК Пресс, 2006. 496 с.
14. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. Москва : Вильямс, 2013. 736 с.

**Kirichek G.G., Ivanov M.A. THE SYSTEM OF AUTOMATIC COLLECTION AND CRYPTOCURRENCY WITHDRAWAL**

*In the paper proposes the model and algorithm of work system the automatic solution captch for collection and cryptocurrency withdrawal. The system of automatic collection of cryptomonets with the use of the method of human behavior emulation was implement. To achieve the goal, the method of collecting “cranes” with the decision of different captch is using. Protocols are used to determine the way of mining: proof-of-work (PoW) – “proof of operation”; proof-of-stake (PoS) – “proof of particle”; proof-of-activity (PoA) – “evidence of activity”. As a software method, C # programming language, Microsoft Visual Studio 2017 development environment, and CapMonster software package were select. For unravel ReCaptcha v2, we add an additional module “ReCaptcha2 SiteKey Addon” through HTTP requests to CapMonster 2. The purpose of the work is to implement a system for cryptocurrency collection. The object of the study is the process of automating of the cryptocurrency collection. Subject of research is models, methods and software for tasks solving automation of collections and cryptocurrency withdrawal. In the work the method of earning cryptocurrency was choose – crane. The tasks to be solved in the course of work are as follows: to study and consider existing cranes with tasks for the decision of captcha; analyze and select the crane that pays and has a referral system; to simulate the architecture and functional components the system of automatic cryptography collection; implement functional components and solution module of various types of captcha; test the implemented of captch solution module. When implementing a multithreaded program, we guarantee that any part of the data was been protected from the possibility of changing their values in a multitude of threads. The research methods are basing on modeling of the system and schemes of interaction of its modules, measurements the main characteristics of system and the characteristics of captcha solutions.*

**Key words:** recaptcha, cryptocurrency, mining, bitcoin, crane.

**Ковальчук А.М.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Марчук Г.В.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

**Марчук Д.К.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

## ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ РУКОПИСНИХ СИМВОЛІВ

*У роботі досліджено можливості згорткових нейронних мереж для розпізнавання рукописних символів. Архітектура ЗНМ призначена і використовується для ефективного розпізнавання зображень, де чергуються шари згортки з шарами субдискретизації.*

*Для навчання нейронної мережі використовується метод зворотного поширення помилки. Це ітеративний алгоритм, який використовується з метою мінімізації помилки роботи багатощарового перцептрона та отримання бажаного результату.*

*Навчання мережі здійснюється з вчителем. Вхідними даними нейронної мережі є зображення розміром 250x250 пікселів. З цього випливає, що на вхідному шарі мережі розташовуються 62 500 нейронів. Навчання проводиться на прикладах з вже відомою відповіддю. Необхідно зазначити, що під час навчання з вчителем потрібна велика вибірка, щоб в достатній мірі сформуванню робочу нейронну мережу.*

*У роботі представлена модель згорткової нейронної мережі у вигляді діаграми класів.*

*Для реалізації згорткової нейронної мережі створено клас для реалізації системи згортання, клас для реалізації системи підвибірки, клас для реалізації системи навчання.*

*Для розробки програмного додатка обрано рушій Unity і мову програмування C#. Завдяки великому інструментарію з роботи з 2D-об'єктами, Unity відмінно підходить і для роботи з не ігровим контентом. Крім того рушій ідеально підходить під створення кросплатформених додатків, збірка проектів здійснюється буквально за пару кліків. А це розв'язує проблему багатьох замовників, які хочуть бачити свій додаток і на iOS, і на Android.*

*Розроблено програмний додаток, що розпізнає написаний користувачем символ, збирає у текст та зберігає його у файл. Крім того програмний додаток надає можливість створити власну нейронну мережу під особисті особливості накреслення букв та символів.*

*Для налаштування мережі необхідно ввести кількість шарів нейронів і кількість нейронів в кожному шарі та визначити кількість навчальних прикладів для кожного символу.*

*Навчену нейронну мережу можна зберегти у файл з розширенням \*.спп.*

*Програмний додаток також надає можливість використовувати вже наявну навчену мережу. Для цього потрібно тільки вибрати відповідний файл.*

*Програмний продукт забезпечує розпізнавання букв, цифр, арифметичних і пунктуаційних символів. Серед інших особливостей значиться робота з будь-якою мовою.*

**Ключові слова:** нейрон, мережа, символ, текст, згортка, субдискретизація, навчання, похибка.

**Постановка проблеми.** Згорткова нейронна мережа (англ. convolutional neural network, CNN) – спеціальна архітектура штучних нейронних мереж, запропонована Яном Лекуном у 1988 році та націлена на ефективне розпізнавання образів, входить до складу технологій глибокого навчання (англ. deep learning) і успішно зарекомендувала себе в завданнях розпізнавання та класифікації зображень.

Назву архітектура мережі отримала через наявність операції згортки, суть якої в тому, що кожен фрагмент зображення множить на матрицю

(ядро) згортки елемент за елементом, а результат підсумовується і записується в аналогічну позицію вихідного зображення.

Актуальність розробок в області нейронних мереж обумовлюється їхніми широкими можливостями застосування в самих різних областях.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка програмного додатка, що розпізнає написаний користувачем символ, збирає у текст та зберігає його у файл у форматі txt. Крім того програмний додаток надає можливість створити

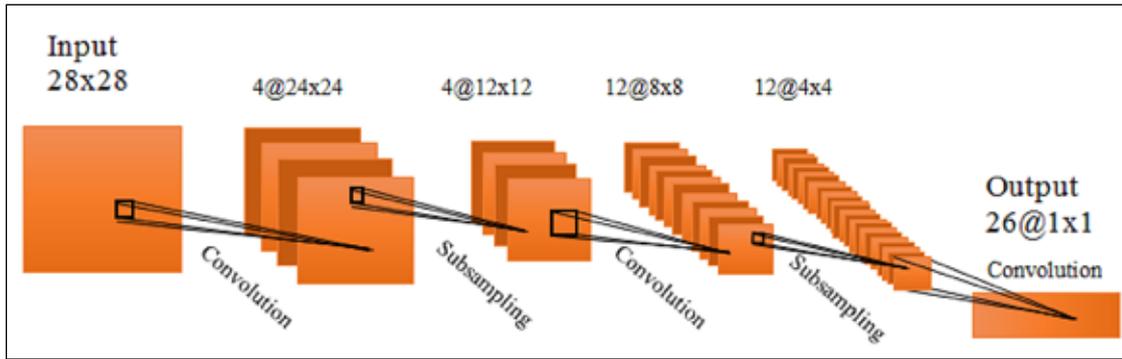


Рис. 1. Архітектура згорткової нейронної мережі

власну нейронну мережу або використовувати вже наявну навчену мережу.

**Виклад основного матеріалу.**

**1. Згорткові нейронні мережі**

Згорткова нейронна мережа – спеціальна архітектура нейронних мереж, запропонована Яном Лекуном, від самого початку націлена на ефективне розпізнавання зображень.

Згорткова нейронна мережа зазвичай являє собою чергування шарів згортки (convolution layers, C-layers), шарів субдискретизації (subsampling layers, S-layers) і за наявності повнозв’язних шарів (fully-connected layer, F-layers) на виході [1, с. 7; 2, с. 4]. Всі три види шарів можуть чергуватися в довільному порядку (рис. 1).

Згортка (convolution) – операція над парою матриць A (розміру  $n_x \times n_y$ ) і B (розміру  $m_x \times m_y$ ), результатом якої є матриця  $C = A * B$  розміру  $(n_x - m_x + 1) \times (n_y - m_y + 1)$ . Кожен елемент обчислюється як скалярний добуток матриці B і деякої підматриці A такого ж розміру.

Операція згортки (рис.2) визначається таким виразом:

$$C_{i,j} = \sum_{u=0}^{m_x-1} \sum_{v=0}^{m_y-1} A_{i+u,j+v} B_{u,v}$$

де  $B_{u,v}$  – значення елемента ядра згортки (u, v),  $C_{i,j}$  – значення пікселя зображення, що отримуємо,  $A_{i+u,j+v}$  – значення пікселя вхідного зображення,  $m_x - 1, m_y - 1$  – розмір ядра згортки.



Рис. 2. Алгоритм згортки

Логічний сенс згортки такий – чим більше величина елемента згортки, тим більше ця частина матриці A була схожа на матрицю B (схожа в сенсі скалярного добутку). Тому матрицю A називають зображенням, а матрицю B – фільтром.

За реалізацію згортки відповідає клас Convolution. В ньому зберігається ядро згортки нейрону. Отримуючи на вхід зображення у вигляді матриці раціональних чисел, клас множить кожен частину вхідного зображення з ядром. Результатом цих операцій є нове, менше зображення.

Лістинг класу Convolution:

```
class Convolution{
public double[,] Kernel;
public double[,] LastOutput;
public double[,] GetNewImage(double[,]
enterImage) {
var n1 = enterImage.GetLength(0);
var n2 = Kernel.GetLength(0);
var m1 = enterImage.GetLength(1);
var m2 = Kernel.GetLength(1);
var n = n1 + 1 - n2;
var m = m1 + 1 - m2;
var newImage = new double[n, m];
for (int i = 0; i < n; i++)
{
for (int j = 0; j < m; j++)
{
newImage[i, j] = GetNewPixel(enterImage, i, j);
}
}
LastOutput = newImage;
return LastOutput;
}
private double GetNewPixel(double[,]
enterImage, int posX, int posY) {
double sum = 0;
for (int i = 0; i < Kernel.GetLength(0); i++)
for (int j = 0; j < Kernel.GetLength(1); j++) {
```

```

    sum += enterImage[i + posX, j + posY] *
Kernel[i, j];
}
}
return sum;
}
}

```

Шари субдискретизації виконують зменшення розмірності (зазвичай в кілька разів). Це можна робити різними способами, але найчастіше використовується метод вибору максимального елемента (max-pooling) вся карта ознак поділяється на осередки, з яких вибираються максимальні за значенням (рис. 3).

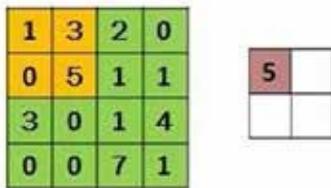


Рис. 3. Алгоритм субдискретизації (max pooling)

За реалізацію системи підвибірки відповідає статичний клас `Subsampling`. Даний клас зменшує вхідне зображення у 2 рази за вертикаллю та горизонталлю. Отримуючи на вхід зображення у вигляді матриці раціональних чисел, клас розділяє вхідне зображення на квадрати розміром 2\*2. В кожному з цих квадратів метод знаходить найбільший за значенням елемент. Цей елемент стає значенням відповідного пікселя нового зображення, розмірами якого являється кількість квадратів 2\*2 що поміщаються на вхідному зображенні за вертикаллю та горизонталлю відповідно.

Лістинг класу для реалізації системи підвибірки:

```

static class Subsampling{
    public static double[,] GetNewImage(double[,]
enterImage) {
        var n = enterImage.GetLength(0) / 2;
        var m = enterImage.GetLength(1) / 2;
        var newImage = new double[n, m];
        for (int i = 0; i < n; i++) {
            for (int j = 0; j < m; j++) {
                newImage[i, j] = GetNewPixel(enterImage, i, j);
            }
        }
        return newImage;
    }
    private static double GetNewPixel(double[,]
enterImage, int posX, int posY){
        double max = double.NegativeInfinity;

```

```

for (int i = 0; i < 2; i++) {
    for (int j = 0; j < 2; j++) {
        max = Math.Max(enterImage[i + posX * 2, j +
posY * 2], max);
    }
}
return max;
}
}
}

```

## 2. Навчання

Найпростішим і популярним способом навчання є метод навчання з учителем – метод зворотного поширення помилки (backpropagation).

Зворотне поширення помилки являє собою ітераційний процес, який починається з останнього шару і рухається у зворотному напрямі через всі

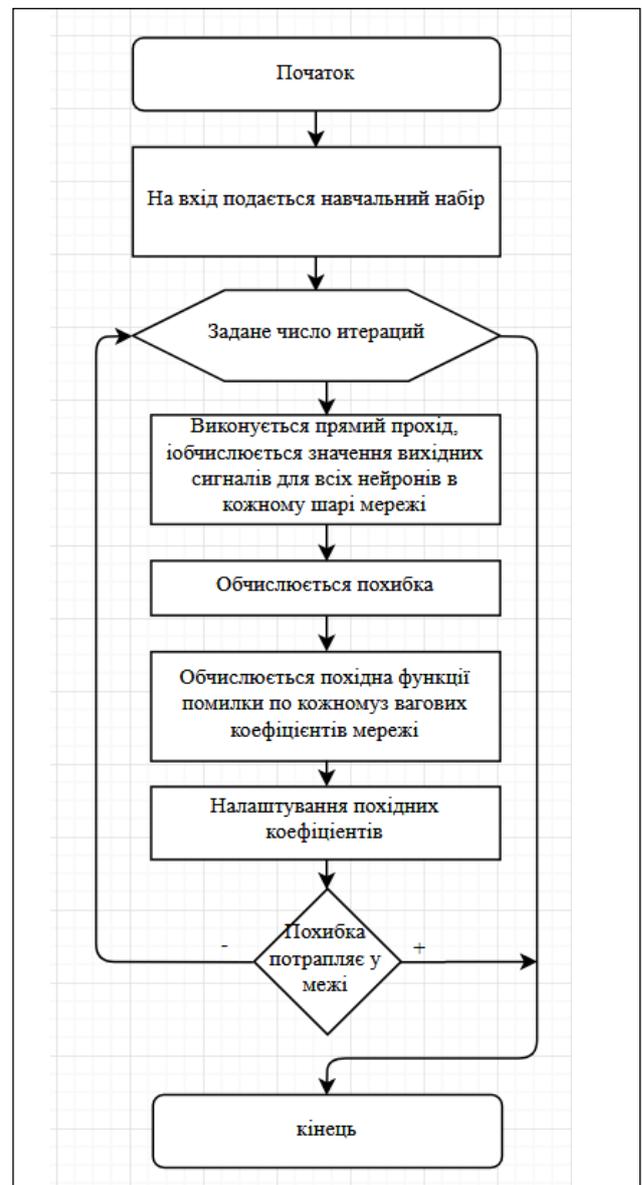


Рис. 4. Алгоритм зворотного поширення похибки

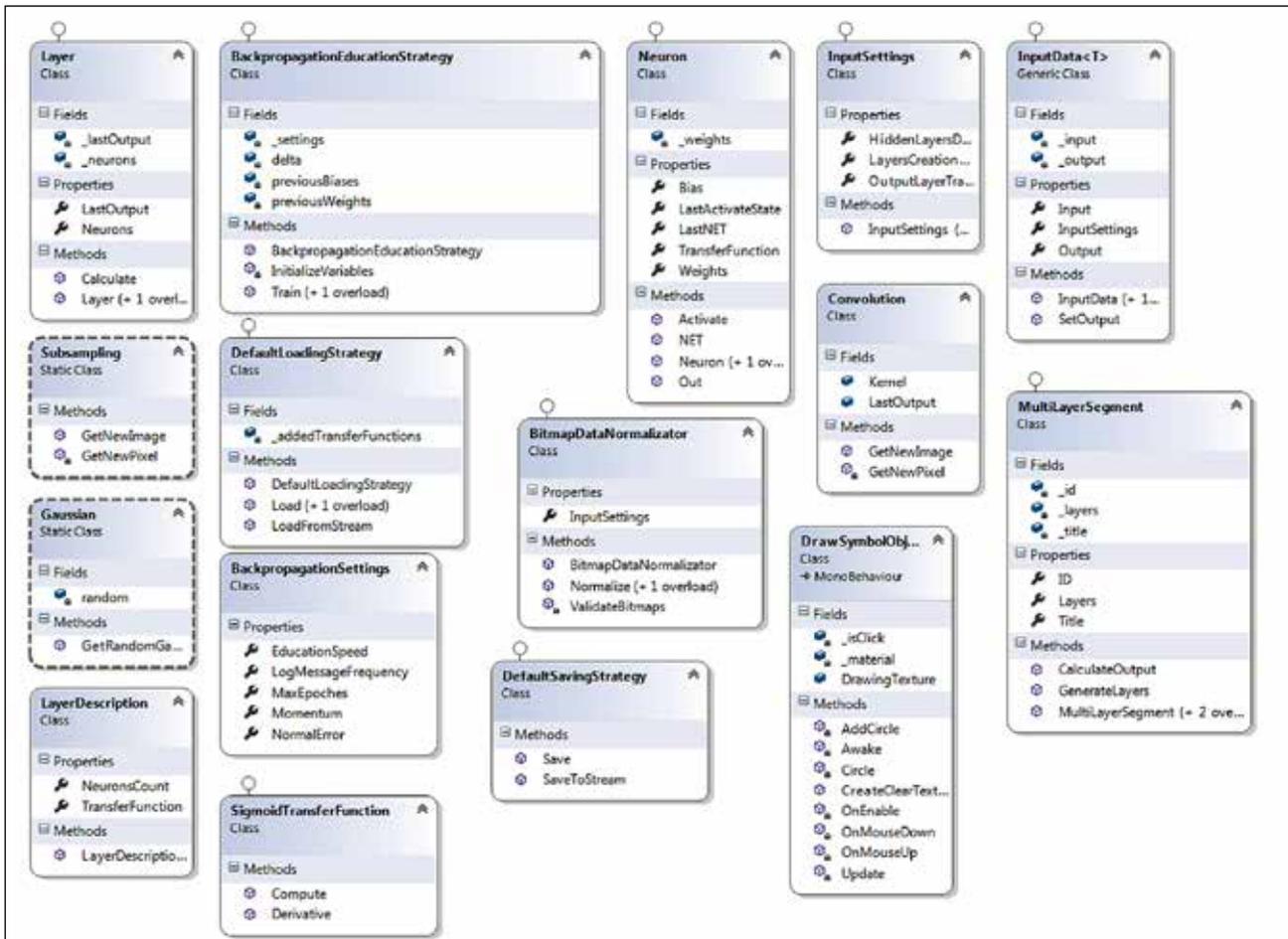


Рис. 5. Діаграма класів, що реалізує модель ЗНМ

шари, поки не буде досягнуто перший шар. Припустимо, що для кожного шару відома помилка на виході з шару. Якщо відома помилка на виході, то не важко розрахувати зміни для ваги, тим самим зменшивши помилку. Проблема полягає в тому, що помилку видно тільки на виході самого останнього шару. Тобто алгоритм зворотного поширення помилки дає можливість визначити помилку на виході попереднього шару, з огляду на помилку на виході в поточному шарі (рис. 4).

За реалізацію системи навчання відповідає клас EducationStrategy. Навчання проводиться на прикладах з вже відомою відповіддю.

### 3. Реалізація

В роботі була реалізована модель згорткової нейронної мережі.

Архітектура створеної нейронної мережі реалізує три ідеї:

- кожен нейрон отримує вхідний сигнал від локального рецептивного поля в попередньому шарі, що забезпечує локальну двовимірну зв'язність нейронів;

- кожен прихований шар мережі складається з безлічі карт ознак, на яких всі нейрони мають

загальні ваги, що забезпечує інваріантність до зміщення і скорочення загального числа вагових коефіцієнтів мережі;

- за кожним шаром згортки іде обчислювальний шар, який здійснює локальне усереднення і підвибірку, що забезпечує зменшення дозволу для карт ознак.

Слід зазначити, що навчання мережі здійснюється з вчителем. Вхідними даними нейронної мережі є зображення розміром 250x250 пікселів. З цього випливає, що на вхідному шарі мережі розташовується 62 500 нейронів.

На рисунку 5 представлена Діаграма класів, що реалізує модель згорткової нейронної мережі.

Після запуску програмного додатка, у головному вікні з'являється дві кнопки «Load network», «Create network» (рис. 6).

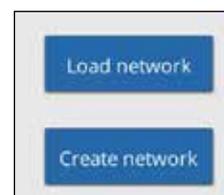


Рис. 6. Головне вікно програмного додатку

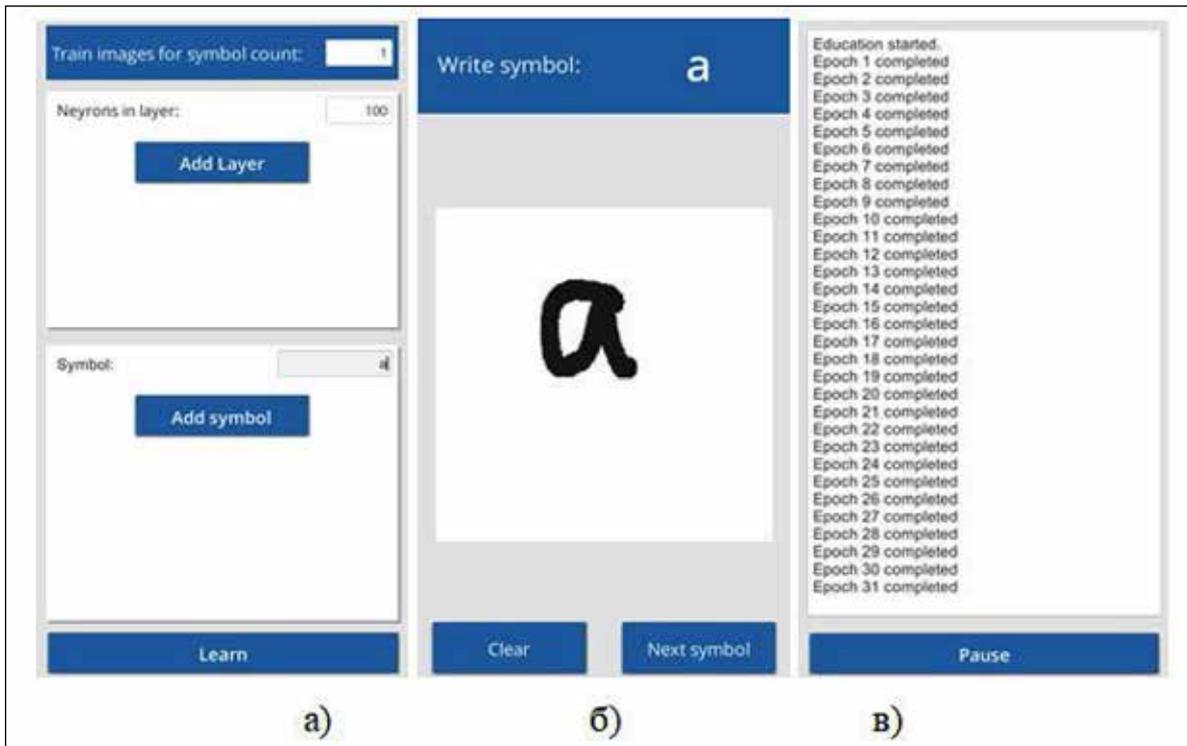


Рис. 7. Створення власної мережі



Рис. 8. Введення і розпізнавання символів

Для роботи з навченою нейронною мережею необхідно увімкнути файл з розширенням \*.cnn.

Якщо користувач із головного меню перейшов по кнопці «Create network», він попадає в меню налаштування нейронної мережі (рис. 7(а)).

Для створення власної мережі потрібно ввести параметри для її налаштування:

- кількість шарів нейронів;
- кількість нейронів в кожному шарі;
- символи, що повинні розпізнати нейронна мережа.

– кількість навчальних прикладів для кожного символу.

На рисунку 7(б) показано приклад введення символу для навчання, на рисунку 7(в) показано навчання мережі.

Якщо нейронна мережа пройшла курс навчання, можна приступити до введення символів.

В центрі вікна введення символів (рис.8) розташовується поле для написання символів. Після того як користувач ввів символ і натиснув кнопку «OK» в верхній частині екрану з'являється символ, що пройшов через нейронну мережу, і є розпізнаним. Якщо користувач зробив помилку, то він може видалити символ з допомогою кнопки «Backspace».

Користувач може ввести слово буква за буквою, після чого поставити пробіл кнопка «Space». Коли користувач ввів текст, він може скопіювати його у буфер обміну (кнопка «Copy») або зберегти у файл(кнопка «Save to file»).

**Висновки.** Отже, розроблений алгоритм, який використовує згорткову нейронну мережу, може бути застосований для розв'язання завдань

онлайн-розпізнавання рукописного тексту. Точність розпізнавання достатньо висока. Ефективність реалізованої системи залежить від розміру навчальної та тестової вибірок, кількості шарів та нейронів у кожному шарі. Точність вирішення поставленого завдання з використанням моделі згорткової нейронної може бути поліпшена практично до 99%.

Програмний продукт забезпечує розпізнавання букв, цифр, арифметичних і пунктуаційних символів. Серед інших особливостей значиться робота з будь-якими мовами, два режими роботи розпізнавання символів (робота з уже навченою нейронною мережею або спочатку навчити мережу, а потім робота з нею) та система навчання нейронної мережі.

### Список літератури:

1. LeCun Y., Y. Bengio Convolutional Networks for Images, Speech, and Time-Series, in Arbib, M. A. (Eds), The Handbook of Brain Theory and Neural Networks, 1995.
2. Krizhevsky Alex, Sutskever Ilya, Hinton Geoffrey E. Imagenet classification with deep convolutional neural networks, NIPS. 2012.

### **Marchuk G.V., Marchuk D.K., Kovalchuk A.M. APPLICATION OF A CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR THE RECOGNITION OF HANDWRITTEN CHARACTERS**

*In this work the possibilities of convolutional neural networks for the recognition of handwritten characters are investigated. CTT architecture is designed and used to efficiently recognize images, where alternating layers of convolutions with sub-sampling layers.*

*To train the neural network, we use the method of reverse error propagation. This is an iterative algorithm that is used to minimize the mistake of working a multilayer perceptron and obtain the desired result.*

*Teaching the network is carried out with a teacher. The input data of the neural network is an image of 250x250 pixels. It follows from this that 62500 neurons are present on the input layer of the network. The training is conducted on examples with already known answer. It should be noted that when teaching with a teacher, a large test sample is required to adequately form the working neural network.*

*In the work, the model of the neural system is represented in the diagram of classes.*

*For realization a convolutional neural network, a class has been created for the implementation of a curtailment system, a class for the implementation of a sub-system, a class for the implementation of a training system.*

*Unity engine and C # programming language are used to develop software application. Thanks to the great toolkit for working with 2D-objects, Unity is also great for non-gaming content. In addition, the engine is ideally suited for creating cross-platform applications, a collection of projects carried out literally a couple of clicks. And this solves the problem of many customers who want to see their app on both iOS and Android.*

*A software application is developed that recognizes a character written by the user, creating a text and storing it in a file. In addition, the software application provides the ability to create its own neural network under the personal characteristics of the letters and characters.*

*To configure the network, you must enter the number of neuron layers and the number of neurons in each layer and determine the number of tutorials for each character.*

*A trained neural network can be saved to a file with extension \* .cnn.*

*The software application also provides the ability to use an existing trained network. To do this, just select the appropriate file.*

*The software provides recognition of letters, numbers, arithmetic and punctuation symbols. Among other features is the work with your favorite languages.*

**Key words:** neuron, network, symbol, text, convolution, sub-sampling, training, mistake.

**Kozlenko O.V.**

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

## INFORMATION SECURITY ONTOLOGY WITH LEAKS SCENARIOS AND INFORMATION SECURITY CULTURE

*Analysis of CISS bases on many factors (attack scenarios on the system, etc.), many of which also depends not on hardware elements. Common errors and misunderstanding of the security incidents and how to react also plays an important role. So, for basic security system assessment evaluation, structure, that has determined factors and scenarios of CISS analysis for further use will greatly simplify understanding and automating processes of these evaluations. Attack's results can affect information both directly and indirectly. Usually information threats in the information system depend on the characteristics of the internal system, physical environment, staff and processed information. Threats can have as an objective component (changing the conditions of the physical environment, refusal of elements interactions) and a subjective (human errors or malicious actions), which can be accidental or intentional. Human factor crucially plays important role, because it's usually associated with the lack of or imperfect security measures, but always connected to non-compliance with security policy. In terms of information security, information has three main properties: confidentiality, integrity and availability, and threats, that lead to violation of information and/or its loss for any of the aforementioned properties, respectively are called – threats to confidentiality, integrity and availability of information. Information system analysis is a complex procedure and requires a lot of different, smaller ones. One of components of that analysis is the determination of the CISS elements. To determine these elements for information leaks scenarios in system, security staff should know possible threats to the target system and appropriate way to secure it. Proposed ontological structure can be used to determine average risk of information leakage scenarios and to determine information security culture level to specify overall formal security assessment of organization and, as such, to automate the process of determining risk evaluation.*

**Key words:** ontology, risk assessment, information leaks scenarios, information security culture, information threat, information attack, human factor.

**Introduction.** Providing reliable information security requires significant funds. Therefore, before the security measures implementation we need to ensure in its appropriateness. In particular, preservation of sensitive data for many companies is a top priority in the conduct of business success, and information about the competitor can help to build your business plan so as to outrun them. In general, data leaks can lead not only to substantial financial losses, but also to the complete collapse of the company. To implement necessary security measures to information security leaks and other threats needs to be analyzed for a complete analysis of appointed systems to determine its measures.

**Task description.** System analysis bases on many factors, such as information leaks scenarios and more. At the same time you must also consider the administrative aspects of data security, such as staff awareness about information systems threats. To evaluate, for example, the average value of information leakage risk we need to determine many factors and predefined structure, which has these factors and scenarios for further use will greatly simplify under-

standing and automating process of this evaluation. But information security depends not only on the technical aspects of security. Common errors and misunderstandings of the definition of security incidents and how to react also plays an important role. This article focuses on the demonstration of structure that can be used to CISS system analysis for further overall formal security assessment determination and, as such, to automate the process of estimation of this assessment using this structure.

**Research evaluations.** Common way of using ontology in information security field is to use it in specific way to determine more abstract events (like ontology for virus attacks [10; 11] and so on), or taxonomy for information security field and architecture, based on work at the intersection of knowledge representation [2; 10] and machine learning, includes machine learning modules for automatic file format identification, tokenization, and entity identification [11]. In outline ontology of secure operations in cyberspace, describing its primary characteristics through some basic modeling examples. Such phenomena as information security culture on the other

hand is very unclear in terms of its structure and definition [8; 12].

**Main research.** Structure for complex information security systems (further – CISS) analysis should have a high level of detail using formalized conceptual framework because there can be large amount of definitions and relationships between this definitions. Aforementioned features presented in such structures as “ontologies”. Among computational linguistics professionals the most established (classic) definition of ontology is the definition that was given by Hubert: “Ontology is a specification of conceptualization” [1, p. 199]. Similarly, there are a number of extended Hubert’s definitions, among which there are:

- ontology – a specification of conceptualization, where the conceptualization sets of domain objects and relationships between them [2, p. 208];

- ontology – a knowledge which is formally presented on the conceptualization basis.

Formally, ontology consists of terms organized in taxonomy of definitions and attributes, and related axioms and rules [2, p. 209].

There are also difficulties with the formal definition of “ontology”. According to [3, p. 19], computer domain ontology (CDO) is a set:  $O = X, R, F$ , where  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}, i = \overline{1, n}, n = CardX$  – set of definitions of the appointed CDO;  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_m\}, R = x_1 * x_2 * \dots * x_n, k = \overline{1, m}, n = CardR$  – set of relations of definitions of the appointed CDO. In general, relations are divided into common (of which there are usually partial order relations) and specific relationship in the given CDO.  $F = X * R$  – set of the interpretation functions of the given concepts and relationships. A special case of interpretation functions  $F$  set is a compiled glossary for set of multiple concepts  $X$ .  $X_i$  definition determination generally includes a subset of concepts  $\{x_{i-1}\}$ , which are determined by  $X_i$ ; relation  $R_k$ , that linking  $X_i$  with  $\{x_{i-1}\}$ ; and set of particular to  $X_i$  attributes (values).

Although the aforementioned sets is the ontology definition, but most convenient way to represent it is in the form of ontograph. Ontograph is a one directional graph in which in the one peak can go in and out few curves, where peaks are the concepts of domain and curves – relationships between them.

In the simplest case, an ontology design methodology includes three stages of the design:

1. preliminary analysis of the subject area;
2. manual ontograph construction;
3. visual representation.

As you can see, the first stage in developing ontology (“preliminary analysis of the subject area”) is the most important because this stage consists of

the determination of the basic terms and relations between them. To build ontology for (CISS) analysis, information leakage scenarios and analysis of the administrative aspects of data security is required to understand the possible security problems.

Information systems analysis is a complex procedure and requires a lot of different, smaller procedures. One of the components of that analysis is the determination of the CISS elements. To determine these elements for information leaks in system security staff should know possible threats to the target system and appropriate way to secure it. According to [4, p. 22], realization of potential insecure actions that lead to lowering information resources’ value with the potential adverse effects on the system and information are called threats and realization of threat is called an attack.

To build ontology for CISS analysis we need to analyze each of these scenarios separately [5; 6; 7]:

- “Point-of-Sale intrusion” scenario includes attacks on the retail trading environment;

- “Web-App Attacks” scenario includes instances of malicious code aimed at the machine instructions vulnerabilities in applications or disruption of authentication mechanisms;

- “Crimeware” scenario includes all cases of obtaining classified information with help of malicious software except for aforementioned attacks;

- “Cyber-espionage” scenario have incidents in which occurred unauthorized access to systems and networks associated with motive of someone else’s information disclosure and/or motive for espionage;

- “Payment card skimmers” scenario includes devices that are physically installed in places of payment cards data reading from magnetic tapes and aimed at data gathering and illegal interference in payment transactions;

- “Physical theft/loss” scenario includes cases of theft or loss of physical data sources due to carelessness of its owner;

- “Miscellaneous Errors” scenario includes incidents of accidental compromising of security attributes of information assets that do not fit under other scenarios mentioned;

- any attack aimed at network availability violation or its corresponding system belongs to “Denial-of-Service” scenario. Typically, results of such incidents do not violate confidentiality;

- “Privilege misuse” scenario is covering all incidents that have occurred because of employees or trust persons abused their rights consciously or negligently performed their duties.

Also in that statement for 2016 Verizon [5] correspond threats to each of the above scenarios and,

based on this, we define the set of necessary security measures, which consists of:

- “Software check-out” – a thorough check of types, versions of all software patches;
- no unnecessary software, accounts, and other ports – constant check that there are no system software, accounts, ports etc. that are not used;
- updates and patches – constant patch updates and installs for software and OS;
- system files integrity – constant check of suspicious changes to system files, emergence of new suspicious files in the system areas and reporting in case of such activity;
- antivirus software – use of effective antivirus products, anti-spyware and personal firewalls;
- security software upgrade – constant check for updates to the security software and their installation;
- DEP, ASLR, EMET – use of Data Execution Prevention (DEP), Address space layout randomization (ASLR) and Enhanced Mitigation Experience Toolkit (EMET) technologies;
- web-applications testing - web applications check for potential security vulnerabilities, bugs in the code, etc;
- confidentiality of developed software materials – constant check that unauthorized persons do not have access to development (scripts, unused libraries, etc.);
- backups - automatic procedure for backing up data on a regular basis;
- information security training for employees – mandatory training for employees in information security;
- employees knowledge verification in IS – periodic IS testing for employees;
- traffic filtering – traffic filtering from authorized services and ports;
- services distribution – distribution of critical system services from all other services (physically located on another machine, etc.);
- administrator’s control – monitoring of administrators by senior management;
- complex passwords – use of complex passwords;
- default Passwords – procedure for changing all default passwords;
- IP blacklist/ whitelist – use of blacklists for known malicious IP addresses or whitelist for trusted IP addresses;
- TFA – use of two-factor authentication;
- netflow protocol – use of network traffic record;
- event logging – constant check and documentation of suspicious activity in the event logs;

- account Management – process of system accounts review and remove procedures for those that are not associated with any business process and owner;

- centralized authentication – centralized point of authentication (such as LDAP, Active Directory, etc.);

- activity monitoring – check of the occurrences of user in the system in unusual time;

- encryption – use of encryption and special algorithms for classified information;

- no sensitive data in open text – scanning servers for the classified information in the plaintext format;

- DLP-system – use of Data Leak Prevention (DLP) system;

- incidents management – responding instructions for incidents to employees;

- roles in the incidents management – appointment of specific roles and responsibilities for staff in incidents management;

- network segmentation- network segmentation into several trusted zones;

- surveillance – use of surveillance for monitoring credit card terminals;

- terminal monitoring – constant check of terminal changes;

- user awareness – in-time warning information for users;

- effective design – use of new technologies and security measures in development for credit card terminals.

- As noted, not all threats are directly dependent on the technical characteristics of systems. Human factor is also crucially important, which is not always associated with the lack of or imperfect security measures, but always associated with issue in non-compliance with security policy (SP) [8, p. 72–75].

- The study of human factors in information security is increasingly attracting attention now because they have a significant impact on information security as a whole and on the insider side of its components. According to information given in [8, p. 79 9; p. 120], the majority of employees believe that the responsibility for the integrity of information assets rests on the information security division’s shoulders, whose main task is to eliminate errors and incidents. But still, organizations suffer from accidental or intentional staff errors, despite the presence of security policies and necessary technologies. As noted in [8, p. 73] there are two possible solutions to address the issue of non-compliance:

- to implement a strict verification system that determines penalties and disciplinary measures in case of non-compliance. This solution provides quick

results, although negative perception of employees makes that effect short-lived;

- to develop a high level of information security culture (ISC). This solution is time-consuming, but has a lasting effect if succeeded.

It is important to note that there are many definitions of the term “information security culture”. In short, most definitions agree that the ISC is a set of values, human beliefs, thoughts and behaviors that ensure a degree of compliance with information security police in the organization. ISC always has a positive or a negative impact on the company and always takes place in it. Also, as stated in [9, p. 102–105], there are factors that influence employee’s behavior, such as regulations, established beliefs and behavior norms. New employees, who are in the process of adaptation to the collective norms, guided by the established norms of behavior with a gradual transition to a behavior standards, which are defined in the workplace [9, p. 47–61]. Thus, the organizational culture regulates the activity of workers. The employee takes the basics of correct behavior in the socialization process and it helps the employee to accept established patterns of behavior and standards in organizations (compliance). According to [8, p. 72] “ISC” is determined by terms “Staff” and “Management”. The term “Staff” is defined by lower indicators ‘Staff Security’ and “SP compliance measure”; “Management” – by indicators “Management readiness rate” and ‘Coordination’. The indicator "Coordination" is similarly defined by lower indicators like “Cooperation with IS division” and “Cooperation with management”. These aforementioned indicators will be used for further analysis.

Now we have all needed information to develop ontology for CISS analysis based on the aforementioned information about leaks scenarios and IS culture. The first stage is the “Preliminary analysis of the subject area” and we need to define X and R sets. Thus concepts (X) set will look like: {Security control center, Confidential data, Security policy, ISC, information leaks security, staff, management, POS-intrusion, Web-App attacks, crimeware, cyber-espionage, payment card skimmers, physical theft/loss, Miscellaneous Errors, Privilege Misuse, Denial-of-Service, Staff Security, SP compliance measure, Management readiness rate, Coordination, Cooperation with IS division, Cooperation with management, “Software check-out”, “Software check-out”, No unnecessary software, accounts, and other ports, Updates and patches, System files integrity, Antivirus software, Security software upgrade, DEP, ASLR, EMET,

Web-applications testing, Confidentiality of developed software materials, Backups, Information security trainings for employees, Employees knowledge verification in IS, Traffic filtering, Services distribution, Administrators control, Complex passwords, Default Passwords, IP blacklists/ whitelists, Two-factor authentication, Netflow protocol, Event logging, Account Management, Centralized authentication, Activity monitoring, Encryption, No sensitive data in open text, DLP-system, Incidents management, Roles in the incidents management, Network segmentation, Configuration, Malicious software security, Development materials security, Staff awareness, Passwords, Account control, Incidents control }.

Relations (R) set consists of following: {Whole-part, Specifies, Uses }.

The next step is “Manual ontograph construction”. To perform this we will create a ranking list of terms based on generalized relation “above-below”:

- security control center;
- confidential data, Security Policy, ISC;
- information leak security, Staff, Management;
- POS-intrusion, Web-App attacks, crimeware, cyber-espionage, payment card skimmers, physical theft/loss, Miscellaneous Errors, Privilege Misuse, Denial-of-Service, Management readiness rate, Coordination;
- staff Security, SP compliance measure, Cooperation with IS division, Cooperation with management, "Software check-out", Backups, Traffic filtering, Services distribution, Administrators control, IP blacklists/ whitelists, Two-factor authentication, Netflow protocol, Event logging, Encryption, No sensitive data in open text, DLP-system, Network segmentation, Configuration, Malicious software security, Development materials security, Staff awareness, Passwords, Account control, Incidents control.

**Conclusions.** Thus, in the article scenarios leaks that were obtained from leaks reports in 2015, 2016 and IS culture, which is related to the administrative threats was analyzed. During analysis sets of necessary terms and relations were defined for building ontological structure. Resulting structure for CISS systems analysis, which took into account possible leaks scenarios, studies of information security data identified incidents and specific IS culture level definition. This ontograph can be used as a base for CISS system analysis and, for example, to further determine overall formal assessment of security level and, as such, to automate the process of determining this estimation using that structure.

**References:**

1. Gruber T.R. A translation approach to portable ontologies Knowledge Acquisition. 1993. 289 p.
2. A. Nikonenko. The Ontological Knowledge Bases Review. 2009. 219 p.
3. A. Palagin, N. Petrenko, K. Malakhov. Technique for designing a domain ontology. УСнМ. 2009. 22 p.
4. Arkhypov O.E. On the methodology of identification and evaluation of assets of the information technology system . Information security .2011. 29 p.
5. 2016 Data Breach Investigation Report, Verizon Enterprise Solutions, 2016.
6. 2015 Data Breach Investigation Report, Verizon Enterprise Solutions, 2015.
7. 2013 Data Breach Investigation Report, Verizon Enterprise Solutions, 2013.
8. A.V. Potiy, D.Y. Pilipenko, I.N. Rebriy. The prerequisites of information security culture development and an approach to complex evaluation of its level. 2012. 82 p.
9. Van Niekerk, J.F. Fostering Information Security Culture through Integrating Theory and Technology. 2010. 112 p.
10. Natascha Abrek. Attack Taxonomies and Ontologies. Network Architectures and Services . 2015. 20 p.
11. Stefan Fenz Andreas Ekelhart. Formalizing Information Security Knowledge. ASIACCS. 2009. 15 p.
12. Igor Kotenko and Andrey Chechulin. Attack Modeling and Security Evaluation in SIEM Systems. International Transactions on Systems Science and Applications. 2012. 27 p.

**Козленко О.В. ОНТОЛОГІЯ АНАЛІЗУ КСЗІ З УРАХУВАННЯМ КІБ**

*Аналіз КСЗІ (комплексні системи захисту інформації) базується на багатьох факторах (сценарії атаки на систему тощо), багато з яких також не залежить від апаратних елементів. Помилки та незрозуміння виявлення інцидентів безпеки та способів їх реагування також відіграють важливу роль. Результати атаки можуть впливати на інформацію як прямо, так і побічно. Інформаційні загрози, зазвичай, в інформаційній системі залежать від особливостей внутрішніх компонентів, фізичного середовища, персоналу та оброблюваної інформації. Загрози можуть мати як об'єктивний компонент (зміна умов фізичного середовища, відмова взаємодії елементів), так і суб'єктивний (людські помилки чи зловмисні дії), які можуть бути випадковими або навмисними. Людський фактор відіграє важливу роль, оскільки він зазвичай пов'язаний з відсутністю або недосконалими заходами безпеки, але завжди пов'язаний з недотриманням політики безпеки. З точки зору інформаційної безпеки інформація має три основні властивості: конфіденційність, цілісність та доступність, а загрози, що призводять до порушення інформації, а її втрати для будь-якого з вищезгаданих властивостей, відповідно називаються – загрози конфіденційності, цілісності та доступності інформації. Аналіз інформаційних систем є складною процедурою і вимагає безлічі різних, менших. Однією з складових цього аналізу є визначення елементів КСЗІ. Щоб визначити ці елементи для сценаріїв витоку інформації в системі, працівники служби безпеки повинні знати можливі загрози цільовій системі та відповідний спосіб її захисту. Запропонована онтологічна структура може бути використана для визначення середнього ризику сценаріїв витоку інформації та для визначення рівня культури інформаційної безпеки для уточнення загальної формальної оцінки безпеки організації та, як такої, для автоматизації процесу визначення ризику.*

**Ключові слова:** онтологія, оцінка ризику, сценарії витоку інформації, культура інформаційної безпеки, інформаційна загроза, інформаційна атака, людський фактор.

**Конох І.С.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Богдан В.О.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Істоміна Н.М.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ВАЛІДНОСТІ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ІЗ ВЛАСТИВІСТЮ САМОНАВЧАННЯ

У статті обґрунтовано необхідність удосконалення моделей і методів побудови систем контролю коректності функціонування промислових систем автоматизації. Автоматизація процесу створення систем контролю шляхом реалізації властивостей автоматичного навчання дозволяє скоротити час розробки і відлагодження нових систем промислової автоматизації. Очікуване підвищення рентабельності розробки буде міститися в межах 10%. У роботі розглянуті підходи та надана класифікація архітектур систем контролю валідності функціонування дискретних систем керування, обрано часову і автоматну гібридну модель контролю. Головна ідея роботи полягає у створенні спеціалізованої моделі системи, що здатна класифікувати стани керуючої програми на основі спостережень за циклічними змінами обраного сигнального вектору без необхідності штучного втручання у програмне забезпечення, що реалізує алгоритм керування промисловим обладнанням. Такий вектор складається із сигналів сенсорів, керуючих сигналів, зовнішніх команд, часових відліків між змінами команд і стану сенсорів. Якщо кожен ідентифікований стан є штатним, то поява нових станів зі значним відхиленням сигнального вектора свідчить про нештатну або аварійну ситуацію. Надано опис формальної моделі мультиагентної системи для задач ідентифікації станів і контролю валідності процесу керування. Розглянуто приклад дискретної системи керування автоматичними цеховими воротами і синтезовано функції керування. Розроблено екземпляр супервізорної мультиагентної системи контролю валідності згідно із запропонованою моделлю на платформі SCADA-системи Simplight. Для з'єднання між промисловим контролером і комп'ютером використовується OPC-сервер "Multi-Protocol MasterOPS Server". Досліджено і підтверджено адекватність роботи програмних модулів самонавчання і контролю коректності керування технологічним обладнанням на тестових прикладах, що відповідають штатним і аварійним ситуаціям.

**Ключові слова:** дискретне керування, контроль валідності, самонавчання, мультиагентна супервізорна система.

**Постановка проблеми.** Важлива роль у підвищенні ефективності функціонування виробництва належить сучасним технологіям автоматизації. Рентабельність їх впровадження та безпека роботи технологічного обладнання в автоматичному або автоматизованому режимах залежать від змоги організувати контроль за коректністю виконання ними керуючих функцій. Із літературних джерел [1–3] відоме поняття «валідність», яке в контексті керування характеризує поточну відповідність функціонування автоматичної системи цілям керування. Контроль валідності запобігає виникненню аварій, знижує втрати від появи нештатних ситуацій, зменшує час простою обладнання, підвищує безпеку виробництва.

Реалізація функцій контролю валідності потребує високих фінансових і трудових витрат, значних проміжків часу та використання праці кваліфікованих інженерів-розробників. Наявні принципи контролю вимагають індивідуального підходу до кожної моделі системи керування і застосування отриманих результатів для інших систем ускладнено [1].

Практика показує, що в промисловості реалізація програмної частини функцій безпеки і контролю, а також її відлагодження займає 10–25% вартості впровадження нових систем [1]. Співвідношення кількості дискретних і аналогових сигналів, яким оперують промислові системи керування на базі програмованих логічних

контролерів, досягає 15:1. Це повною мірою проявляється у процесі розроблення та налагодження систем управління гірничо-збагачувальним і хімічним технологічним обладнанням, в якому багато процесів і фізичних явищ є потенційно небезпечними, що, своєю чергою, створює ризик аварій і позаштатних ситуацій у процесі випробувань. До того ж підсумкова вартість задіяння основного технологічного обладнання в тестуванні систем керування є надзвичайно високою, що призводить або до зниження ефективності впровадження, або до небезпечного скорочення програми випробувань. Отже, контроль коректності функціонування системи може попередити розвиток аварій і підвищити оперативність реагування персоналу.

Всі вище наведені аргументи обґрунтовують актуальність задач реалізації автоматизованого контролю валідності для дискретних систем промислової автоматизації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На поточний час типовий шаблон контролю валідності контуру керування містить діагностичну підсистему, яка функціонує на окремій або сумісній апаратній платформі паралельно з контролером процесу. Із заданим часовим інтервалом відбувається зчитування керуючих сигналів, які формує промисловий контролер, вихідних сигналів актюаторних пристроїв, сигналів сенсорів зворотного зв'язку. Отримана інформація використовується програмним забезпеченням, яке реалізує обрану діагностичну модель, і на виході підсистеми діагностики формуються сигнали сповіщення про нештатні ситуації або аварії.

У роботі [2] наведена класифікація методів діагностики, що використовуються в промислових системах. Можна виділити два основних компонента в діагностичному класифікаторі: тип використовуваного знання та тип стратегії діагностичного пошуку.

Знання апріорної області можна розробити з фундаментального розуміння процесу з використанням принципів знань. Таке знання може бути глибоким, каузальним або модельним [3; 4]. З іншого боку, воно може бути отримане з минулого досвіду процесу. Це знання називають неглибоким, складеним, доказовим або історичним.

Модельні апріорні знання можна широко класифікувати як якісні або кількісні. Модель зазвичай розробляється на основі певного фундаментального розуміння фізики процесу. У кількісних моделях це розуміння виражається в термінах математичних функціональних зв'язків між вхо-

дами і виходами системи. Навпаки, в якісних модельних рівняннях ці відносини виражаються через якісні функції, зосереджені навколо різних одиниць процесу.

На відміну від модельних підходів, де передбачається апріорне знання про модель (кількісну або якісну) процесу, в методах, заснованих на історії процесу, потрібна лише наявність великої кількості відповідних анованих історичних даних процесу. Існують різні способи, в яких ці дані можуть бути перетворені і представлені як апріорне знання до діагностичної системи. Це відоме як вилучення ознак. Це може бути як кількісним, так і якісним виділенням ознак. При кількісному вилученні ознак можна виконувати або статистичне, або нестатистичне вилучення ознак.

Стратегія діагностичного пошуку зазвичай значно залежить від схеми представлення знань, яка, своєю чергою, значною мірою залежить від типу апріорних знань. Основним апріорним знанням, необхідним для діагностики несправності, є формалізація множини помилок і взаємозв'язок між спостереженнями (симптомами) і фактичними відмовами в контурах автоматичного керування. Діагностична система може мати їх явно (як у таблиці пошуку), або може бути виведена з деякого джерела знань області.

Тестове й функціональне діагностування виконується по алгоритмах діагностування. В алгоритмах тестового діагностування контрольні точки визначені попередньо, й вони однакові для всіх перевірок і підбираються тільки тестові впливи. В алгоритмах функціонального діагностування попередньо визначені вхідні впливи, а вибору підлягають контрольні точки.

Всі реалізації підсистем контролю, перш за все, використовують програмні моделі поведінки системи управління та об'єкта управління у процесі проходження по штатних гілках робочого алгоритму. Після модельних обчислень проводиться порівняння отриманого прогнозу сигнального відгуку і реального сигнального вектору системи. Такий підхід передбачає використання моделей різної складності, які реалізуються окремими процедурами і вимагають значних трудовитрат розробників.

Можна умовно виділити такі види моделей:

– часова, коли задаються тимчасові рамки вступу наступного сигналу повідомлення для кожного стану керуючого алгоритму;

– мажоритарна, коли результат операції вибирається більшістю однакових даних, отриманих із кількох незалежних каналах;

– порогова, коли ідентифікація позаштатних ситуацій проводиться порівнянням оброблених контрольних сигналів із деяким граничним значенням, у тому числі з використанням нечіткої логіки;

– модель автомата з пам'яттю для дискретних систем, вектори стану і сигналів якого порівнюються з поточним станом керуючої програми;

– модель безперервного динамічного процесу, що відповідає фізичним процесам, що відбуваються в технологічній установці, на основі якої можна оцінити коректність дій, що управляють, і спрогнозувати знаходження критичних параметрів всередині допустимих діапазонів.

Для підвищення ефективності вирішення завдань контролю валідності систем дискретного управління досить розробити технологію автоматизованої ідентифікації моделі об'єкта управління по сигнальних векторах. На основі такої моделі можна проводити ідентифікацію поточного стану системи управління і диференціювати нештатні ситуації.

На основі проведеного аналізу [5–11] було зроблено висновок про доцільність розробки мультиагентної системи (МАС) класифікації станів керуючої програми на основі динаміки зміни сигналів повідомлення та керування. Таким чином, буде реалізовано технологію автоматизованої ідентифікації моделі об'єкта управління на основі сигнальних векторів. На основі такої моделі можна проводити ідентифікацію поточного стану системи управління і диференціювати нештатні ситуації. Таким чином, буде реалізовуватись часова і автоматна гібридна модель контролю.

**Постановка завдання.** Метою проведених досліджень є підвищення ефективності розробки модулів автоматичного контролю валідності функціонування дискретних систем керування шляхом застосування супервізорних мультиагентних систем.

Задля досягнення поставленої мети треба вирішити такі задачі:

1. проаналізувати способи реалізації контролю валідності дискретних систем керування й обрати найбільш доцільний метод автоматизованого контролю коректної поведінки системи;

2. розробити модель мультиагентної системи для задач контролю валідності роботи систем керування;

3. розробити контрольний приклад керування дискретним промисловим об'єктом та створити відповідний екземпляр супервізорної мультиагентної системи контролю валідності на програмній платформі Scada;

4. дослідити адекватність роботи програмних модулів аналізу і контролю валідності процесів керування технологічним обладнанням.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для підвищення ефективності вирішення завдань контролю валідності систем дискретного управління доцільно розробити технологію автоматизованої ідентифікації моделі об'єкта управління за сигнальним вектором. На основі такої моделі можна проводити ідентифікацію поточного стану системи управління і диференціювати нештатні ситуації. Задача стосується синтезу супервізорної структури з функцією самонавчання для спостереження за динамічною зміною векторів вхідних і вихідних сигналів, ідентифікації стану системи керування та формування сигналу тривоги (*Alarm*) в разі появи нештатної ситуації. Необхідно зазначити, що задача ідентифікації стану програмного автомата, який реалізовано керуючим програмним забезпеченням, змінена на задачу класифікації векторів зовнішніх сигналів системи керування [12; 13].

Задача зберігання сигнальних векторів, що відповідають штатному режиму, оцінки подібності поточного вектору до збереженого, покладається на одноранговий ансамбль агентів. Таким чином, один агент обробляє і оцінює поточний вектор щодо вектору, який він зберігає. Поточний сигнальний вектор системи керування подається на відповідні входи всіх агентів разом. Ансамблю агентів має функціонувати під керуванням агентного супервізора – спеціальної програми, яка працює за жорстким алгоритмом і забезпечує створення нових агентів, виклик на виконання, акумуляцію результатів та додаткові функції.

Структуру розроблюваного агента можна описати такою кортежною моделлю:

$$\text{Agent} = \langle \alpha, zet, Y_{\text{actual}}, Y_{\text{preset}}, W, S, C \rangle, \quad (1)$$

де  $Y_{\text{actual}}$  – поточний сигнальний вектор;  $Y_{\text{preset}}$  – встановлений вектор сигналів, сформований у процесі створення агента;  $W$  – вектор вагових коефіцієнтів, які задають важливість сигналу;  $C$  – множина керуючих прапорів;  $S$  – множина прогнозних сигналів;  $\alpha$  – відображення множини сигналів вхідного вектора на множину сигналів встановленого вектора, на множину вагових коефіцієнтів і визначає ступінь відповідності поточної ситуації тому стану, на який налаштовано агента;  $zet$  – відображення тих самих множин на множину прогнозних сигналів.

Вектор  $Y_{\text{actual}}$  поточного стану системи має відображати стан системи в динаміці, що потребує запам'ятовування попереднього складу сигналів:

$$Y_{actual} = \langle V_c, V_p, time \rangle, \quad (2)$$

де  $V_c$  – вектор поточних сигналів;  $V_p$  – вектор попередніх сигналів, які були до зміни стану системи;  $time$  – сигнал відліку часу, який пройшов від моменту появи актуальних сигналів до поточного моменту.

Якщо розглядати функціонування системи, то досліджувана МАС містить ознаки штучної двохарової нейронної мережі, в якій перший шар становлять агенти, а другий – модуль акумуляції виходів агентів та формування сигналів появи нештатної ситуації.

Мультиагентну систему можна описати такою кортежною моделлю:

$$MAS = \langle agents, Y_{actual}, Alarm, S \rangle, \quad (3)$$

де  $agents$  – масив агентів,  $Alarm$  – сигнал тривоги.

Мультиагентна система є супервізорним додатком, що працює паралельно основній системі керування та здатна здійснювати оцінку валідності її функціонування. Її основою є набір агентів із супервізорного контролю.

Загальна структура системи керування і спосіб вмикання контролюючої МАС наведені на рис. 1. Система керування може функціонувати незалежно від системи контролю валідності, обмінюючись керуючими й інформаційними сигналами з промисловою технологічною установкою.

До модулів контролю входять безпосередньо мультиагентна система, модуль зберігання масиву сигналів попереднього стану, таймер відліку часу, що пройшов із моменту зміни сигналів, схема ски-

дання таймера по події зміни поточного сигнального вектору, генератор тактових імпульсів таймера.

На виході МАС формується сигнал нештатної ситуації ( $Alarm$ ) і сигнал ступеню розпізнавання поточної ситуації. Агенти налаштовані на типові штатні ситуації, що визначаються через масив сигналів системи керування на поточний момент, попередній масив сигналів та сигнал часу, що минув між змінами стану. Створення і додавання кожного нового агента до колекції відбувається за фактом ідентифікації наступної штатної ситуації.

Масиви даних агента можна розділити на чотири групи – вектор поточних сигналів, вектор запам'ятовуваних сигналів, вектор керуючих прапорів, вектор вагових коефіцієнтів і констант. До вихідних сигналів належать ступінь приналежності поточного вектора вхідних сигналів до запам'ятовуваного ( $alfa$ ), вихідна константа ( $z$ ), їхній добуток ( $alfa \cdot z$ ).

Ступінь приналежності вхідного поточного сигнального вектору до збереженого обчислюється як сума зважених різниць між компонентами векторів, що пройшла функцію активації:

$$alfa = f_{act} \left( \sum_{j=1}^m |y_{actual}^j - y_{preset}^j| \cdot w_j \right), \quad (4)$$

де  $j$  – порядковий номер сигналу у складі вектору;  $m$  – кількість компонент вектору,  $fact()$  – функція активації,

$$f_{act}(x) = \begin{cases} f_{min}, & x > x_{max}; \\ \frac{1}{x}, & x_{min} < x < x_{max}; \\ f_{max}, & x < x_{min}; \end{cases} \quad (5)$$

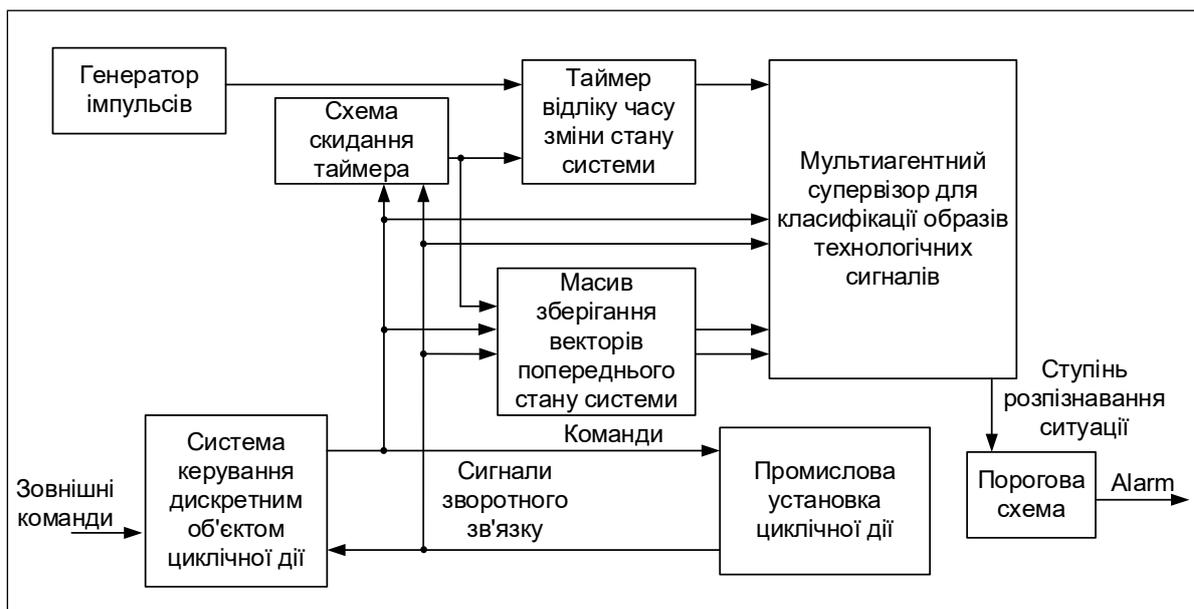


Рис. 1. Загальна структурна схема мультиагентної системи для розпізнавання позаштатних ситуацій

Вихідна константа  $z$  у цьому контексті – змінна, що приймає значення 1, коли вхідний вектор відповідає штатної ситуації; 0 – ситуація нештатна або аварійна. Обчислення добутку функції активації на вихідну константу для кожного агента, який демонструє достатній ступінь впізнання, дає змогу однозначно класифікувати поточний стан виробничої системи. На рис. 4 показана структура одиночного агента, що реалізує описаний спосіб його функціонування. Саме така мінімальна структура агента підходить для вирішення описаних задач у складі мультиагентної системи. Можна зазначити, що для розпізнавання векторів і обчислення функціональної залежності структура агента великою мірою відповідає частинам схеми перцептронного нейрона. Однак технології класичних нейронних мереж не мають властивості самонастроювання і самоорганізації, вимагають дотримання умов навчання з учителем, не дають якісної оцінки ступеня розпізнавання ситуації.

Кожен агент оцінює ступінь схожості поточного стану системи з тим, на який він налаштований. Супервізор акумулює виходи ансамблю агентів і формує підсумковий сигнал відповідності поточної ситуації штатного режиму. Акумуляція результатів роботи ансамблю агентів виконується аналогічно операції дефазифікації в алгоритмі нечіткого виведення Сугено за формулою спрощеного розрахунку центра ваги. Порогова схема формує сигнал тривоги у разі, коли сигнал відповідності  $alfa$  занадто низький по всьому ансамблю агентів.

Альтернативний спосіб визначення нештатної ситуації полягає в тому, що в колекцію додаються агенти, які налаштовуються на сигнальні вектори, що відображають однозначно аварійні стани. Для

таких агентів значення константи  $z$  дорівнює 0. Агрегація виходу агентів і обчислення вихідного сигналу MAC здійснюється за спрощеною формулою обчислення координат центра тяжіння:

$$S = \frac{\sum_{i=1..N} alfa_i \cdot z_i}{\sum_{i=1..N} alfa_i}, \quad (6)$$

де  $i$  – номер агента;  $N$  – поточна кількість агентів у колекції.

Значення змінної  $S$  в будь-який момент часу буде міститися в межах  $[0;1]$ . Значення вище за 0,75 можна однозначно тлумачити як підтвердження штатної ситуації, менші за 0,5 – як нештатні.

Для обраної архітектури MAC ансамбль агентів функціонує тільки під керуванням агентного супервізора. Інтелектуальні властивості в задачах класифікації та розпізнавання векторів сигналів почнуть проявлятися в разі об'єднання кількох агентів в єдину структуру. Супервізор програмним шляхом забезпечує виклик на виконання кожного агента при зміні вхідного сигнального вектору, обчислення чіткого підсумкового значення прогнозованого сигналу і додавання нового примірника агента в разі низького ступеня розпізнавання поточного вектору сигналів (значення ступенів приналежності по всьому ансамблю агентів нижче заданого порогу). З точки зору реалізації мультиагентної системи агентний супервізор використовується як клас-контейнер для масиву екземплярів класів-агентів. Під керуванням супервізора кожен екземпляр агента може бути викликано на виконання і за готовністю формується кінцевий результат.

Якщо MAC спостерігає за циклічною зміною сигнальних векторів при штатних ситуаціях,

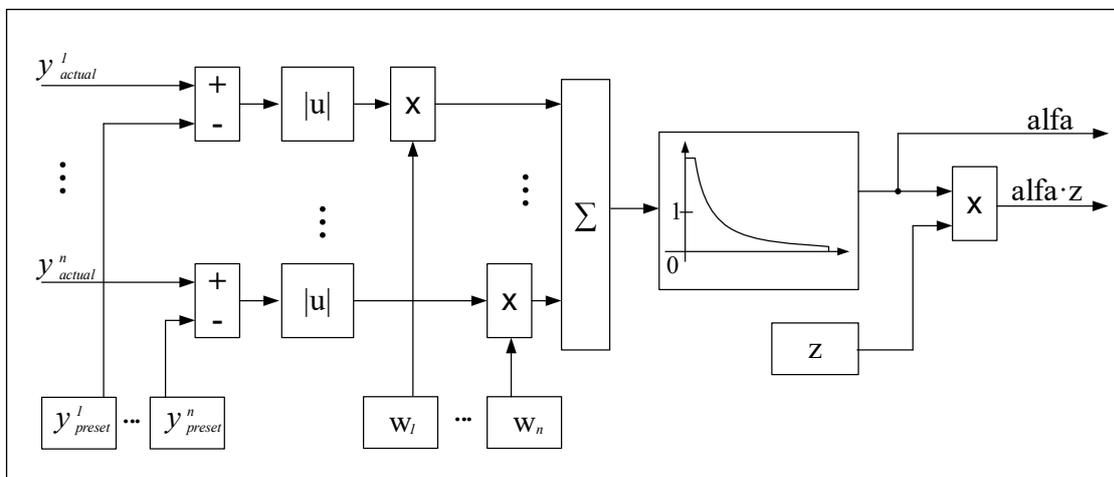


Рис. 2. Структурна схема агента

значення константи  $z$  кожного нового агента буде дорівнювати 1.

Для адекватного визначення ступеню близькості масиву сигналів необхідно розрахувати вагові коефіцієнти  $w$  для кожного вхідного сигналу кожного агента. Це робиться шляхом усереднення різниці між значенням кожного компонента вхідного вектора між поточним і всіма іншими агентами, що належить до середньої різниці вихідної константи:

$$w_{i,j} = \frac{1}{N} \sum_{k=1..N} \left( \frac{y_{i,j} - y_{k,j}}{z_i - z_k} \right), \quad (7)$$

де  $k$  – номер агента із колекції.

Застосовність розроблених принципів і моделей доцільно перевірити на прикладі промислової системи автоматизації, яка функціонує по циклу і має обмежену кількість розгалужень. Цим вимогам відповідає така система керування цеховими воротами. Ворота цеху відкриваються після натискання кнопки, а закриваються з витримкою часу 50 с. Під час закривання контролюється наявність перешкоди в створі воріт. За наявності перешкоди закривання припиняється, ворота зупиняються, протягом 5 с дзвенить дзвінок. Закривання воріт – після натискання кнопки.

Вхідні сигнали повідомлення:  $x_1$  – кнопка відкриття воріт;  $x_2$  – кінцевий вимикач (ворота відкрито);  $x_3$  – витримка часу у 50 с завершена;  $x_4$  – від сенсору наявності перешкоди у створі воріт;  $x_5$  – витримку часу в 5 с завершено;  $x_6$  – кнопка зняття блокування воріт;  $x_7$  – кінцевий вимикач (ворота зачинено).

Команди:  $Y_1$  – відчинити ворота;  $Y_2$  – зачинити ворота;  $Y_3$  – зупинити ворота, запуск таймера на 50 с;  $Y_4$  – зупинити ворота, запуск таймера на 5 с, увімкнути дзвоник;  $Y_5$  – вимкнути дзвоник;  $Y_6$  – зупинити ворота.

Стани автомата з пам'яттю:  $z_1$  – ворота зачинено;  $z_2$  – відкривання воріт;  $z_3$  – ворота відкрито;  $z_4$  – закривання воріт;  $z_5$  –

зупинка воріт за умови наявності перешкоди;  $z_6$  – ворота зачинено.

Проведемо синтез автомата Мура. Станів виділено 6, для їх кодування у двійковому коді 8-4-2-1 необхідно 3 тригера. Закодуємо стани автомата. При кодуванні використовуємо карту Карно, розміщуючи за можливості зв'язані стани в сусідніх клітках не по діагоналі. Це допоможе на попередньому етапі синтезу дещо зменшити кількість апаратних гонок сигналів. Коды станів:  $z_1=000$ ;  $z_2=001$ ;  $z_3=101$ ;  $z_4=100$ ;  $z_5=110$ ;  $z_6=111$ ; заборонені стани –  $Q_1=010$ ;  $Q_2=011$ .

На основі UML-діаграми (рис. 3), враховуючи коди станів, побудуємо таблицю переходів (табл. 1), що наочно показує порядок зміни станів системи, умови переходів і появи команд (припускаємо, що пам'ять автомата буде реалізована на RS-тригерах).

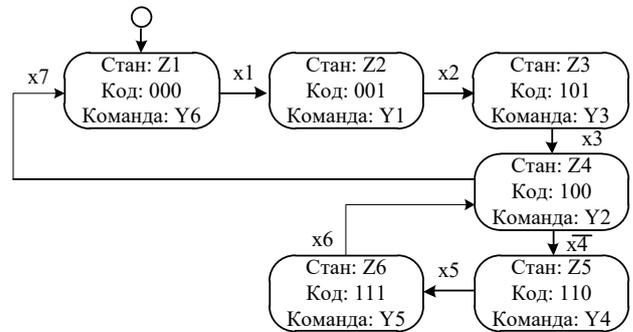


Рис. 3. UML-діаграма станів керуючого автомата

Аналіз таблиці 1 дає змогу синтезувати логічні функції переходу та функції команд:

$$S_1 = z_2 x_2; S_2 = z_4 \overline{x_7} x_4; S_3 = z_1 x_1 + z_5 x_5; R_1 = z_4 x_7;$$

$$R_2 = z_6 x_6; R_3 = z_3 x_3 + z_6 x_6;$$

$$Y_1 = z_2; Y_2 = z_4; Y_3 = z_3; Y_4 = z_5; Y_5 = z_6; Y_6 = z_1.$$

Цикли моделювання наочно показують коректність проведеного синтезу автомата з пам'яттю. На рис. 4 зображено результати моделювання.

Таблиця 1

Таблиця переходів автомата

Початковий стан $z_i$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_4$		$z_5$	$z_6$
Код стану	000	001	101	100		110	111
Команди $Y_i$	$Y_6$	$Y_1$	$Y_3$	$Y_2$		$Y_4$	$Y_5$
Вхідний сигнал $x_i$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_7$	$\overline{x_7} x_4$	$x_5$	$x_6$
Наступний стан $z_j$	$z_2$	$z_3$	$z_4$	$z_1$	$z_5$	$z_6$	$z_4$
Код наступного стану	001	101	100	000	110	111	100
Функції переходу (RS)	S3	S1	R3	R1	S2	S3	R2, R3

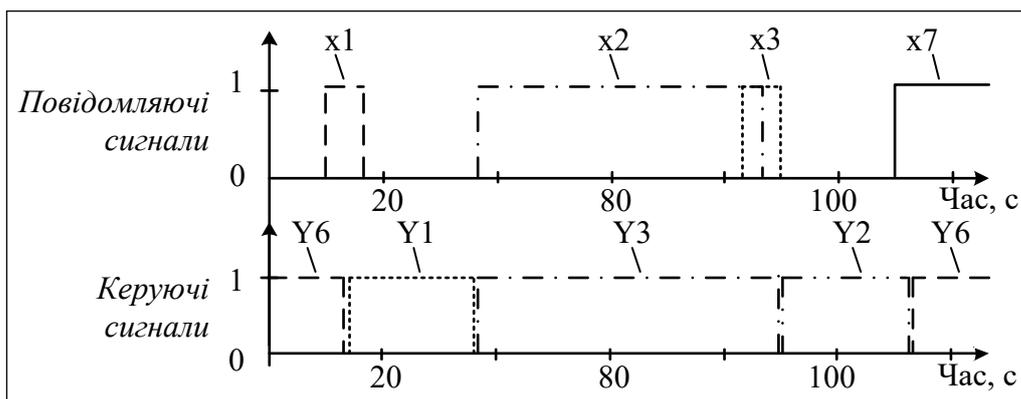


Рис. 4. Результати моделювання штатного сценарію роботи системи

Результати моделювання демонструють працездатність автомата з пам'яттю як керуючого алгоритму. Наступним етапом буде дослідження поведінки мультиагентної системи контролю для штатних і нештатних ситуацій і визначення працездатності моделі контролю валідності.

Вектор вхідних сигналів MAC має такий склад:

$$Y_{actual} = \langle x_c^1, \dots, x_c^7, y_c^1, \dots, y_c^6, x_p^1, \dots, x_p^7, y_p^1, \dots, y_p^6, time \rangle, \quad (8)$$

де індекс с відповідає поточним дискретним сигналам комплексу об'єкт керування-система керування, а індекс р позначає сигнали на минулому такті керування.

У результаті автоматичного синтезу MAC для описаного прикладу сформовано 16 агентів, які зберігають стан сигнальних ліній для можливих варіантів роботи. З огляду на те, що часовий проміжок між змінами стану сигналів може у штатних режимах відрізнятися (наприклад, надходження сигналу зняття блокування воріт після усунення перешкоди), кількість виділених ситуацій і створених агентів може бути суттєво більшою, ніж кількість станів у таблиці переходів автомата.

Як платформу керування було використано програмований логічний контролер Siemens S7-1500. Система контролю валідності реалізується на персональному комп'ютері у середовищі SCADA Simplight. Для встановлення зв'язання між контролером Siemens S7-1500 і комп'ютером використовується OPC-сервер "Multi-Protocol MasterOPS Server".

Після налаштування зв'язку між OPC-сервером і контролером, між SCADA і OPC-сервером забезпечується доступ до необхідних тегів процесу.

З метою реалізації мультиагентної системи було створено скрипт "MAS" на мові C++, за допомогою якого виконується алгоритм агентного супервізора. Скрипт «InsertIntoDB» виконується кожену секунду та здійснює запис всіх станів каналів (тегів) у базу даних, на основі отриманих даних виконується

аналіз та виявлення нештатних ситуацій. Встановлення зв'язку бази даних і SCADA Simplight реалізовано за допомогою ODBC драйвера для Microsoft Access. На цьому движку виконується зберігання масивів агентної системи та обчислення вихідного сигналу з метою визначення нештатної ситуації.

Робота мультиагентної системи будується на масивах даних аналогічних (8). Для дослідницького прикладу з керування цеховими воротами було промодельоване надходження сигналів для штатних і нештатних режимів. Врахування сигналу таймера між зміною сигнальних образів дає змогу відокремлювати нештатні режими, враховуючи типovu динаміку об'єкта керування.

Окрім випадки показано на рис. 5. Наочно показано формування сигналів Alarm, коли в разі наявності команди на відкриття воріт сигнал сенсору про повне відкриття не надходить занадто довго. Також відображено ситуацію, коли при відкритті сенсору закритого положення не скидається вчасно.

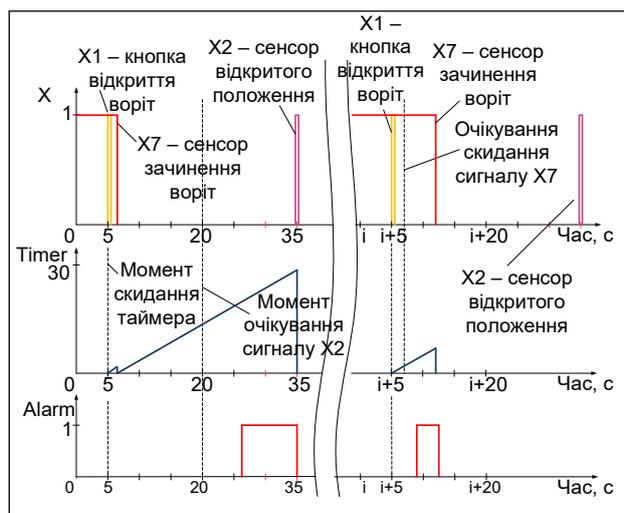


Рис. 6. Результати роботи автоматизованої системи з визначення нештатної ситуації

**Висновки.** У роботі вдосконалено модель мультиагентної системи класифікації сигнальних образів стану автоматизованого об'єкта керування, що відрізняється обліком попереднього і поточного стану об'єкта, врахуванням часу, який минув між моментами зміни стану, і дає змогу автоматично визначити нештатну ситуацію за результатами попередніх спостережень за об'єктом. За результатами роботи можна стверджувати, що використання програмних модулів аналізу працездатності систем промислової автоматизації і слідкуванням за технологічним процесом із функціями автоматичного навчання дасть змогу скоротити час розробки і відлагодження нових систем промислової автоматизації.

За результатами проведених досліджень можна сформулювати таке:

- особливу увагу варто приділити аналізу дискретних систем керування, бо на них доводиться 70–90% задач промислової автоматизації;
- мультиагентна система аналізу образів стану з автоматичним навчанням дасть змогу скоротити трудомісткість і час реалізації систем

контролю валідності процесів керування, тим самим підвищити ефективність впровадження нових систем промислової автоматизації;

- модель системи контролю валідності має містити блок фіксації зміни стану системи керування, який складається з таймера відліку часу між зміною сигнального вектору і схеми скидання таймера; сигнал таймера додатково використовується мультиагентною системою для ідентифікації нештатної ситуації;

- спосіб формування масивів даних агентів і розрахунку ступеню відповідності поточної ситуації той, на яку налаштовано кожен агент, по сигнальних векторах дає змогу розв'язати задачу контролю валідності систем промислової автоматизації у вигляді процедур для промислових контролерів або SCADA-систем;

- за результатами аналізу практичного застосування мультиагентної системи для задач контролю валідності стану автоматичного керування цеховими воротами можна стверджувати про коректність запропонованої моделі та її працездатність.

#### Список літератури:

1. Himmelblau D.M. (1978). *Fault Diagnosis in chemical and petrochemical processes*. Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam. 414 p.
2. Venkatasubramanian V. Process fault detection and diagnosis: past, present and future. *IFAC Proceedings*. 2001. Vol. 34, Iss. 27. P. 1–13. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)33563-2](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)33563-2)
3. Milne R. Strategies for diagnosis. *IEEE Trans. Syst. Man. and Cybernetics*. 1987. SMC-17(3). P. 333–339.
4. Willsky A.S. A survey of design methods for failure detection in dynamic systems. *Automatica*. 1976. Vol. 12. P. 601–611.
5. Яременко В.С. Огляд наявних мультиагентних систем для задач інтелектуального аналізу даних. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2018. Том 29 (68). Ч. 2. №. 3. С. 47–55.
6. Fariz A., Abouchabaka J., Rafalia N. Using multi-agents systems in distributed data mining: a survey. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*. 2015. № 73(3). P. 427–440.
7. Cao L., Weiss G., & Philip S. A brief introduction to agent mining. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*. 2012. № 25(3). P. 419–424.
8. Pawlewski P., Julián V., Fdez Riverola F., Corchado E., Corchuelo R., Bajo J., Corchado Rodríguez J.M., Dignum F., Demazeau Y., Campbell A. (Eds.) *Trends in practical applications of agents and multiagent systems*. : Berlin: Springer. 2011. 729 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12433-4>
9. Serrano E., Rovatsos M., Boti A J.A. Data mining agent conversations: a qualitative approach to multiagent systems analysis. *Information Sciences*. 2013. No. 230. P. 132–46.
10. Kazik O., Peskova K., Pilat M., Neruda R. Meta learning in multi-agent systems for data mining. *Proceedings of the 2011 IEEE/WIC/ACM International Conferences on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*. Vol. 02. P. 433–434.
11. Sharma D., Shadabi F. Multi-agents based data mining for intelligent decision support systems. *Systems and Informatics (ICSAI), 2nd International Conference on IEEE*. November, 2014. P. 241–245.
12. Конох И.С., Найда В.В., Сухомлин Л.В. Использование информационных технологий для повышения эффективности пусконаладочных работ и испытаний систем автоматического управления. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ, 2015. Вип. 3/2015 (92), Ч. 1. С. 40–47.
13. Конох И.С. Представление образов динамических процессов в системах автоматического управления с помощью самоадаптирующихся агентов. *Автоматизированные системы управления приборами автоматики*. Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Харьков, 2014. Вып. 167. С. 29–38.

**Konokh I.S., Bohdan V.O., Istomina N.M. AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE DISCRETE CONTROL SYSTEMS VALIDITY WITH SELF-LEARNING PROPERTY**

*The necessity of models and methods improving under design of correctness control systems of industrial automation systems is grounded in the paper. Automation of control systems designing through implementation of automatic learning properties reduce the time of development and debugging of new industrial automation systems. The expected increase in the cost-effectiveness of development will be within 10%. The approaches and architectures classification of validity control systems for discrete control systems functioning are considered. The time and automatic hybrid model of control is chosen. The main idea of the work is to create a specialized system model with classification ability of the states of the control program on the basis of cyclic changes observations of the selected signal vector without artificial interference in software that implements the algorithm of industrial equipment control. The vector consists of sensor signals, control signals, external commands and time stamps between command changes and sensors states. If each identified state is regular, then the emergence of new states with a significant deviation of the signal vector indicates an abnormal or emergency situation.*

*The description of the formal model of the multi-agent system for the state identification and control of the process validity tasks is given. An example of a discrete control system for production unit automatic gates is considered and the control functions are synthesized.*

*The instantiation of the supervised multi-agent validity control system has been developed in accordance with the proposed model on the Simplight SCADA-based platform. The Multi-Protocol MasterOPS Server is used for interconnection between an industrial controller and a computer.*

*The operating adequacy of program modules with self-learning and the correctness control of technological equipment control are researched and confirmed using test cases corresponding to the regular and emergency situations.*

**Key words:** discrete control, validity control, self-learning, multi-agent supervisory system.

**Круглик В.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Наумук О.В.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Прокоф'єв Є.Г.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Сіциліцин Ю.О.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Коровін О.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

## **РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗРАХУНКІВ ФІНАНСОВИХ ПОКАЗНИКІВ УНІВЕРСИТЕТУ**

*У статті розглянута розробка системи прогнозування розрахунків фінансових показників університету з допомогою Бассової мережі довіри. Використання Бассової мережі зумовлено невизначеністю причинно-наслідкових зв'язків під час прогнозування фінансових показників університету, аналіз наукової літератури та проведені тестування показали, що для більш простого оцінювання подій бейсівські мережі показують значно кращі результати ніж класичні статистичні методи прогнозування фінансових показників. Для визначення чинників впливу на результати прогнозування було проведено та висвітлено у роботі розглянуті основні фінансові показники університету. Авторами було розроблено та висвітлено процес розробки програми прогнозування засобами системи ІС Підприємство. У роботі визначаються основні чинники та функціональні особливості програмного засобу. Автори наголошують на те, що ціль роботи університету – надання освітніх послуг, у зв'язку з чим було сформовано граф стратегії розвитку університету. Для побудови структури бейсівської мережі авторами було використано алгоритм на основі статистичного аналізу рядів даних, які характеризують еволюцію змінних мережі. Розробка системи прогнозування фінансових показників університету була складена розробниками у декілька етапів, серед яких: аналіз вихідних даних про фінансові показники університету; розробка алгоритму обробки даних про рівні кваліфікації; аналіз інструментальних засобів для створення продукту; експертне оцінювання мір одиничних елементів та створення таблиць ймовірностей належності одиничних елементів; розробка структури довідників, які будуть зберігати дані; складання модулів програмного засобу; перевірка працездатності розробленого алгоритму; написання інструкції користувача. У висновках авторами було виконано аналіз використання можливостей прогнозування з допомогою бассової мережі для досліджень фінансових показників університету.*

**Ключові слова:** фінансові показники, Бассова мережа, система підтримки прийняття рішень, ІС Підприємство, прогнозування.

**Постановка проблеми.** Феномен послуг як атрибуту організаційно-економічних систем, які так чи інакше пов'язані із здійсненням господарської діяльності, в даний час набуло особливого значення як в теоретичному, так і в практичному плані, чому є об'єктивні причини. Як відомо, питома вага послуг у валовому продукті як на глобальному рівні, так і на рівні локальному постійно зростає, що в деяких граничних випадках змушує навіть розглядати проблему деінду-

стріалізації економіки. Одним з основних видів послуг, зростання обсягів яких на сьогоднішній день можна спостерігати, навіть не роблячи для цього особливих зусиль, є послуги освітні. Можна говорити про існування особливої галузі, причому галузь освіти слід віднести до великого бізнесу, з огляду на те, що не тільки обсяги надання освітніх послуг на різних рівнях, але і те, що освітні інститути разом із задоволенням наявних потреб самі такі потреби формують. Відомо, що сьогодні

рівень автоматизації діяльності закладів вищої освіти (далі – ЗВО) досить низький. Відсутність інформаційних систем широкого профілю призводить до неможливості застосування будь-яких інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. В умовах сучасного ринку освітніх установ важко зберігати і підвищувати якість своїх послуг і одночасно мати нормальну фінансову стійкість. Таким чином, прогнозування фінансових показників університету є важливою як для ЗВО, так і для регіону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні дослідження аналізу фінансової стійкості підприємства виконували Е.А. Бабушкіна [1], Л.Т. Гиляровская [4]. Оцінка економічної стійкості ЗВО розглядалася у роботах А.М. Гринь [5], А.О. Касич [6], В.А. Циган, Н.Р. Кельчевської [7], Е.А. Пахомова [9]. Проектування систем прийняття рішень для аналізу економічної діяльності розглядали П.І. Бідюк [3], Л.О. Коршквник, А. Д. Кожухівський, А. І. Кочетов. Застосування Баєсовських мереж до аналізу економічних показників є у роботах П.І. Бідюка [3] та М.З. Згуровського.

**Постановка завдання.** Розробити систему підтримки прийняття рішень для прогнозування фінансових показників університету.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Цілісне уявлення про предметну область освітніх послуг і завданнях, які формулює суб'єкт управління, таким чином, вимагає погодження категоріального апарату і, по суті, ставить особливі вимоги до персоналу і, особливо, до вищого

менеджменту, які повинні орієнтуватися в досить далеко віддалених одна від іншої областях знань. Зрозуміло, практично завжди подібні комплексні компетенції виявляються недосяжними, і навіть численний апарат, який забезпечує підготовку управлінських рішень, ситуацію не виправляє, оскільки контроль за роботою апарату залишається за першою особою, такими компетенціями не володіє [7].

Проведемо вибір показників фінансової стійкості університету. Показники фінансової стійкості освітнього закладу діляться на дві групи: абсолютні показники і відносні, розрахунок яких проводиться за даними форми 1 «Баланс виконання бюджету університету» [10].

Побудуємо набір окремих показників  $X = \{X_j\}$  загальним числом  $N$ , які характеризують фінансову стійкість вузу.

З урахуванням результатів був обраний набір показників (табл. 1).

Порівняємо кожному показнику  $X_i$  рівень його значущості  $p_i$ . Щоб оцінити цей рівень, потрібно розташувати всі показники за порядком убудування значущості так, щоб виконувалося правило

$$p_1 \geq p_2 \geq \dots \geq p_N, \quad (1)$$

Якщо система показників прорангована в порядку зменшення їхньої значущості, то значущість  $i$ -го показника  $p_i$  слід визначати за правилом Фішберна [1]:

$$p_i = \frac{2(N - i + 1)}{(N + 1)N}, \quad (2)$$

Таблиця 1

**Фінансові коефіцієнти, застосовувані для оцінки фінансової стійкості університету**

Коефіцієнт	Характеристика	Розрахунок	Коментар
1. Коефіцієнт автономії ( $X_1$ )	Показує частку позабюджетних коштів в загальній сумі коштів вузу	Ставлення джерел поза бюджетних коштів до суми всіх коштів вузу	Мінімальне значення 0,5. Це означає, що вищий навчальний заклад покриває всі зобов'язання.
2. Співвідношення бюджетних і позабюджетних коштів ( $X_2$ )	Показує кількість бюджетних коштів, запозичених на 1 гривню позабюджетних коштів	Ставлення бюджетних коштів до позабюджетних коштів	Менш як 0,7. Перевищення вказує на втрату фінансової стійкості і залежність від зовнішніх джерел коштів
3. Забезпеченість власними засобами ( $X_3$ )	Показує наявність власних оборотних коштів у ЗВО, необхідних для його фінансової стійкості	Відношення власних оборотних коштів до загальної величини оборотних коштів	Більше або дорівнює 0,1. Чим вище показник, тим краще фінансове стан
4. Маневреність ( $X_4$ )	Здатність підтримувати рівень власного оборотного капіталу	Відношення власних оборотних коштів до загальної величини коштів	0,2-0,5. Для вузу показник високий внаслідок роду діяльності
5. Накопичення зносу ( $X_5$ )	Показує ступінь зносу Основних коштів	Ставлення амортизаційних відрахувань до первісної вартості основних засобів	Підвищення показника говорить про збільшення застарілих коштів

Правило Фішберна відображає той факт, що про рівні значущості показників невідомо нічого крім (1). Тоді оцінка (2) відповідає максимуму ентропії готівкової інформаційної невизначеності про об'єкт дослідження. Якщо ж всі показники мають рівний значущістю, тоді:

$$p_i = \frac{1}{N}, \quad (3)$$

Класифікація показників вузу. Нехай  $D(X_i)$  – область визначення параметра  $X_i$ , незліченну безліч точок осі дійсних чисел [6].

Визначимо лінгвістичну змінну «Рівень показника  $X_i$ » з введенням п'яти нечітких підмножин множини  $D(X_i)$ :

$B_1$  – нечітке підмножина «дуже низький рівень показника  $X_i$ »;

$B_2$  – нечітке підмножина «низький рівень показника  $X_i$ »;

$B_3$  – нечітке підмножина «середній рівень показника  $X_i$ »;

$B_4$  – нечітке підмножина «високий рівень показника  $X_i$ »;

$B_5$  – нечітке підмножина «дуже високий рівень показника  $X_i$ ».

Завдання опису підмножин  $\{B\}$  – це завдання формування відповідних функцій належності  $\lambda_{1-5}(X_i)$ .

Ціль роботи університету – надання освітніх послуг. З цієї позиції сформуємо граф стратегії розвитку університету [11]. Фінальні показники:

коефіцієнт зносу основних засобів – чим менш значення цього коефіцієнту – тим більш нове та сучасне обладнання має університет, і, як слід, більш якісні навчальні послуги він може надати;

чистий оборотний капітал – збільшення цього коефіцієнту говорить про більшу фінансову незалежність університету, і, як слід, про більшу наукову та освітню незалежність у виборі методів та засобів під час навчання студентів;

коефіцієнт платоспроможності – підвищення цього коефіцієнту говорить про можливість залучати до роботи більш досвідчені кадри викладачів, придбати нове обладнання для лабораторій, співпрацювати з різними підприємствами для поліпшення практичних навичок студентів та привабливість для співробітництва з іншими ЗВО;

Показник фінансової автономії – один з найбільш важливих коефіцієнтів фінансової стійкості. Він дорівнює співвідношенню власного капіталу компанії до всіх фінансових ресурсів. Значення показника говорить про те, яку частину своїх активів компанія здатна профінансувати коштом власних фінансових ресурсів. Наприклад,

якщо коефіцієнт дорівнює 0,48, то це означає, що компанія здатна профінансувати 48% активів коштом власного капіталу [8].

Цей показник важливий як для власників, так і для кредиторів компанії. Низьке значення показника буде сигналізувати про високий рівень ризиків і низьку стійкість компанії в середньостроковій перспективі. Наприклад, якщо компанія здатна генерувати прибуток і є платоспроможною в поточних умовах, то це не означає, що компанія зможе стабільно діяти за зміни ринкової ситуації. Кожний з цих коефіцієнтів залежить від набору вхідних коефіцієнтів. Додаємо ці коефіцієнти та отримуємо та граф стратегії розвитку університету.

Байєсовські мережі довіри – Bayesian Believe Network – використовуються в тих областях, які характеризуються успадкованою невизначеністю. Ця невизначеність може виникати внаслідок: неповного розуміння предметної області; неповних знань; коли завдання характеризується випадковістю.

Таким чином, байєсовські мережі довіри (далі – БМД) застосовують для моделювання ситуацій, що містять невизначеність в деякому сенсі. Для байєсовських мереж довіри іноді використовується ще одна назва – причинно-наслідковий мережу, в яких випадкові події з'єднані причинно-наслідковими зв'язками [2]. Для побудови структури БМ використано алгоритм на основі статистичного аналізу рядів даних, які характеризують еволюцію змінних мережі [2]. В СППР також реалізовано алгоритм адаптування структури мережі до нових даних, що надходять в реальному часі. Для пояснення процедури адаптації мережі введемо такі позначення:  $Z = \{X_1, \dots, X_n\}$  – множина вузлів БМ, яка визначається числом змінних в базі даних;  $E = \{(X_i, X_j) | X_i, X_j \in Z\}$  – множина дуг мережі;  $X_i$  – вузол БМ, що відповідає спостереженням однієї змінної з бази даних;  $n = Z$  – число вузлів БМ;  $r_i$  – число значень, що можуть прийматися вузлом  $X_i$ ;  $v_{ik} - k$ -е значення змінної  $X_i$ ;  $\Pi_i$  – множина вузлів-предків вузла  $X_i$ ;  $\varphi_i$  – множина можливих ініціалізацій  $\Pi_i$ ;  $q_i = \varphi_i$  – число можливих ініціалізацій  $\Pi_i$ ;  $\varphi_{ij} - j$ -а ініціалізація множини вузлів-предків  $\Pi_i$  вузла  $X_i$ ;  $BS$  – структура БМ;  $BP$  – імовірнісна специфікація БМ, тобто частина опису моделі, що представляє імовірнісні характеристики БМ;  $\theta_{ijk} = p(X_i = v_{ik} | \varphi_{ij}, BP)$ , на цій сумі ймовірностей – щільність розподілу ймовірностей для вузла  $X_i$  та ініціалізації  $\varphi_{ij}$ ;  $D_0$  – вихідна база даних спостережень;  $S_0$  – структура БМ, отримана внаслідок попередньої пакетної обробки

бази  $D_0$ ;  $D_1$  – база даних нових спостережень, не використаних під час побудови  $S_0$ ;  $S_1$  – структура БМ, отримана після адаптації  $S_0$  до нових даних  $D_1$ . Ставилося завдання розробки алгоритму адаптування вихідної байєсівської мережі  $G = \langle Z, E \rangle$  із структурою  $S_0$ , побудовану за вихідною базою спостережень  $D_0$ , до нових спостережень  $D_1$ . Тобто, необхідно сформулювати оновлену структуру мережі  $S_1 \leftrightarrow D_1$ . Водночас експериментальні (статистичні) дані можуть мати довільний розподіл ймовірностей, а процеси, які описуються цими даними, можуть мати нестационарний характер, тобто, математичне сподівання  $M[X_i] \neq const$  і дисперсія  $M\{X_i - M[X_i]\}^2 \neq const$ .

Розробка системи прогнозування фінансових показників університету була складена розробниками у декілька етапів, серед яких: аналіз вихідних даних про фінансові показники університету; розробка алгоритму обробки даних про рівні кваліфікації; аналіз інструментальних засобів для створення продукту; експертне оцінювання мір одиничних елементів та створення таблиць ймовірностей належності одиничних елементів; розробка структури довідників, які будуть зберігати дані; складання модулів програмного засобу; перевірка працездатності розробленого алгоритму; написання інструкції користувача.

У відповідність з поставленим завданням ЕС повинна забезпечити проведення прогнозування фінансових показників університету. Код програми складено на базі технології візуалізації в середовищі розробки програмного забезпечення 1С Підприємство. Розроблена програма повністю забезпечує функціонування всіх наступних етапів алгоритму розв'язання завдання: розрахунок вагових коефіцієнтів для розрахункових показників впродовж наявних даних за періоди; встановлення зв'язків між показниками для створення Баєрсової мережі; заповнення експертами таблиць з оцінюванням ймовірності початкових показників та показників необхідних для прогнозу; розрахунок вихідних коефіцієнтів з допомогою байєсівської мережі; вивід результатів розрахунку на екран.

Розробка системи починається з створення нової конфігурації у конфігураторі 1С Підприємство. Додаємо наступні об'єкти згідно з технічним завданням: довідники, документи та обробки.

Зберігання даних у системі 1С Підприємство можливо у таких видах об'єктів: довідники, реєстри та бухгалтерські рахунки. У експертної системи бухгалтерські рахунки використовуватися не будуть. Дані за показниками та за їхніми зв'язками

зручно зберігати у відповідних довідниках, а дані за ймовірностями та ваговими коефіцієнтами зручніше зберігати у реєстрах відомостей.

До довідників додаємо такі: Експерти (ПШБ, організація) – тут будемо додавати дані за експертами, які будуть виставляти вагові коефіцієнти; Показники – тут будемо зберігати всі показники за якими потім братимуть участь у прогнозуванні, та довідник зв'язки показників – де ми будемо формувати зв'язки між показниками для моделювання стратегій розвитку університету.

Для більшої гнучкості програми жорсткі зв'язки між визначеними на початку роботи певними показниками дозволимо користувачу формувати зв'язки власноруч. Зв'язок показує, що кількість бюджетників впливає на бюджетні кошти. Завантаження даних з інших джерел здійснюється з допомогою документу «Розрахунок коефіцієнтів». Документ має дві вкладки: Показники для розрахунку та Показники. На вкладці «Показники для розрахунку» для завантаження показників з інших джерел є кнопка «Завантажити», яка відкриває спеціальну обробку для вибору джерела завантаження даних. Дані для розрахунків та подальшого їхнього використання зберігаються у реєстрі відомостей «Економічні показники». Для прогнозування розробимо обробку «Виконати прогнозування».

**Висновки.** Отже, аналіз наукової літератури та інтернет-джерел допоміг з'ясувати, що в більшості ЗВО застосовується функціональна система управління, тому що приймаються під час обговорення на радах рішення носять загальний, найчастіше декларативний, характер. Основними джерелом інформації для прийняття рішень є результати оцінки, яка поділяється на оцінку навчаються і оцінку самої системи забезпечення якості діяльності ЗВО. Як основу для побудови системи прогнозування фінансових показників університету було прийнято мережу довіри Байєса, або просто байєсівську мережу, яка складаються з множини вузлів і сукупності спрямованих ребр, що з'єднують ці вузли між собою. Ребра визначають причинно-наслідкові зв'язки у предметній області, що більшою частиною не є однозначно визначеними. Вірогідність твердження (чи дії) представляється з допомогою ймовірності. Концепція байєсівських мереж полягає у оновленні ймовірностей під час надходження додаткової інформації. Інформацію може отримувати кожен вузол (змінна) мережі, оскільки метод оновлення ймовірностей є інваріантним щодо напряму розповсюдження інформації за ребрами мережі.

Таким чином, байєсівська мережа, як основа експертної системи, значно розширює можливості аналізу і прийняття рішень, оскільки дозволяє робити і прямий, і зворотний логічний висновок одночасно. Системи підтримки прийняття рішень (системи прогнозування) здатні виконувати функції експерта при розв'язанні завдань певного домену. Їхнє використання сприяє ефективності роботи та професійному розвитку фахівців. Ідея прогнозування порівняння полягає в використо-

вуванні байєсівської мережі та розробка програмного забезпечення засобами ІС Підприємство, яке підходить до рішення більшості бізнес-задач та сумісно з більшістю бухгалтерських рішень встановлених у бухгалтерії ЗВО. Представляється перспективним підключення до СППР додаткових модулів, які дадуть змогу завантажувати фінансові показники минулих періодів напряму з бухгалтерських конфігурацій з допомогою технології OLE.

#### Список літератури:

1. Бабушкина Е.А. Анализ финансовых показателей и коэффициентов URL: [https://www.cfin.ru/finanalysis/reports/ratios\\_system.shtml?printversion](https://www.cfin.ru/finanalysis/reports/ratios_system.shtml?printversion) (дата звернення 5.06.2019).
2. Байесовские сети доверия как средство разработки ЭС. URL: [http://www.habarov.spb.ru/new\\_es/exp\\_sys/es06/es6.htm](http://www.habarov.spb.ru/new_es/exp_sys/es06/es6.htm) (дата звернення 7.06.2019).
3. Бідюк П.І., Кожухівський А.Д., Кожухівська О.А. Система підтримки прийняття рішень для аналізу і прогнозування стану підприємства. *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. №1. 2013. С. 128–136.
4. Гиляровская Л.Т., Вехорева А.А. Анализ и оценка финансовой устойчивости коммерческого предприятия. Санкт-Петербург: Питер, 2003. 256 с.
5. Гринь А.М. Анализ финансовой устойчивости государственного вуза/ URL: <http://journal.safbd.ru/ru/content/analiz-finansovoy-ustoychivosti-gosudarstvennogo-vuza> (дата звернення 5.06.2019).
6. Касич А.О., Циган В.А. Особливості фінансування вищої освіти в Україні та інших країнах світу. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=2587> (дата звернення 7.06.2019).
7. Кельчевская Н.Р. Оценка экономической устойчивости государственного ВУЗа. *Университетское управление: практика и анализ*. 2002. № 4 (23).
8. Коефіцієнт фінансової автономії (Коефіцієнт фінансової незалежності). URL: <https://www.finalon.com/slovník-ekonomichnikh-pokaznikov/346-pokaznik-finansovoji-avtonomiji-pokaznik-finansovoji-nezalezhnosti> (дата звернення 6.06.2019).
9. Пахомова Е.А., Иванчина В.В. Анализ финансовой устойчивости вуза с использованием методов теории нечетких множеств. *Экономический анализ: теория и практика*. 2009. № 14 (143). С. 42–51.
10. Разработка методики расчета показателей эффективности деятельности университета и его структурных подразделений. URL: <https://sovman.ru/article/5407/> (дата звернення 9.06.2019).
11. Ткачук О.В. Фінансове забезпечення вищої освіти в Україні : проблеми та перспективи. *Гроші, фінанси, кредит*. 2017. № 12. С. 636–641.

#### **Kruglik V.S., Naumuk A.V., Prokofiev E.G., Sicilicin Y.A., Korovin A.S. DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF FORECASTS OF CALCULATIONS OF THE FINANCIAL INDICATORS OF THE UNIVERSITY**

*The article deals with the development of a system for forecasting the calculation of financial indicators of the University with the help of the Baese network of trust. The use of Baesov's network is due to the uncertainty of causation in predicting university financial indicators, analysis of scientific literature and conducted tests, which show that the base networks show significantly better results than the classical statistical methods of forecasting financial indicators for a more simple assessment of the events. In order to determine the factors of influence on the results of forecasting, the main financial indicators of the university were considered and elucidated in the paper. The authors developed and elucidated the process of developing a forecasting program by means of the IC Enterprise system. The main factors and functional features of the software are determined in the work. The authors emphasize that the purpose of the university's work is to provide educational services, in connection with which the graph of the development strategy of the university was formed. To construct the structure of the base network, the authors used an algorithm based on the statistical analysis of data series that characterize the evolution of the network variables. The development of a system for forecasting financial indicators of the university was compiled by developers in several stages, among which: analysis of the initial data on the financial performance of the university; development of data processing algorithm on the level of qualification; analysis tools for product creation; expert assessment of measures of individual elements and the creation of probability tables for the affiliation of individual elements; developing a directory structure that will store data; assembly of software modules; validation of the developed algorithm; writing a user's manual. In the conclusions, the authors analyzed the use of forecasting capabilities using the Bayesian network for research on financial indicators of the University.*

**Key words:** financial indicators, base network, decision support system, IC Enterprise, predicted.

**Купін А.І.**

Криворізький національний університет

**Сенько А.О.**

Криворізький національний університет

**Мисько Б.С.**

Криворізький національний університет

## ОПТИМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ ГЕНЕТИЧНИХ ПІДХОДІВ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНОЇ РУДИ

З огляду на те, що завдання оптимізації процесу збагачення залізної руди є задачею глобальної оптимізації в умовах нестаціонарності та нелінійності, з метою її вирішення було застосовано принципи генетичних алгоритмів. У процесі дослідження проведено оптимізацію багатовимірної функції мети, яку сформовано у процесі нейромережевої ідентифікації технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів. Вважається, що всі можливі обмеження у вигляді рівностей або нерівностей вже враховані в цільовій функції у вигляді згортки критеріїв, за допомогою методу штрафних функцій або іншим чином. Для спрощення будемо вважати, що функція мети включатиме лише продуктивність, клас крупності, вміст заліза. Хоча аналогічна методика може бути застосована і для більшої кількості чинників. Причому незалежно від вибору головного критерію відомо, що завдання мінімізації та максимізації еквівалентні. Встановлено необхідну точність оптимізації для функції: два знаки після коми. У кожній генерації оцінюється кожна хромосома на предмет її придатності з використанням функції  $f$  на декодованому наборі змінних. Відбирається нова популяція з огляду на розраховану придатність. За допомогою операторів схрещування і мутації хромосоми комбінуються в нову популяцію. Після відбору, схрещування й мутації нова популяція готова для подальшого оцінювання. Отримані оцінки використовуються для побудови нової рулетки із секторами, пропорційним поточним значенням функції придатності. Інша частина еволюції являє собою циклічне повторення процесу. Після деякого числа генерацій, коли не спостерігається поліпшення популяції, краща хромосома представляє оптимальне рішення. Можлива також примусова зупинка алгоритму після фіксованого числа ітерацій. Застосовано генетичні оператори селекції та мутації. Це дало змогу просунутися вперед на шляху пошуку максимального значення розглянутої функції.

**Ключові слова:** генетичні алгоритми, оптимізація, збагачення залізної руди, схрещення, мутація.

**Постановка проблеми.** Завдання оптимізації цільової функції на основі нейронних мереж в умовах збагачувальної технології, як і більшість реальних задач багатofакторної оптимізації, є багатоекстремальним та погано зумовленим. Тому всі класичні методи оптимізації, що ґрунтуються на використанні градієнта цільової функції, не можуть гарантувати знаходження найкращого рішення [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Численні дослідження довели, що ГА є одним із кращих методів, що забезпечують вирішення багатомірних та багатоекстремальних завдань глобальної оптимізації в умовах нестаціонарності та нелінійності [3]. Дослідження [4; 5] підтвердили доцільність застосування підходу на основі процедури з ГА гапліодної версії задля оптиміза-

ції керування в умовах процесів збагачувальної технології.

Розглянемо принципи застосування ГА для оптимізації багатовимірної функції мети, яку сформовано у процесі нейромережевої ідентифікації ТП збагачення магнетитових кварцитів. Використаємо підхід застосування генетичних алгоритмів, що запропонований авторами [1].

**Постановка завдання.** Таке завдання нелінійного програмування із застосуванням ГА узагальнено формулюється як:

$$f(\chi^*) = \min_{\chi \in X} f(\chi), \quad (1)$$

де  $\chi \in \mathfrak{R}$  – вектор координат точки пошуку;  $\chi^*$  – оптимальне рішення;  $X$  – область пошуку.

Крім того, припустимо, що цільова функція  $f$  може приймати лише позитивні значення;

у протилежному випадку варто додати певне постійне значення, наприклад,

$$\max f(\chi) = \max \{f(\chi) + C\},$$

де  $C$  – константа.

Можливе вирішення задачі (3.1) представляється в ГА у вигляді особини  $\{\chi, f(\chi)\}$ . Вона включає вектор  $\chi(\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_k)$ , що закодований у  $l$  лінійних хромосомах (одна на кожен координату), а також відповідне значення цільової функції  $f(\chi)$ .

Отже, завдання полягає в максимізації функції  $k$  змінних  $f(\chi_1, \dots, \chi_k)$ ; при цьому кожна змінна  $\chi_i (i = \overline{1, k})$  приймає значення в межах області  $D_i = [a_i, b_i]$  та  $f(\chi_1, \dots, \chi_k) > 0$  для кожного  $\chi_i \in D_i$ .

Встановимо необхідну точність оптимізації для функції  $f(\chi)$ : 2 знаки після коми. Тоді кожна область  $D_i$  має бути розділена на  $(b_i - a_i) \times 10^2$  однакових відрізків.

Позначимо через  $m_i$  найменше число, що задовольняє нерівності

$$(b_i - a_i) \times 10^6 \leq 2^{m_i} - 1.$$

Тоді кожна змінна  $\chi_i$  кодується як бінарний рядок довжиною  $m_i$ , що відповідає заданій точності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Кожна хромосома (потенційне рішення) представляється бінарним рядком довжиною  $m = \sum_{i=1}^k m_i$ . У цьому рядку перші  $m_1$  бітів позначають  $\chi_1$  з діапазону  $[a_1, b_1]$ , другі  $m_2$  – з діапазону  $[a_2, b_2]$  і т.д. Зрештою, хромосома має такий вигляд:

$$\underbrace{010101}_{m_1} \underbrace{1110}_{m_2} \dots \underbrace{00111100}_{m_k}.$$

Задаємо, крім того, розмір популяції  $M$  (число хромосом).

Далі робота ГА здійснюється відповідно до алгоритму (рис. 1).

- у кожній генерації оцінюється кожна хромосома на предмет її придатності з використанням функції  $f$  на декодованому наборі змінних;
- відбирається нова популяція з огляду на розраховану придатність;
- за допомогою операторів схрещування і мутації хромосоми комбінуються в нову популяцію.

Після деякого числа генерацій, коли не спостерігається поліпшення популяції, краща хромосома представляє оптимальне (можливо, глобальне) рішення. Можлива також примусова зупинка алгоритму після фіксованого числа ітерацій.

Для процесу селекції служить рулетка (генератор випадкових чисел [6, 7]) із розмірами секторів, пропорційних придатності кожного рядка. Розробка такої рулетки складається з таких кроків:

- обчислюється придатність  $\alpha(a_j)$  для кожної хромосоми  $a_j, j = \overline{1, M}$ ;
- знаходиться загальна функція придатності всієї популяції  $F = \sum_{j=1}^M \alpha(a_j)$ ;
- визначається ймовірність вибору  $p_j$  для хромосом  $a_j, p_j = \alpha(a_j)/F$ ;

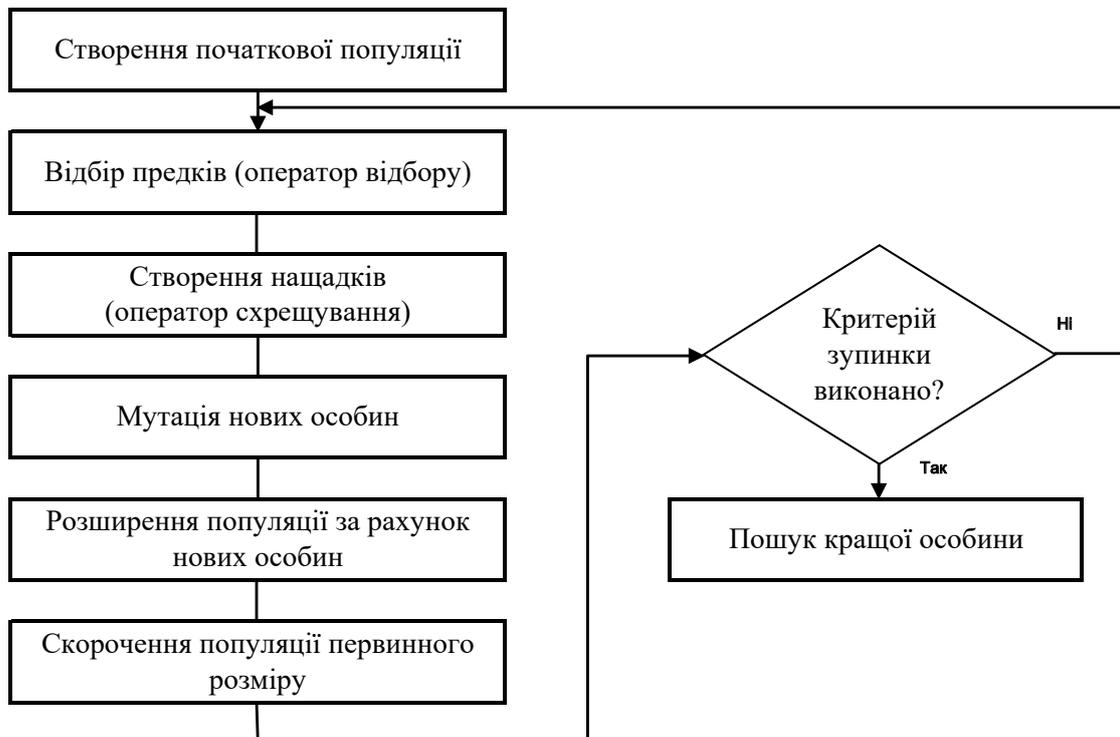


Рис. 1. Блок-схема роботи генетичного алгоритму (ГА)

– обчислюється кумулятивна імовірність  $q_j$  кожної хромосоми  $q_j = \sum_{j=1}^m p_j$ .

Процес селекції заснований на обертанні колеса  $M$  раз, і щоразу відбирається одна хромосома в нову популяцію в такий спосіб:

– генерується випадкове число  $r$  з діапазону  $[0, 1]$ ;

– якщо  $r < q_1$ , то вибирається перша хромосома  $a_1$ ; у протилежному випадку відбирається  $j$ -та хромосома  $a_j (2 \leq j \leq M)$  таким чином, щоб  $q_{j-1} < r \leq q_j$ .

Очевидно, що деякі хромосоми будуть обрані більше ніж один раз. Кращі хромосоми дають більше копій, середні залишаються незмінними, погані вмирають. Нові рішення на цьому етапі не створюються.

Задається ймовірність схрещування  $p_c$ . Очікуване число хромосом, які піддаються схрещуванню, становить  $p_c \times M$ .

Для кожної хромосоми з нової популяції:

– генерується випадкове число  $r$  з діапазону  $[0, 1]$ ;

– якщо  $r < p_c$  то ця хромосома вибирається для схрещування.

У такий спосіб відбираються особини для схрещування. Вибір точки схрещування теж випадковий.

Генерується випадкове число  $s$  з діапазону  $[1 \dots (m - 1)]$  ( $m$  – довжина хромосоми). Це число  $s$  визначає точку схрещування.

У підсумку дві хромосоми  $(b_1 b_2 \dots b_s b_{s+1} \dots b_m)$  і  $(c_1 c_2 \dots c_s c_{s+1} \dots c_m)$  замінюються парою нащадків  $(b_1 b_2 \dots b_s c_{s+1} \dots c_m)$  і  $(c_1 c_2 \dots c_s b_{s+1} \dots b_m)$ .

Мутація. Задається ймовірність мутації  $p_m$ . Очікуване число змінених бітів становитиме  $p_m \times m \times M$ . Кожен біт у всіх хромосомах у всій популяції має рівний шанс піддатися мутації, тобто змінитися з 0 на 1 або навпаки. Це здійснюється в такий спосіб:

– генерується випадкове число  $r$  з діапазону  $[0, 1]$ ;

– якщо  $r < p_m$  то біт змінюється.

Після відбору, схрещування й мутації нова популяція готова для подальшого оцінювання. Отримані оцінки використовуються для побудови нової рулетки з секторами, пропорційним поточним значенням функції придатності. Інша частина еволюції являє собою циклічне повторення процесу.

Скористаємося наведеними поясненнями для вирішення завдання оптимізації цільової функції, яку отримано в результаті нейромережевого

Таблиця 1

Початкова популяція для оптимізації

№	Рядки із закодованими хромосомами	№	Рядки із закодованими хромосомами
1	000000111111010011011111	10	1000110000011010000111011
2	0100110111001010100011010	11	1110110101100001101111000
3	0011001000001010111011101	12	0111101101000101010000000
4	0101101001111000001110010	13	1010001000110000001000110
5	100101001101011111000101	14	1000001010100111100101001
6	001001010100101011111011	15	1101110000100011111011110
7	0000110101111011011111011	16	0000011111100001101001011
8	0001110100010110101100111	17	1111001111010001101111101
9	0101100010110000001111100	18	0000001110100111110101101
10	1000110000011010000111011	19	001111111110000110001100
11	1110110101100001101111000	20	0110011110011000101111110

Таблиця 2

Початкова популяція для оптимізації

Номер рядка	Функція	Придатність	Номер рядка	Функція	Придатність
1	f(29,25;31,56)	129,64	11	f(67,94;31,11)	136,91
2	f(41,48;31,63)	109,73	12	f(49,03;30,8)	128,75
3	f(36,89;31,88)	121,23	13	f(55,48;30,09)	125,69
4	f(43,59;30,14)	139,56	14	f(50,25;32,29)	134,74
5	f(53,27;32,49)	136,75	15	f(65,09;32,52)	126,38
6	f(34,77;31,91)	117,92	16	f(29,91;31,05)	110,48
7	f(30,83;32,23)	109,87	17	f(69,01;31,12)	141,43
8	f(33,42;31,73)	125,91	18	f(29,2;32,46)	131,15
9	f(43,3;30,16)	129,69	19	f(39,2;30,5)	138,26
10	f(51,82;31,35)	138,39	20	f(45,76;30,48)	106,47

прогнозування ТП збагачення магнетитових кварцитів (на прикладі показників переділу 1-ї стадії секції РЗФ Південного ГЗК). Тоді завдання оптимізації у спрощеній формі зводиться до знаходження максимуму функції:

$$f(\chi_1, \chi_2) = Q(\beta, \beta_x) \rightarrow \max,$$

де  $Q$  – продуктивність секції збагачення, т/год.;  $\beta$  – вміст фракції 10–20 мм, %;  $Fe_s$  – вміст корисного компоненту (заліза загального), %.

Крім того, приймемо інтервали зміни аргументів функції мети  $28,6 < \beta < 71,02$  та  $30 < Fe_s < 32,56$ , розмір популяції  $M=20$ , ймовірності схрещування  $p_c=0,25$ , ймовірності мутації  $p_m=0,25$ .

Припустимо, що необхідна точність становить 2 цифри після коми для кожної змінної. Тоді діапазон для змінної  $x_1$ , що становить 42,42%, має бути розділений на  $42,42 \times 100$  рівних відрізків. Це означає, що для першої частини хромосоми буде потрібно 13 бітів, тому що  $2^{12} < 4242 < 2^{13}$ .

Для другої змінної  $\chi_2$  з діапазоном, що дорівнює 2,56%, умова встановленої точності вимагає, щоб весь діапазон був розділений на  $2,56 \times 100$  рівних відрізків. Таким чином, для цієї змінної необхідно 12 бітів, оскільки  $2^{11} < 2560 < 2^{12}$ .

Загальна довжина хромосоми (вектор потенційного рішення) становитиме  $m = 13 + 12 = 25$  бітів, з яких перші 13 кодують першу змінну, а ті 12, що лишилися, – другу змінну.

Створимо початкову популяцію, що складається з 20 рядків, у кожній з яких значення 25 бітів будуть ініційовані випадковим способом (табл. 1).

Тепер необхідно декодувати кожну хромосому й обчислити функцію придатності кожного рядка (визначається шляхом обчислення відповідних значень функції, що оптимізується). Після декодування одержуємо результат, показаний у табл. 2.

З отриманих даних видно, що друга хромосома має найменшу придатність, а хромосома  $a_{15}$  – найбільшу.

Перейдемо до конструювання рулетки, необхідної для процесу селекції. Загальна придатність всієї популяції становить величину

$$F = \sum_{j=1}^{20} \mu(a_j) = 2538,95.$$

Ймовірності вибору  $p_j$  для кожної хромосоми, відповідно до вищевказаного правила, наведені в табл. 3.

Кумулятивні ймовірності для кожної хромосоми наведені в табл. 4.

Далі необхідно зробити 20 обертів рулетки, щораз відбираючи єдину хромосому для нової популяції. Нехай випадкова послідовність 20 чисел із діапазону  $[0, 1]$  має вигляд, показаний у табл. 5.

Перше число  $r_1$ , більше, ніж  $q_{10}$  і менше, ніж  $q_{11}$ , тому для нової популяції вибирається хромосома  $a_{11}$ ; друге число  $r_2$  більше, ніж  $q_3$  і менше, ніж  $q_4$ , отже, другим для нової популяції вибирається рядок  $a_4$  і т.д.

Остаточно нова популяція має вигляд, наведений у табл. 6.

Таблиця 3

Значення ймовірностей кожної хромосоми

Рядок	Ймовірність $p_j$	Рядок	Ймовірність $p_j$
1	0,0511	11	0,0539
2	0,0432	12	0,0507
3	0,0477	13	0,0495
4	0,0550	14	0,0531
5	0,0539	15	0,0498
6	0,0464	16	0,0435
7	0,0433	17	0,0557
8	0,0496	18	0,0517
9	0,0511	19	0,0545
10	0,0545	20	0,0419

Як видно з табл. 6, гірша в початковій популяції (рядок 2) після селекції не потрапила в наступну генерацію, а краща в початковій популяції (рядок 15) з'явилася в новій популяції три рази.

Таблиця 4

Кумулятивні ймовірності кожної хромосоми

Рядок	Ймовірність $q_j$	Рядок	Ймовірність $q_j$
1	0,067	11	0,538
2	0,086	12	0,577
3	0,137	13	0,647
4	0,181	14	0,698
5	0,247	15	0,776
6	0,293	16	0,837
7	0,335	17	0,873
8	0,381	18	0,912
9	0,423	19	0,964
10	0,478	20	1,000

Таблиця 5

Випадкові числа з діапазону  $[0, 1]$

0,513	0,175	0,308	0,534	0,947
0,171	0,702	0,226	0,494	0,424
0,703	0,389	0,227	0,368	0,983
0,005	0,765	0,646	0,767	0,780

Популяція хромосом після схрещування

№	Хромосома	№	Хромосома
1	1110110101100001101111000	11*	100101001101011111000101
2*	010110101101011111000101	12	1010001000110000001000110
3	1101110000100011111011110	13*	1110110101100000000111011
4	0000001111111010011011111	14	1110110101100001101111000
5	0101101001111000001110010	15	0001110100010110101100111
6	1101110000100011111011110	16	1101110000100011111011110
7	1110110101100001101111000	17	0011111111110000110001100
8	1101110000100011111011110	18*	1000110000011011101111000
9	0000110101111011011110111	19	0110011110011000101111110
10	100101001101011111000101	20	0000001110100111110101101

Примітка: \* – схрещені хромосоми

Таблиця 6

Нова популяція хромосом ГА

Новий номер рядка	Хромосома	Старий номер рядка
1	1110110101100001101111000	11
2	0101101001111000001110010	4
3	1101110000100011111011110	15
4	0000001111111010011011111	1
5	0101101001111000001110010	4
6	1101110000100011111011110	15
7	1110110101100001101111000	11
8	1101110000100011111011110	15
9	0000110101111011011110111	7
10	100101001101011111000101	5
11	100101001101011111000101	5
12	1010001000110000001000110	13
13	1110110101100001101111000	11
14	1110110101100001101111000	11
15	0001110100010110101100111	8
16	1101110000100011111011110	15
17	0011111111110000110001100	19
18	1000110000011010000111011	10
19	0110011110011000101111110	20
20	0000001110100111110101101	18

Наступним кроком у проведенні ГА є схрещування. Застосуємо його до отриманої нової популяції. Задана ймовірність схрещування становить величину  $p_c = 0,25$ , тому в середньому має піддатися схрещуванню 25% вихідних хромосом. Тут робимо в такий спосіб: для кожної хромосоми в новій популяції генеруємо випадкове число  $r$  з діапазону  $[0,1]$ ; якщо  $r < 0,25$ , то вибираємо цю хромосому для схрещування.

З табл. 7 помітно, що для схрещування відбираються хромосоми з номерами 2, 11, 13 і 18, оскільки значення випадкових чисел на цих позиціях менше, ніж 0,25. Зазначимо, що в

цьому разі число відібраних хромосом вийшло парним, тому легко скласти батьківські пари. У протилежному випадку необхідно додати або забрати одну хромосому. Склад батьківських пар також випадковий, наприклад, однією такою парою виберемо рядки  $a_2, a_{11}$  й іншою – рядки  $a_{13}, a_{18}$ . Для кожної із цих двох пар генеруємо випадкове число  $s$  з діапазону  $[1,24]$  (нагадаємо, що 25 – загальне число бітів у хромосомі), що визначає положення точки схрещування. Для першої пари це число становитиме 9, а для другої – 16.

Перша пара хромосом

$$a_2 = 01011010|01111000001110010;$$

$$a_{11} = 10010100|11010111111000101,$$

після схрещування дає таку пару нащадків:

$$a_2^* = 01011010|11010111111000101; a_{11}^* = 10010100|01111000001110010.$$

Друга пара хромосом

$$a_{13} = 111011010110000|1101111000;$$

$$a_{18} = 100011000001101|0000111011,$$

у результаті схрещування дає таку пару нащадків:

$$a_{13}^* = 111011010110000|0000111011; a_{18}^* = 10001000001101|1101111000.$$

Таблиця 7

Випадкові числа з діапазону  $[0, 1]$  для процедури схрещування

0,82	0,15	0,62	0,31	0,34
0,91	0,51	0,40	0,60	0,78
0,03	0,86	0,16	0,67	0,75
0,58	0,38	0,20	0,35	0,82

Після схрещування популяція приймає вигляд, наведений у табл. 8.

Розглянемо роботу оператора мутації, що виконується на побітовій основі. Задана

ймовірність мутації  $p_m = 0,01$ , тому очікуване число бітів, які підлягають мутації, становитиме 1% від загального числа бітів у популяції. В останній є  $33 \times 20 = 660$  бітів, отже, у середньому число бітів-мутантів становитиме 6–7 од. Кожен біт у популяції має рівний шанс піддатися мутації, тому для кожного біта генеруємо випадкове число  $r$  з діапазону  $[0,1]$ ; якщо  $r < 0,01$ , то цей біт мутує. Загалом необхідно розіграти 660 випадкових чисел, з яких у цьому разі тільки 5 задовольняють необхідній умові. Положення біта й відповідне значення випадкового числа наведені в табл. 9.

Таблиця 9

**Позиція біту, що мутує в популяції**

Позиція біту	Випадкове число
112	0,00021
349	0,00994
418	0,00880
429	0,00542
472	0,00283

Для визначення положення біта, що мутував у рядках популяції, скористаємося табл. 10. Помітно, що 5 хромосом піддалися мутації.

Остаточна популяція після операторів схрещування та мутації наведена в табл. 11.

Таблиця 10

**Положення біту, що мутував у популяції**

Положення біту	Номер хромосоми	Номер біту у хромосомі
112	5	12
349	14	24
418	17	18
429	18	4
472	19	22

У цій же таблиці в останньому стовпчику наведені значення функції придатності, отримані для вихідної популяції після селекції, схрещування й мутації. Кращий рядок має значення функції придатності в останній популяції  $Q_{18} = 139,91$  т/год., що перевищує найбільшу величину у початковій популяції ( $Q_{15} = 139,56$  т/год.). При цьому збільшується вміст класу 10–20 мм (54,47%), та вміст заліза (30,48%). Крім того, і загальна придатність дорівнює  $F = 2583,98$ , що перевищує аналогічну величину на початку роботи ГА.

**Висновки.** Таким чином, за один крок процедури виконання ГА вдалося просунути вперед на шляху пошуку максимального значення розглянутої функції. Далі необхідно знову застосувати селекцію, схрещування й мутацію, оцінити отриману генерацію з погляду її придатності тощо доти, поки не буде задовольнятися умова зупинки (рис. 1).

Таблиця 11

**Популяція після схрещування та мутації**

№	Хромосома	Функція придатності
1	1110110101100001101111000	$f(67,94;31,11) = 136,91$
2*	0101101011010111111000101	$f(43,65;32,49) = 129,19$
3	1101110000100011111011110	$f(65,09;32,52) = 126,38$
4	0000001111111010011011111	$f(29,25;31,56) = 129,64$
5**	010110100111 <u>0</u> 000001110010	$f(43,59;30,14) = 139,56$
6	1101110000100011111011110	$f(65,09;32,52) = 126,38$
7	1110110101100001101111000	$f(67,94;31,11) = 136,91$
8	1101110000100011111011110	$f(65,09;32,52) = 126,38$
9	0000110101111011011111011	$f(30,83;32,23) = 109,87$
10	1001010011010111111000101	$f(53,27;32,49) = 136,75$
11*	1001010011010111111000101	$f(53,27;32,49) = 110,54$
12	1010001000110000001000110	$f(55,48;30,09) = 128,75$
13*	1110110101100000000111011	$f(67,94;30,07) = 116,26$
14**	11101101011000011011110 <u>1</u> 0	$f(67,94;31,11) = 136,91$
15	0001110100010110101100111	$f(33,42;31,73) = 125,91$
16	1101110000100011111011110	$f(65,09;32,52) = 126,38$
17**	00111111111100001 <u>0</u> 0001100	$f(39,2;30,34) = 134,19$
18***	100 <u>1</u> 110000011011101111000	$f(54,47;32,39) = 139,81$
19**	0110011110011000101111110	$f(45,76;30,48) = 136,11$
20	000000111010011111010 <u>0</u> 101	$f(29,2;32,45) = 131,15$

Примітки: \* – схрещені хромосоми; \*\* – рядки, піддані мутації; 0,1 – біти, значення яких було змінено у процесі мутації

**Список літератури:**

1. Купін А.І., Сенько А.О., Мисько Б.С. Ідентифікація та автоматизоване керування в умовах процесів збагачувальної технології на основі методів обчислювального інтелекту : монографія / ред. О.Г. Самойлюк. Кривий Ріг, 2018. 298 с.
2. Zhang B., H. Muhlenbein Evolving optimal neural networks using genetic algorithms with Occam's razor. *Complex systems*. 1993. № 7. P. 199–220.
3. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Mass. : Addison-Wesly, 1989. 412 p.
4. Купін А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології : монографія. Кривий Ріг : КТУ, 2008. 204 с.
5. Купін А.І. Еволюційна оптимізація параметрів технологічного процесу збагачення магнетитових кварцитів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. Житомир, 2008. № 4. С. 230–239.
6. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления. Ленинград : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. 287 с.
7. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. Киев : Вища школа, 1988. 359 с.

**Kupin A.I., Senko A.O., Mysko B.S. OPTIMIZATION BASED  
ON A GENETIC APPROACH TO THE PROCESS OF IRON ORE BENEFICIATION**

*Given that the task of optimizing the process of iron ore enrichment is a task of global optimization in the conditions of non-stationarity and nonlinearity, the principles of genetic algorithms were applied to solve it. In the course of the study, the optimization of the multidimensional objective function was formed, which was formed in the process of neural network identification of the technological process of enrichment of magnetite quartzites. It is considered that all possible restrictions in the form of equalities or inequalities have already been taken into account in the objective function in the form of a convolution of criteria, by the method of penalty functions or otherwise. For simplicity, we assume that the purpose function will include only performance, size class, iron content. Although a similar technique can be applied to more factors. Nevertheless, regardless of the choice of the main criterion, it is known that the minimization and maximization problems are equivalent. In each generation, each chromosome is evaluated for its suitability using the function  $f$  on the decoded set of variables. A new population is selected based on calculated fitness. With the help of crossing and mutation operators, chromosomes are combined into a new population. After selection, crossing and mutation, the new population is ready for further evaluation. The estimates obtained are used to construct a new roulette with sectors proportional to the current value of the fitness function. The other part of evolution is a cyclic repetition of the process. After a number of generations, when there is no population improvement, the best chromosome is the optimal solution. A forced stop of the algorithm after a fixed number of iterations is also possible. Genetic operators of selection and mutation have been applied. This made it possible to move forward in the search for the maximum value of the function under consideration.*

**Key words:** genetic algorithms, optimization, iron ore dressing, intersection, mutation.

**Повхан І.Ф.**

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

**Лавер В.О.**

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

## АЛГОРИТМИ ПОБУДОВИ ЛОГІЧНИХ ДЕРЕВ КЛАСИФІКАЦІЇ В ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

*Робота присвячена важливому питанню теорії розпізнавання – алгоритмам побудови логічних дерев класифікації. Простий, ефективний, економний метод побудови логічного дерева класифікації навчальної вибірки дає змогу забезпечити необхідну швидкодію, рівень складності схеми розпізнавання, що гарантує проведення простого та повного розпізнавання дискретних об'єктів. Результуюче правило класифікації (схема), яке побудоване довільним методом або алгоритмом розгалуженого вибору ознак (методом логічного дерева), має деревоподібну логічну структуру. Логічне дерево складається з вершин (ознак), які групуються по ярусах і отримані на певному кроці (етапі) побудови дерева розпізнавання. На відміну від наявних методів, головною особливістю деревоподібних систем розпізнавання є те, що важливість окремих ознак (групи ознак чи алгоритмів) визначається щодо функції, яка задає розбиття об'єктів на класи, причому числова величина важливості характеризує собою помилку розподілу об'єктів на класи. Отже, в методах та алгоритмах розпізнавання на основі логічних дерев класифікації необхідно до тих пір повторювати такий вибір вершин (ознак, аргументів, алгоритмів – у випадку алгоритмічного дерева), доки не буде отримано необхідний рівень якості розпізнавання дискретних об'єктів.*

*Основні наявні методи обробки навчаючих вибірок при побудові функції розпізнавання не дають змоги досягти потрібного рівня точності системи розпізнавання та регулювати їх складність у процесі конструювання цих систем. Цей недолік відсутній у методах побудови систем розпізнавання, які базуються на методах дерев класифікації. При цьому особливістю методу логічного дерева є можливість комплексного використання для розв'язання кожної конкретної задачі побудови схеми розпізнавання багатьох відомих алгоритмів (методів) розпізнавання. У роботі розглядаються деревоподібні схеми розпізнавання.*

**Ключові слова:** розпізнавання дискретних об'єктів, логічні дерева класифікації, функція розпізнавання, навчальна вибірка, алгоритм виправлення помилок.

**Постановка проблеми.** Станом на сьогодні відомі різні алгоритми побудови логічних дерев класифікації (ЛДК) [1–3]. Проте всі вони, як правило, зводяться до побудови одного дерева класифікації за даними фіксованої навчальної вибірки (НВ). Зазначимо, що в літературі дуже мало алгоритмів побудови ЛДК для НВ великого об'єму. Зрозуміло, що це має під собою об'єктивні фактори, пов'язані з особливостями генерації таких складних структур, методиками роботи з ними та зберігання [4]. Навіть використовуючи інструментарій Java або C#, необхідно забезпечити реалізацію спеціальних структур даних для роботи з логічними деревами, а готові бібліотеки (LightGBM, XGBoost) хоча і близькі ідейно (схема логічного дерева), але не дають змоги реалізувати концепцію алгоритмічного дерева класифікації, яке складається з набору вершин – різнотипних автономних алгоритмів кла-

сифікації. Проте основним недоліком у питанні побудови ЛДК є відсутність алгоритмів та методів, котрі би дали змогу одноманітно описувати різні алгоритми розпізнавання образів у вигляді ЛДК.

Можливість представлення функції розпізнавання у вигляді логічного дерева має великі переваги порівняно з іншим представленням схем класифікації [5]. Зауважимо, що алгоритми генерації дерев класифікації за даними НВ доповнюють методологію підходу розгалуженого вибору ознак та дають змогу будувати прості та ефективні правила класифікації дискретних об'єктів [6].

У цій роботі зупинимось на описі алгоритму побудови ЛДК для НВ великого об'єму та покажемо шлях щодо можливості одноманітного опису одного фіксованого класу ЛДК.

**Постановка завдання.** Розглянемо принципові моменти задачі розпізнавання. Нехай задана

множина  $M$  об'єктів  $w$  та на ній є розбиття  $R$  на кінцеве число підмножин (класів, образів)  $\Omega_i$  ( $i = 1, \dots, m$ ),  $M = \bigcup_{i=1}^m \Omega_i$ . Припустимо, що розбиття  $M$  визначено неповністю. Задана тільки деяка інформація  $I$  про класи  $\Omega_i$ . Об'єкти  $w$  задаються значеннями деяких ознак  $x_j$ ,  $j = 1, \dots, n$  (цей набір один і той самий для всіх об'єктів, тобто однакова розмірність об'єктів). Деяку скінчено – значна функція  $f_R(w)$ , яка задає розбиття  $R$ , задана на множині об'єктів  $M$  та дає на виході номер класу  $i$ , будемо називати функцією розпізнавання (ФР). Зауважимо, що кожен образ (клас) характеризується певною спільністю деяких властивостей його елементів (об'єктів), а елементи з різних образів не мають цієї спільності. Загальна задача розпізнавання полягає в тому, щоби для довільного об'єкта  $w$  встановити його належність певному класу (образу). Множини  $\Omega_i$  також називаються компонентами розбиття множини  $M$ .

Сукупність значень ознак  $x_j$ , визначає опис (інформацію)  $I(w)$  об'єкта  $w$ . Кожна з ознак може приймати значення з різних множин допустимих значень ознак. Опис об'єкта  $I(w) = (x_1(w), \dots, x_n(w))$  будемо називати стандартним, якщо  $x_j(w)$  приймає значення лише із множини допустимих значень.

Задача розпізнавання із стандартною інформацією полягає в тому, щоб для фіксованого об'єкта  $w$  та набору класів  $\Omega_1, \dots, \Omega_m$  за допомогою навчальної інформації  $I(\Omega_1, \dots, \Omega_m)$  та опису  $I(w)$  розрахувати значення деяких предикатів  $P_i(w), (w \in \Omega_i; i = 1, \dots, m)$ .

Одним із можливих варіантів початкового завдання навчальної інформації є табличне представлення навчальної вибірки  $T_{N,M}$  (набір об'єктів відомої класифікації). Очевидно, що тут об'єкти  $w_1, \dots, w_{r_1}$  належать класу  $|_1$ , а об'єкти  $w_{r_1+1}, \dots, w_{r_2}$  належать класу  $|_2$  та об'єкти  $w_{r_2+1}, \dots, w_{r_m}$  – класу  $|_m$ .

Нехай  $\epsilon$  розбиття  $R$  та деяка система розпізнавання  $Q$ . Як система  $Q$  може бути людина або програмно-апаратна система (система операцій або логічних елементів). Задача розпізнавання образів буде зводитися до навчання системи  $Q$  обчислювати функцію  $f_R(x)$ . Тобто система має реагувати в разі подачі на вхід деякого сигналу  $w$  сигналом  $f_R(x)$  (фактичним номером класу належності). Основною інформацією при навчанні системи  $Q$  є значення функції  $f_R(x)$  в деяких точках  $n$  – мірного простору (розмірністю в кількість ознак об'єктів множини  $M$ ). Останнє означає, що під час навчання системи  $Q$  їй подаються пари сигналів  $((x_i, f_R(x_i)))$ . На основі цієї

інформації (апріорної інформації) система  $Q$  будує схему обчислення  $f_R(x)$ .

Резюмуючи все вищесказане, приходимо до таких положень:

1) задача розпізнавання образів зводиться до того, щоб навчити систему  $Q$  обраховувати деяку функцію  $f_R(x)$ , яка визначена на множині  $M$  та приймає скінчену кількість значень. Функція  $f_R(x)$  задає однозначне розбиття  $R$ . Причому дві функції  $f_R(x)$  та  $h_R(x)$  будуть вважатись однаковими, якщо вони представляють одне і те саме розбиття;

2) базовий момент у розпізнаванні образів – навчання (фактична обробка великих масивів інформації). У процесі навчання система  $Q$  приймає послідовність навчальних пар  $(x_1, f_R(x_1)), (x_2, f_R(x_2)), \dots$  та на основі цієї інформації будує схему обчислення  $f_R(x)$  або її наближення;

3) на етапі навчання системи виникають такі питання, як економія пам'яті системи  $Q$ , швидкодія навчання системи  $Q$ , побудова такої схеми для обчислення  $f_R(x)$ , щоб вона була за деякими важливими параметрами оптимальною (об'єм пам'яті, швидкодія, надійність).

**Питання синтезу логічних дерев класифікації.** У цій роботі ставиться задача дослідження та розробки таких методів розпізнавання, які би давали змогу у процесі навчання побудувати за можливості просту деревоподібну схему розпізнавання (схему у вигляді ЛДК), яка забезпечує необхідну ефективність та складність системи  $Q$ . Основні переваги алгоритмів представлення схем розпізнавання у вигляді ЛДК полягають у такому:

1) метод побудови ЛДК не потребує одночасного запам'ятовування всіх даних НВ: можливе поетапне введення даних (по векторах) і навіть окремих значень ознак об'єктів. Після введення вектор (об'єкт, який подається на вхід системі) використовується для побудови ЛДК і в подальшому в пам'яті комп'ютера не зберігається. Таке введення інформації та специфіка алгоритму значно економлять пам'ять машини і дають змогу розв'язувати задачі розпізнавання з НВ великої потужності (об'єму);

2) алгоритм забезпечує безпомилкову класифікацію НВ у разі початкової відмінності між об'єктами різних класів;

3) робота алгоритму не залежить від кількості образів (класів) у НВ. Зокрема, алгоритм можна застосовувати за наявності в НВ тільки одного образу. Відсутність такої можливості в деяких випадках представляє собою негативний фактор;

4) кількість помилок, що допускаються ЛДК на фіксованій НВ, не збільшується, якщо зростає об'єм НВ. Ця вимога дозволяє визначити збіжність цього алгоритму;

5) алгоритм включає в себе просту схему донавчання та усунення знайдених помилок розпізнавання;

6) алгоритм дає змогу сформулювати підхід, що дозволяє одноманітно описувати доволі широкий клас алгоритмів у вигляді ЛДР.

Опишемо цей алгоритм. Нехай НВ задана у вигляді матриці:

$$\begin{matrix} x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,n} \\ \dots \\ x_{m,1}, x_{m,2}, \dots, x_{m,n} \\ \dots \\ x_{m+1,1}, x_{m+1,2}, \dots, x_{m+1,n} \\ \dots \\ x_{k,1}, x_{k,2}, \dots, x_{k,n} \end{matrix} \quad (1)$$

$\{x_{i,j}\}$  – значення  $j$ -вої ознаки  $i$ -го об'єкта НВ, ( $i = 1, \dots, k; j = 1, \dots, n$ ). Для спрощення викладання вважаємо, що  $x_{i,j} \in \{0, 1\}$ ,  $m$  – рядків НВ характеризує клас  $|_1$ , а інші –  $|_2$ .

Побудуємо за НВ вигляду (1) ЛДК. У першу вершину логічного дерева ставимо ознаку  $x_1$  і від неї будуємо повний шлях, який відповідає набору  $x_{1,1}, x_{1,2}, \dots, x_{1,n}$ , тобто з вершини з ознакою  $x_j$  виходить стрілка, що входить у вершину з ознакою  $x_{j+1}$  (номер стрілки залежить від значення, яке приймає  $x_{1,j}$ , в кінцевій вершині ставимо значення  $f_R$  (функції розпізнавання).

Для наступного об'єкта  $w_2 = (x_{2,1}, \dots, x_{2,n})$  при  $w_1 \uparrow w_2$  ЛДК змінюється таким чином: при  $x_{2,j} \uparrow x_{1,j}$  з вершини з ознакою  $x_j$  проводимо другу стрілку, яка відповідає значенню  $x_{2,j}$  (для зручності стрілки з номером 0 розташовуємо з лівої сторони, а 1 – з правої), та наприкінці стрілки ставимо вершину з ознакою  $x_{j+1}$ . Наступним кроком із цієї вершини проводимо стрілку, відповідну значенню ознаки  $x_{j+1}$  і так далі. Зрозуміло, що в кінцеву вершину ставимо значення  $f_R(w_2)$  – (рис. 1).

Аналогічним чином, добудовуємо ЛДК для всіх інших наборів (1). Якщо на одному ЛДК зустрічаються два або кілька однакових наборів із різних класів (різних значень функції розпізнавання), то кількість значень функції  $f_R$  (відповідних цим наборам) фіксуємо в кінцевій вершині і остаточно записуємо те значення функції  $f_R$ , для якої кількість наборів буде максимальною.

Якщо кількість значень функції  $f_R$  однакове в деякій кінцевій вершині, то перевагу віддаємо образу, потужність якого менше. Після цього ЛДК за НВ будемо вважати закінченим.

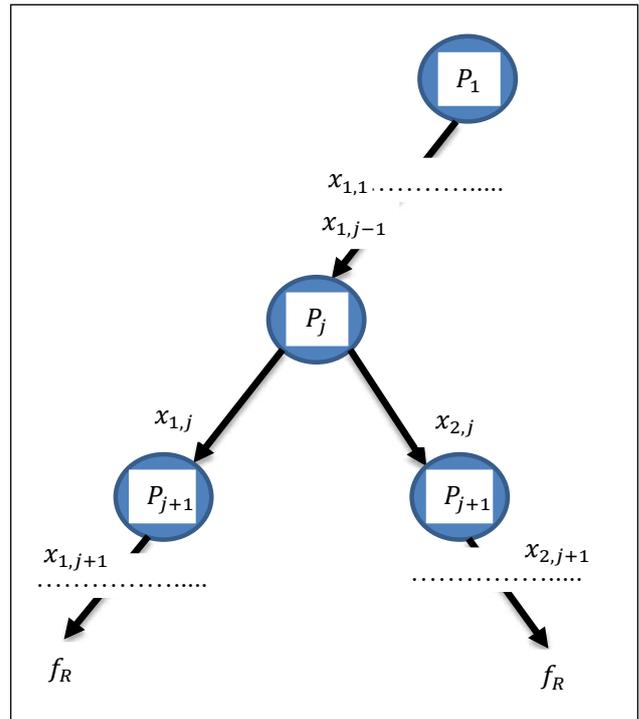


Рис. 1 Загальна схема побудови ЛДК

Задача розпізнавання образів полягає в тому, щоби побудоване ЛДК класифікувало всі набори ТВ, які не входять у НВ (зауважимо, що набори об'єктів НВ, логічне дерево розпізнає без помилок завдяки їх фіксації у структурі самого дерева).

Після побудови ЛДК за цим алгоритмом будемо мати таку структуру, де не з усіх вершин виходять дві стрілки. Це дає змогу провести просту мінімізацію: якщо з вершини виходить одна стрілка, то її разом із стрілкою видаляємо зі структури ЛДК. Мінімізоване таким чином ЛДК позначимо через ЛДК\*.

**Властивості логічних дерев класифікації.**

Зазначимо такі загальні властивості ЛДК:

1) складність (під складністю дерева розуміємо загальну кількість вершин у ЛДК [7]) ЛДК\* – менше ніж складність початкового ЛДК (під час мінімізації відбувається відсів найменш важливої інформації);

2) ЛДК\*, як і початкове ЛДК, безпомилково класифікує об'єкти НВ та забезпечує екстраполяцію наборів ТВ, котрі не зустрічались у масиві початкових даних НВ.

Кожному набору  $\Delta$  з ТВ відповідає своя  $f_R(\tau_\Delta), \Delta \in (0, 1, \dots, n)$ , кінцевої вершини на ЛДК, що визначає приналежність цього набору до того чи іншого класу.

Зрозуміло, що різні алгоритми дають різні результати на цій ТВ – можлива ситуація, коли фіксований об'єкт буде зарахований до різних

образів. Причина цього полягає в тому, що задача розпізнавання не має єдиного розв'язку і кожен з алгоритмів дає свій розв'язок.

Розглянемо якість розв'язку задачі РО на простому прикладі. Нехай маємо справу з НВ, яка представлена в (набл. 1) об'ємом 5 наборів. Значення  $f_R(P_1, P_2, P_3)$  вказує на приналежність наборів НВ до того чи іншого класу. Потрібно знайти функцію  $f_R^*(P_1, P_2, P_3)$ , яка забезпечить апроксимацію  $f_R(P_1, P_2, P_3)$ . Очевидно, що є 8 таких різних функцій. Якщо  $P_j \in \{0, 1\}, j = 1, \dots, n$ ,  $n$  – кількість ознак,  $m$  – кількість наборів НВ, то кількість різних розв'язків, які не входять до наборів НВ, дорівнює  $L = 2^{2^n - m}$ . Якщо  $P_j \in \{0, 1, \dots, k - 1\}$ , то  $L = k^{2^n - m}$ .

Таблиця 1

Таблична форма не повністю визначеної

$$f(P_1, P_2, P_3)$$

Номер набору	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$f_R(P_1, P_2, P_3)$
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	1
4	0	1	1	1
5	1	0	0	1
6	1	0	1	?
7	1	1	0	?
8	1	1	1	?

Зазначимо, що якщо задано  $m$  різних наборів НВ, то кількість помилок не може бути більше ніж  $2^n - (m - 1)$ . Таким чином, лише за даними НВ не можна зробити висновок, який алгоритм класифікації дає кращий результат для фіксованої задачі розпізнавання. У зв'язку з вищесказаним не можна класифікувати алгоритми РО лише за вузькою специфікою області застосування. З огляду на цей факт кожен метод розпізнавання має включати механізм (алгоритм), котрий усуває знайдені помилки, та забезпечувати необхідну гнучкість щодо області застосування.

**Схема донавчання та виправлення помилок класифікації.** Запропонуємо схему простого та ефективного алгоритму донавчання та виправлення помилок (алгоритм ДВП) у ЛДК. Нехай маємо деяке ЛДК\*, яке побудоване на основі фіксованої НВ (розмірність об'єктів якої –  $n$  ознакам). Нехай на деякому наборі –  $\tau = (x_{i,1}, \dots, x_{i,n})$  відбувається помилка. Тоді результуюче ЛДК будемо міняти таким чином. У кінцеву вершину, що знаходиться на шляху  $(x_{i,1}, \dots, x_{i,n})$ , ставимо одну з цих ознак та добудовуємо ЛДК так, щоби гілка цих ознак відповідала шляху, в кінцеву вер-

шину котрого ставимо номер класу, відповідний набору  $(x_{i,1}, \dots, x_{i,n})$ .

Для вершин ЛДК з однією стрілкою на шляху  $(x_{i,1}, \dots, x_{i,n})$  додаємо стрілки, яких бракує, та наприкінці їх записуємо те значення  $f_R(\tau)$ , котре було в кінцевій вершині до виявлення помилки. Зрозуміло, що в разі такого виправлення помилок кількість вершин результуючого ЛДК дещо збільшується, але всі набори НВ розпізнаються безпомилково (на наборі  $(x_{i,1}, \dots, x_{i,n})$  помилок не відбувається).

Розглянемо простий приклад застосування описаного алгоритму. Нехай НВ задана у вигляді наборів об'єктів  $w(P_1, \dots, P_n)$  загальною кількістю  $m = 5$  та розмірністю ознак  $n = 3$  (Табл. 2), а відповідно ТВ (Табл. 3). Побудуємо за даними НВ результуюче ЛДК та перевіримо його роботу (включаючи алгоритм донавчання та виправлення помилок) на ТВ.

Усі етапи побудови результуючого ЛДК за даними НВ показані на рис. 2. Зауважимо, що остаточне мінімізоване ЛДК буде отримано на останньому етапі (етап 7).

Таблиця 2

Таблична форма НВ об'ємом  $m = 5$

Номер набору	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$f_R(P_1, P_2, P_3)$
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	1	1	0
4	1	0	1	1
5	1	1	0	0

Перевіримо роботу ЛДК на ТВ:

- 1) 1-й і 2-й набори ТВ ЛДК розпізнає правильно, бо вони входили (збігалися) в НВ;
- 2) 3-й набір належить до класу 0 (насправді він із класу 1). Після застосування алгоритму донавчання та виправлення помилок ЛДК матиме вигляд, показаний на рис. 2 (етап 7). Таким чином, відбулося донавчання на  $n$ - вому наборі ТВ. Інші набори ТВ ЛДК розпізнає без помилок.

Таблиця 3

Таблична форма ТВ об'ємом  $m = 8$

Номер набору	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$f_R(P_1, P_2, P_3)$
1	0	0	1	0
2	0	1	1	0
3	0	1	0	1
4	0	1	0	1
5	1	0	0	1
6	1	1	1	0
7	1	0	0	1
8	1	1	1	0

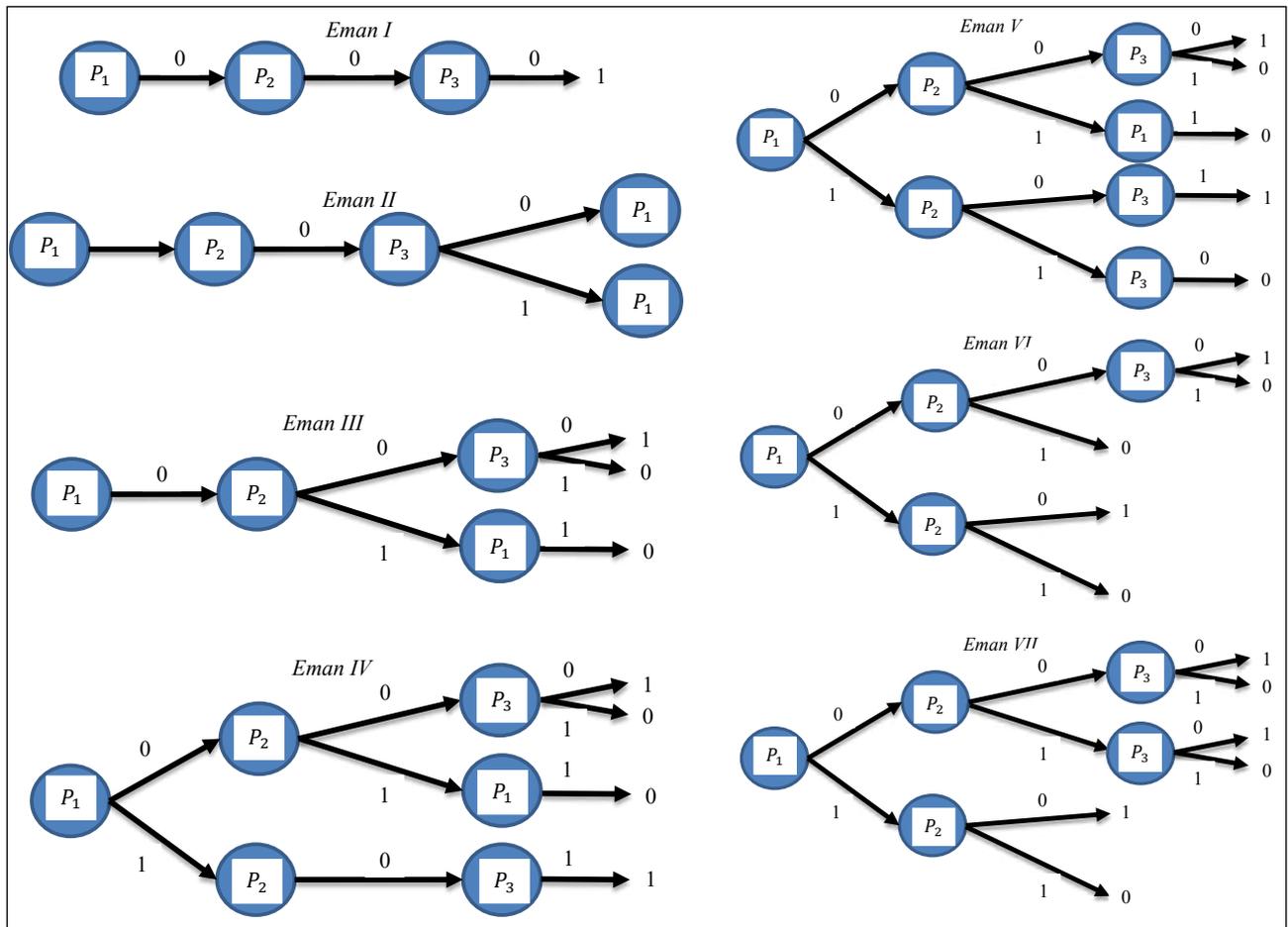


Рис. 2. Всі етапи побудови результуючого ЛДК за даними НВ

Таблиця 4

Порівняльна таблиця алгоритмів

АЛГОРИТМ		ЗАДАЧА		
		№ 1	№ 2	№ 3
№ 1	Лінійна розв'язуюча функція «Кульбаба»	64	64	55
№ 2	Нелінійна розв'язуюча функція «Едельвейс»	76	68	55
№ 3	Алгоритм «Кора-3» (алгоритм М. Вайнцвайга та М. Бонгарда)	32	68	65
№ 4	Алгоритм «Тест-2»	72	65	70
№ 5	Алгоритм «Ентропія-1»	73	64	72
№ 6	Алгоритм «Ентропія-2»	56	56	25
№ 7	Алгоритм «Ентропія-3»	56	76	15
№ 8	Алгоритм «Голотип»	44	52	50
№ 9	Алгоритм на основі потенціальних функцій (для тесту взята реалізація ПК «Оріон III»)	44	60	50
№ 10	Алгоритм «Геолог-1»	72	36	55
№ 11	Алгоритм «Південь»	76	68	55
№ 12	Алгоритм РВО з покроковою оцінкою важливості ознак (модифікація алгоритму Ю. Василенка)	56	68	70
№ 13	Алгоритм побудови повного ЛДК	74	70	65
№ 14	Запропонований вище алгоритм ДВП у ЛДК	74	80	72

Очевидно, що за допомогою цього алгоритму при розв'язуванні практичних задач розпізнавання не завжди досягаються прийнятні результати. Цей

алгоритм можна звести до вигляду, що дає змогу описувати доволі широкий клас методів розпізнавання у вигляді ЛДК. Зауважимо, що ознаки у

процесі побудови ЛДК вибиралися послідовно та впорядковано – один за одним. Якщо відмовитися від цієї умови та вибрати ознаки в процесі побудови ЛДК довільним чином (наприклад, за допомогою програмного генератора псевдовипадкових чисел), то в результаті щоразу у процесі застосування цього алгоритму буде виходити інше за структурою ЛДК. Зауважимо, що вибір того чи іншого ЛДК у процесі розв'язування практичних задач може бути різноманітний.

**Висновки.** Результати застосування описаного вище алгоритму та порівняння його ефективності щодо інших алгоритмів на реальних задачах за масивами даних геології, геохімії та геофізики відображені (для простоти візьмемо добре відомі

прикладні з [8]) в табл. 4. Для кожного з 14 алгоритмів (на кожній із трьох задач) наведена кількість правильних відповідей (в %), одержаних на відповідних НВ.

Зауважимо, що для порівняльної таблиці частини алгоритмічних реалізацій була взята з програмного комплексу «Оріон III» [2] – наприклад, алгоритм потенціальних функцій та алгоритм розгалуженого вибору ознак із покровою оцінкою їх важливості [3]. Зважаючи на отримані дані щодо проценту успішної класифікації, можна зробити висновок про доволі високу ефективність у цьому плані алгоритму ДВП логічного дерева (не враховується інформаційна ємність логічного дерева та швидкодія результуючої схеми класифікації).

#### Список літератури:

1. Повхан І.Ф. Метод розгалуженого вибору ознак в математичному конструюванні багаторівневих систем розпізнавання образів. Науково-технічний журнал «Штучний Інтелект». 2003. № 7. С. 246–249.
2. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю. Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі метода розгалуженого вибору ознак. Науково-технічний журнал «European Journal of Enterprise Technologies». 2004. № 7[1]. С. 13–15.
3. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А. Групова та індивідуальна оцінка важливості бульових аргументів. Вісник національного технічного університету «ХПІ». 2011. № 53. С. 57–64.
4. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. 2008. P.768
5. Повхан І.Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об'єктів. Вчені записки Таврійського національного університету. 2018. Серія: Технічні науки. 2018. Том 29(68). № 6. С. 217–222.
6. Василенко Ю.А. Логико-алгебраический подход к обработке обучающей выборке. Научный вестник УжДШЕП. 1997. № 1. С. 4–10.
7. Povhan I. Designing of recognition system of discrete objects. IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP), Lviv, 2016, Ukraine, P. 226–231.
8. Воронин Ю.А. Геология и математика. Новосибирск, 1970. С. 223.

#### Povhan I.F., Laver V.O. THE ALGORITHMS FOR CONSTRUCTING A LOGICAL TREE OF CLASSIFICATION IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS

*The work is devoted to the important issue of the theory of recognition – algorithms for constructing a logical tree of classification. A simple, effective, economical method of constructing a logical classification tree of the training sample allows you to provide the necessary speed, the level of complexity of the recognition scheme, which guarantees a simple and complete recognition of discrete objects. The resulting classification rule (scheme), which is constructed by an arbitrary method or algorithm of branched feature selection (logical tree method), has a tree-like logical structure. The logical tree consists of vertices (features), which are grouped in tiers and obtained at a certain step (stage) of building the recognition tree. In contrast to the existing methods, the main feature of tree recognition systems is that the importance of individual features (groups of features or algorithms) is determined relative to the function that defines the division of objects into classes, and the numerical value of importance characterizes the error of dividing objects into classes. Therefore, in the methods and algorithms of recognition based on logical classification trees, it is necessary to repeat such a choice of vertices (features, arguments, algorithms – in the case of an algorithmic tree) until the required level of quality of recognition of discrete objects is obtained.*

*The main existing methods of processing training samples in the construction of recognition functions do not allow to achieve the desired level of accuracy of the recognition system and adjust their complexity in the process of designing these systems. This drawback is absent in the methods of construction of recognition systems based on the methods of classification trees. At the same time, a feature of the logical tree method is the possibility of complex use for solving each specific problem of constructing a recognition scheme for many well-known algorithms (methods) of recognition. The paper considers tree-like recognition schemes.*

**Key words:** recognition of discrete objects, logical classification trees, detection, training sample, error correction algorithm.

**Приходько Н.В.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Кудін О.О.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТРУДОМІСТКОСТІ РОЗРОБКИ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ СУДЕН НА ОСНОВІ ДВОВИМІРНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЖОНСОНА

*У статті вперше побудовано негаусівську ймовірнісну модель для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден на основі щільності двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ . Це нормалізуюче перетворення враховує кореляцію між випадковими змінними двовимірного негаусівського вектору трудомісткості робіт. Використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  дає змогу врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних та провести кращу нормалізацію емпіричних даних порівняно з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів. Завдяки використанню двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  можна зменшити ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, що дає змогу підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки конструкторської документації суден.*

*У статті вдосконалено рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ , що дає змогу підвищити достовірність оцінювання вибіркової середньої трудомісткості робіт залежно від маси секцій корпусів суден порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.*

*У статті також удосконалено рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації корпусів секцій суден на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ , що дає змогу зменшити ширину зазначеного інтервалу порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними перетвореннями.*

**Ключові слова:** негаусівська ймовірнісна модель, інтервал передбачення, довірчий інтервал, нелінійна регресія, двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона, конструкторська документація судна.

**Постановка проблеми.** У процесі управління часом проектів розробки конструкторської документації (КД) суден трапляються випадки перевищення фактичної трудомісткості робіт щодо планової трудомісткості. Наприклад, під час оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусу контейнеровозу було отримано значення планової трудомісткості проекту 2281 година, а фактична трудомісткість становила 2981 годину. Це свідчить про низьку достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден під час використання методів і математичних моделей оцінювання такої трудомісткості. Тому виникає необхідність у побудові математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден, які дадуть змогу підвищити достовірність оцінювання тру-

домісткості робіт у процесі управління часом проектів розробки КД суден.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На практиці для оцінювання трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден використовують в основному два методи – експертний метод і метод оцінювання за трьома точками [1].

Експертний метод оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден заснований на власному досвіді менеджера проектів. Цей метод не завжди дає змогу отримати оцінки трудомісткості робіт із високою достовірністю через суб'єктивність експертних суджень менеджера проектів.

У процесі оцінювання трудомісткості робіт за трьома точками у проектах розробки КД суден використовується математична модель методу

PERT (Program Evaluation and Review Technique) [2]. Основою математичної моделі цього методу є  $\beta$ -розподіл. Але реальний розподіл трудомісткості робіт у проектах розробки КД суден, як правило, є негаусівським і не завжди може бути описаний  $\beta$ -розподілом [3].

У деяких суднобудівних проектно-конструкторських бюро (СПКБ) з метою оцінювання трудомісткості робіт проектів розробки КД суден побудовані емпіричні діаграми залежності трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден від маси цих секцій. Маючи дані про трудомісткість робіт із розробки КД секцій корпусів суден і маси цих секцій, можна побудувати нелінійні рівняння регресії трудомісткості робіт, в яких маса секцій є фактором, а трудомісткість робіт є залежною змінною, а також довірчі інтервали і інтервали передбачення цієї регресії [4].

У процесі побудови нелінійних регресійних рівнянь для двовимірних негаусівських даних (наприклад, COCOMO, ISBSG) використовуються нормалізуючі перетворення на основ десяткового логарифму [5; 6] або нормалізуючі перетворення Джонсона [7]. Але ці рівняння побудовані на основі одновимірних нормалізуючих перетворень і не враховують кореляцію між випадковими величинами [8].

Якщо у процесі побудови рівняння нелінійної регресії для двовимірних негаусівських даних використовувати двовимірні нормалізуючі перетворення, враховуючи кореляцію між випадковими величинами, то можна підвищити достовірність оцінювання трудомісткості робіт шляхом зменшення ширини довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії [4].

**Постановка завдання.** Ціллю статті є підвищення достовірності оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден шляхом побудови математичних моделей для оцінювання трудомісткості робіт при управлінні часом проектів розробки КД суден на основі двовимірних нормалізуючих перетворень. Задля досягнення цілі необхідно вирішити такі задачі.

1) побудувати негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден;

2) удосконалити рівняння нелінійної регресії та границь її довірчих інтервалів на основі двовимірного нормалізуючого перетворення;

3) удосконалити рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

У процесі побудови рівняння нелінійної регресії для двовимірних негаусівських даних на першому етапі виконують перетворення двовимірного негаусівського вектора  $\mathbf{P} = \{Y, X\}^T$  на двовимірний гаусівський вектор  $\mathbf{T} = \{Z_Y, Z_X\}^T$  за допомогою нормалізуючого перетворення

$$\mathbf{T} = \Psi(\mathbf{P}), \quad (1)$$

Використовуючи формули, наведені в [8], на другому етапі будують рівняння лінійної регресії для гаусівського вектора  $\mathbf{T}$ , а також довірчі інтервали й інтервали передбачення лінійної регресії. На третьому етапі виконують побудову рівняння нелінійної регресії, її довірчих інтервалів і інтервалів передбачення, використовуючи зворотне перетворення для (1) [1]:

$$\mathbf{P} = \Psi^{-1}(\mathbf{T}), \quad (2)$$

Для перетворення двовимірного негаусівського вектора  $\mathbf{P}$  на двовимірний гаусівський вектор  $\mathbf{T}$  у роботі [1] використано двовимірне нормалізуюче перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ . Вибір перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  зумовлений тим, що більшість двовимірних векторів трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден можна нормалізувати перетворенням Джонсона сімейства  $S_B$ , яке в загальному вигляді представляється як:

$$\mathbf{T} = \gamma + \eta \mathbf{h}[\lambda^{-1}(\mathbf{P} - \phi)] \sim N_m(0_m, \mathbf{S}), \quad (3)$$

де  $\gamma, \eta, \phi, \lambda$  – параметри перетворення Джонсона;  $\gamma = (\gamma_Y, \gamma_X)^T$ ;  $\eta = \text{diag}(\eta_Y, \eta_X)$ ;  $\phi = (\phi_Y, \phi_X)^T$ ;  $\lambda = \text{diag}(\lambda_Y, \lambda_X)$ ;  $\mathbf{h}[(g_Y, g_X)] = \{h_1(g_Y), h_2(g_X)\}^T$ , а  $h_i(g)$  – функція перетворення:

$$h_i(g) = \ln[g/(1-g)];$$

$\mathbf{S}$  – коваріаційна матриця

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_{Z_X}^2 & S_{Z_X Z_Y} \\ S_{Z_X Z_Y} & S_{Z_Y}^2 \end{pmatrix}.$$

В (3)  $g = (x - \phi)/\lambda$ , де  $x$  може бути або значеннями фактору  $X$ , або значеннями залежної змінної  $Y$ .

Оцінювання вектору параметрів виконується за методом максимальної правдоподібності:

$$\hat{\theta} = \arg \max_{\theta} l_B(\theta),$$

де  $\theta = \{\gamma, \eta, \phi, \lambda\}$  – вектор параметрів перетворення Джонсона;  $l_B(\theta)$  – логарифмічна функція максимальної правдоподібності. Ця функція отримана на основі щільності двовимірного розподілу Джонсона сімейства  $S_B$ :

$$f_B(Y, X) = \frac{\eta_X \eta_Y \lambda_X \lambda_Y}{2\pi (X - \phi_X)(Y - \phi_Y)(\lambda_X + \phi_X - X)(\lambda_Y + \phi_Y - Y) \sqrt{1 - S_{Z_X Z_Y}^2}} \times \exp\left(-\frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{1 - S_{Z_X Z_Y}^2} [Z_X^2 + Z_Y^2 - 2S_{Z_X Z_Y} Z_X Z_Y] \right\}\right), \quad (4)$$

Щільність двовимірного розподілу Джонсона сімейства  $S_B$  є ймовірнісною моделлю трудо-

місткості робіт із розробки КД суден з урахуванням кореляції між фактором і залежною змінною.

На основі (4) побудована логарифмічна функція максимальної правдоподібності:

$$l_B(\theta) = n \ln \eta_X + n \ln \eta_Y + n \ln \lambda_X + n \ln \lambda_Y - n \ln 2\pi - \sum_{i=1}^n \ln(x_i - \varphi_X) - \sum_{i=1}^n \ln(y_i - \varphi_Y) - \sum_{i=1}^n \ln(\lambda_X + \varphi_X - x_i) - \sum_{i=1}^n \ln(\lambda_Y + \varphi_Y - y_i) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \ln(1 - S_{Z_X Z_Y}^2) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{1 - S_{Z_X Z_Y}^2} [Z_{X_i}^2 + Z_{Y_i}^2 - 2S_{Z_X Z_Y} Z_{X_i} Z_{Y_i}] \right\}, \quad (5)$$

На другому етапі після нормалізації даних виконується побудова рівняння лінійної регресії, яке можна представити у вигляді:

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_X, \quad (6)$$

де  $\hat{Z}_Y$  – результат передбачення лінійної регресії для  $Z_X$ ;  $\hat{b}_0, \hat{b}_1$  – оцінки для параметрів лінійної регресії  $b_0, b_1$ .

На основі рівняння лінійної регресії (6) і двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  отримано рівняння нелінійної регресії для трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден залежно від маси цих секцій:

$$Y = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left[ 1 + e^{-(\hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y) / \hat{\eta}_Y} \right]^{-1}, \quad (7)$$

На третьому етапі можна отримати рівняння границь довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, які будуються на основі рівняння [6] і перетворення (2).

Для двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  рівняння границь довірчих інтервалів нелінійної регресії має вигляд:

$$Y_{ДІ} = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left\{ 1 + \exp \left[ - \left( \hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y \pm t_{\alpha/2, N-2} S_{Z_Y} \sqrt{1 + \frac{(Z_{X_i} - \bar{Z}_X)^2}{S_{Z_X Z_X}}} \right) / \hat{\eta}_Y \right] \right\}^{-1}, \quad (8)$$

де  $t_{\alpha/2, N-2}$  – квантиль  $t$ -розподілу Стюдента з рівнем значимості  $\alpha/2$  і  $N - 2$  ступенями свободи

$$\hat{Z}_Y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 Z_X; \quad S_{Z_Y}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\hat{Z}_{Y_i} - \bar{Z}_Y)^2;$$

$$\bar{Z}_Y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \hat{Z}_{Y_i}; \quad S_{Z_X Z_X} = \sum_{i=1}^N (Z_{X_i} - \bar{Z}_X)^2.$$

Рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії будуються на основі рівняння [6] і перетворення (2).

Для двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  рівняння границь інтервалів передбачення нелінійної регресії має вигляд:

$$Y_{ІІ} = \hat{\varphi}_Y + \hat{\lambda}_Y \left\{ 1 + \exp \left[ - \left( \hat{Z}_Y - \hat{\gamma}_Y \pm t_{\alpha/2, N-2} S_{Z_Y} \sqrt{1 + \frac{(Z_{X_i} - \bar{Z}_X)^2}{S_{Z_X Z_X}}} \right) / \hat{\eta}_Y \right] \right\}^{-1}, \quad (9)$$

*Приклад побудови рівняння нелінійної регресії та її довірчих інтервалів і інтервалів передбачення.* У процесі побудови рівняння нелінійної регресії для оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД секцій корпусів суден на основі дво-

вимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  використано дані з табл. 1.

Побудову нелінійної регресії здійснено за методом, запропонованим у роботі [9] та пов'язаним із послідовним видаленням викидів емпіричних даних із застосуванням квадрату відстані Махаланобіса та інтервалів передбачення нелінійної регресії. У результаті використання цього методу після видалення двовимірних викидів у двовимірному векторі залишилося 30 рядків при нормалізації на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ , 35 рядків при нормалізації на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  та 51 рядок при нормалізації на основі десяткового логарифму.

Результати побудови рівняння нелінійної регресії, довірчих інтервалів та інтервалів передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  наведено на рис. 1.

Оцінки параметрів перетворення Джонсона здійснено методом максимальної правдоподібності з використанням логарифмічної функції максимальної правдоподібності (5). У результаті нормалізації отримані такі значення параметрів двовимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ :

$$\hat{\gamma}_X = 0,2651; \quad \hat{\eta}_X = 0,7792; \quad \hat{\varphi}_X = 6,209; \quad \hat{\lambda}_X = 230,728; \\ \hat{\gamma}_Y = 0,0446; \quad \hat{\eta}_Y = 0,3808; \quad \hat{\varphi}_Y = 30,9; \quad \lambda_Y = 48,2$$

Оцінки параметрів лінійної регресії для нормалізованих даних за цим перетворенням знайдено за методом найменших квадратів:

$$\hat{b}_0 = 0; \quad \hat{b}_1 = 0,5055.$$

На рис. 1 по осі абсцис відкладено масу секцій корпусів суден (тонни), а по осі ординат – трудомісткість робіт із розробки КД цих секцій (години). Точками позначено емпіричні дані. Суцільною лінією позначено нелінійну регресію. Довгим пунктиром позначено верхню і нижню границі інтервалів передбачення нелінійної регресії. Коротким пунктиром позначено верхню і нижню границі інтервалів передбачення нелінійної регресії.

Отримані результати було порівняно з результатами рівнянь нелінійної регресії, довірчих інтервалів і інтервалів передбачення нелінійної регресії, побудованих на основі одновимірних нормалізуючих перетворень Джонсона сімейства  $S_B$  та десяткового логарифму відповідно (рис. 2 та 3). Всі позначки на рис. 2 та 3 ідентичні позначкам на рис. 1.

У процесі порівняння інтервалів передбачення нелінійної регресії трудомісткості робіт

Вхідні емпіричні дані для побудови нелінійної регресії

Маса секцій (т)	Тривалість робіт (години)	Маса секцій (т)	Тривалість робіт (години)	Маса секцій (т)	Тривалість робіт (години)
6,15	20	64,58	49	144,78	124
13,08	34	67,24	65	145,69	112
24,83	31	86,64	98	148,06	84
33,97	16	90,32	21	159,06	103
34,15	24	90,43	50	163,5	36
35,07	69	91,25	64	164,27	71
37,07	17	95,31	44	166,01	121
37,14	17	96,54	48	168,53	52
37,15	12	98,35	55	168,68	82
37,22	18	101,06	44	174,14	53
37,25	13	102,35	53	179,03	17
37,65	12	103,14	58	180,14	95
39,81	31	105,19	42	180,94	111
44,15	26	107,37	93	187,88	79
44,36	34	110,69	107	196,15	62
52,39	74	112,36	43	206,16	79
53,91	48	125,43	78	216,81	30
61,13	54	140,51	70	217,82	38

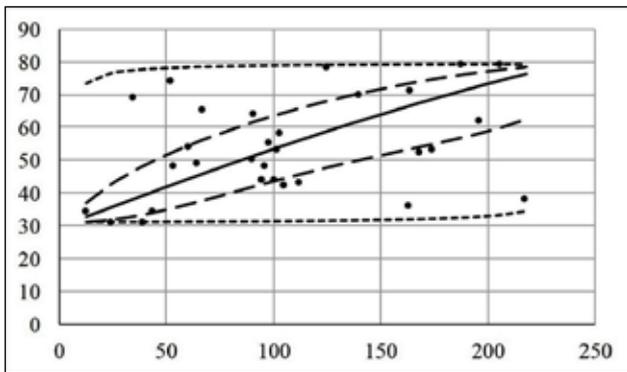


Рис. 1. Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$

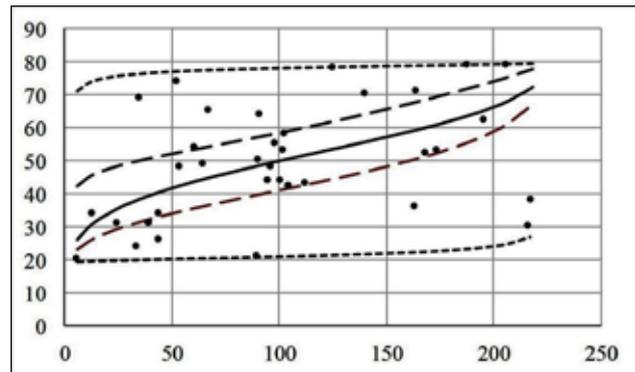
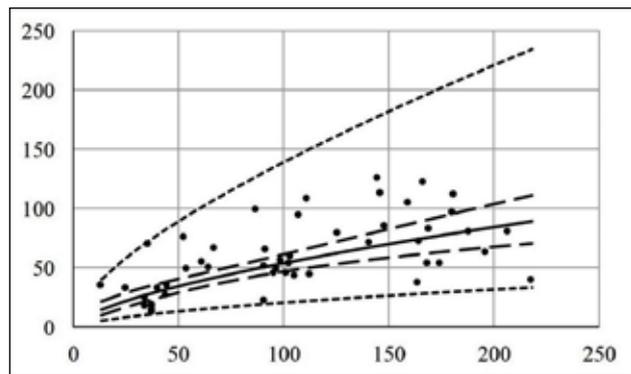


Рис. 2. Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$

із розробки КД секцій корпусів суден отримані такі результати (рис. 1–3). Найменша ширина інтервалу передбачення нелінійної регресії є у разі використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  (рис. 1). На початку нелінійної регресії ширина інтервалів передбачення, побудованих на основі двовимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ , менше на 17,79% щодо ширини інтервалів передбачення, побудованих на основі одновимірного перетворення Джонсона сімейства  $S_B$ , в середині нелінійної регресії – менше на 16,82%, наприкінці нелінійної регресії – менше на 14,72%. Приблизно такі самі результати отримано для ширин довірчих інтервалів регресії. Нелінійна регресія на основі двовимірного перетворення Джон-

сона сімейства  $S_B$  виявилась кращою порівняно з моделями на основі одновимірних перетворень також за середньою величиною відносної похибки MMRE і процентом передбачених значень  $Pred(0,25)$ . Для двовимірного перетворення Джонсона  $MMRE = 0,2266$  і  $Pred(0,25) = 0,6667$ . Для одновимірного перетворення Джонсона  $MMRE = 0,3028$  і  $Pred(0,25) = 0,6571$ . Для перетворення на основі десятичного логарифму  $MMRE = 0,4016$ ;  $Pred(0,25) = 0,4118$ .

У разі використання двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  при побудові рівнянь нелінійної регресії та границь її довірчих інтервалів і інтервалів передбачення враховується кореляція між двовимірними емпіричними даними, що дає змогу отримати менші ширини



**Рис. 3. Нелінійна регресія трудомісткості робіт із розробки КД суден на основі одновимірного перетворення з використанням десятичного логарифму**

довірчих інтервалів і інтервалів передбачення порівняно з одновимірним нормалізуючим перетворенням Джонсона сімейства  $S_B$  та нормалізуючим перетворенням на основі десятичного логарифму і підвищити завдяки цьому достовірність оцінювання трудомісткості робіт із розробки КД суден.

**Висновки.** Уперше побудовано негаусівську ймовірнісну модель трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації секцій корпусів суден та маси цих секцій на основі щільності

двовимірного розподілу Джонсона сімейства  $S_B$ , яка дає змогу не тільки врахувати реальний характер розподілу двовимірних емпіричних даних, а в подальшому провести кращу нормалізацію емпіричних даних порівняно з наявними моделями, побудованими на основі щільностей одновимірних розподілів.

Удосконалено рівняння нелінійної регресії та границь її довірчого інтервалу на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації суден, що дає змогу підвищити достовірність оцінювання вибіркового середнього трудомісткості робіт залежно від маси секцій порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

Удосконалено рівняння границь інтервалу передбачення нелінійної регресії на основі двовимірного нормалізуючого перетворення Джонсона сімейства  $S_B$  для оцінювання трудомісткості робіт із розробки конструкторської документації суден, що дає змогу зменшити ширину зазначеного інтервалу порівняно з відповідними рівняннями, що отримані за одновимірними нормалізуючими перетвореннями.

#### Список літератури:

1. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®) Шестое издание, 2004. Project Management Institute, Four Campus Boulevard, Newtown Square, PA 19073-3299 USA/США.
2. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками : Монография. Воронеж : «Научная книга», 2010. 284 с.
3. Приходько С.Б., Кудин О.А. Модели и методы управления временем в проектах разработки конструкторской документации судна. *Збірник наукових праць НУК*. Миколаїв : НУК, 2011. № 1 (436). С. 149–154.
4. Prykhodko S.B., Prykhodko N.V., Makarova L.M., Kudin O.O., Smykodub T.G. Constructing non-linear regression equations on the basis of bivariate normalizing transformations. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. Херсон : ХНТУ, 2017. Вип. 3(62). Т. 1. С. 333–337.
5. Oigny S, Bourque P, Abran A., Fournier B. Exploring the relation between effort and duration in software engineering projects. *In proc. of the World Computer Congress*, Aug. 2000. P. 175–178.
6. Bates D.M., Watts D.G. Nonlinear regression analysis and its applications. Wiley, 1988. 384 p.
7. Johnson R.A., Wichern D.W. Applied multivariate statistical analysis. Pearson Prentice Hall, 2007. 800 p.
8. Гур'янова Л.С., Клебанова Т.С., Сергієнко О.А., Прокопович С.В. Економетрика : навчальний посібник. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. 384 с.
9. Приходько С.Б., Приходько Н.В. Метод покращення нелінійних регресійних моделей на основі багатовимірних нормалізуючих перетворень *Прикладні науково-технічні дослідження* : матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., Івано-Франківськ, 3–5 квітня 2019 р. Івано-Франківськ : Сімфонія Форте, 2019. С. 20.

#### **Prykhodko N.V., Kudin O.O. MATHEMATICAL MODELS TO ESTIMATE EFFORTS OF THE DEVELOPMENT OF SHIP DESIGN DOCUMENTATION ON THE BASIS OF THE JONSON BEVARIATE NORMALIZING TRANSFORMATION**

*The important problem of increase of confidence of estimating the efforts of the ship design documentation development is solved. The scientific novelty of obtained results is that a non-Gaussian probabilistic model and the non-linear regression equation for estimating the efforts of the ship design documentation development on the basis of the Johnson bivariate probability density function and the Johnson bivariate normalizing transformation of  $S_B$  family are firstly built.*

*Also the equation for borders of the confidence and prediction intervals of the non-linear regression for estimating the efforts of the ship design documentation development on the basis of the Johnson bivariate probability density function and the Johnson bivariate normalizing transformation of  $S_B$  family are developed.*

*The widths of the confidence and prediction intervals of this non-linear regression based on the Johnson multivariate transformation are less for more data rows than for linear regression and non-linear regressions following the univariate transformations, both decimal logarithm and the Johnson. Also the values of the mean magnitude of relative error and of percentage of prediction are better for non-linear regression equation on the basis of the Johnson multivariate transformation in comparison with all previous equations, both linear and non-linear, based on univariate transformations. This may be explained best bivariate normalization by the Johnson bivariate normalizing transformation of  $S_B$  family.*

*The Johnson bivariate normalizing transformation of  $S_B$  family takes into account the correlation between the random variables of the bivariate non-Gaussian vector of the efforts of the ship design documentation development. Using the Johnson bivariate normalizing transformation of the  $S_B$  family allows taking into account the real distribution of empirical bivariate data. The Johnson bivariate normalizing transformation of the  $S_B$  family allows taking into account to reduce the confidence and prediction intervals of the non-linear regression compared to the Johnson univariate normalizing transformation of the  $S_B$  family and the univariate normalizing transformation based on the decimal logarithm.*

**Key words:** *non-Gaussian probabilistic model, prediction interval, confidence interval, non-linear regression, Johnson bivariate normalizing transformation, ship design documentation.*

**Путренко В.В.**

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

**Пашинська Н.М.**

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## РЕГІОНАЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ СТАНУ РОСЛИННОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

*У статті викладено методуку дослідження змін вегетаційного покриву за сукупністю показників, які оцінюють вегетацію з використанням методів просторового інтелектуального аналізу даних. Використання результатів дистанційного зондування Землі для розрахунку вегетаційних індексів, які характеризують динаміку зміни стану рослинного покриву, надає дані для сумісного аналізу і детекції трендів у зміні кліматичних умов та стану рослинності з використанням методів просторової кластеризації. Для розрахунків були використані дані європейської програми Copernicus. У результаті було розроблено модель сумісної обробки даних вегетаційних індексів із застосуванням підходу сумісної обробки даних різної природи. Під час обробки даних використовується геоінформаційна технологія зонування, яка дає змогу обрахувати статистичні показники для окремих адміністративних одиниць – районів та міст обласного підпорядкування. Це дає змогу в подальшому використовувати результати аналізу для прийняття управлінських рішень. На наступному кроці було застосовано аналіз кластеризації гарячих-холодних точок, що дало змогу отримати статистично значущі кластери зміни річної динаміки стану вегетаційного покриву. Проведено аналіз і розроблено методуку регіонального моніторингу стану рослинного покриву на основі сумісного використання різних характеристик вегетаційних індексів та методуку просторової кластеризації. Розроблена методика може використовуватися для виявлення просторово-часових трендів у зміні стану вегетації, що може бути враховано в умовах регіональних змін клімату та ведення сільського господарства. Застосування методів просторової кластеризації дає змогу отримати математично обґрунтовані оцінки на регіональному рівні, для яких можуть обраховуватися статистичні значення величини вегетаційних індексів.*

**Ключові слова:** *вегетаційний індекс, рослинний покрив, ГС, просторовий інтелектуальний аналіз даних, кластеризація.*

**Постановка проблеми.** Сучасні космічні системи розвиваються швидкими темпами в напрямі удосконалення знімального обладнання, зростання його роздільної здатності, урізноманітнення знімальних технологій, розширення спектральних можливостей, часового та просторового охоплення території. Найбільшими постачальниками даних ДЗЗ у вільному доступі є геологічна служба США та Європейське космічне агентство, яке протягом останніх років значно зміцнило групування космічних супутників ДЗЗ та розгорнуло програму Copernicus, в межах якої надаються безплатні дані космічної зйомки та похідні тематичні продукти, що можуть використовуватися під час аналізу стану рослинного покриву, кліматичних змін та забезпеченості водними ресурсами [1–3].

Copernicus є європейською системою для моніторингу Землі [4]. Дані зібрані з різних джерел,

зокрема супутників спостереження Землі та датчиків на місці. Дані обробляються і забезпечують достовірну та актуальну інформацію в шести тематичних областях: земний покрив, морські акваторії, атмосфера, зміна клімату, управління в надзвичайних ситуаціях та безпека.

Глобальний сервіс земного покриття є складовою частиною сервісу земного покриву Copernicus, який забезпечує низку біогеофізичних продуктів про стан і еволюцію земної поверхні у глобальному масштабі із середнім та низьким просторовим розрізненням. Продукція використовується для моніторингу рослинності, водного циклу і енергетичного балансу.

У зв'язку з цим постає актуальне питання використання тематичних продуктів програми Copernicus для вивчення динаміки регіональних кліматичних змін та природних загроз на основі

вивчення динамічної та структурної складової частини оцінок стану рослинного покриву для території України. Ці продукти отримуються на основі використання супутникових даних системи Proba-V. [Copernicus Global Land Service, 2017].

Дослідження довготривалих трендів у зміні стану вегетації дає змогу дійти висновків про регіональні та локальні флуктуації зміни клімату та прогнозні розрахунки щодо адаптації сільського господарства.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробка і дослідження вегетаційних індексів як основи для прогнозування врожайності і умов ведення сільського господарства були розпочаті в 70-ті рр. минулого століття. Бурхливий розвиток цієї тематики пов'язаний із розвитком дистанційного зондування Землі та появою великої кількості даних різного ступеня обробки. Дослідженню зв'язків між врожайністю та вегетаційними індексами присвячені роботи Boken et al., 2002, Bolton et al., 2013, проведенню інструментальних наземних досліджень із метою оцінки вегетаційних індексів – роботи Broge et al., 2002; Beckschäfer et al., 2014; Canisius et al., 2010. Визначення трендів із використанням вегетаційних індексів розглянуто в роботах Martinez-Casasnovas et al., 2005, Cicek et al., 2010, Pettorelli et al., 2005. У вітчизняних дослідженнях опрацювання даних вегетаційних індексів щодо сільського господарства розглянуто в таких працях: Кохан, 2011; Лялько та ін., 2006; Мозговой та ін., 2009; Станкевич та ін., 2011. Використання вегетаційних індексів як показника пожежної небезпеки рослинного покриву в умовах кліматичних змін розглянуто у таких роботах: Путренко та ін., 2017, Pashynska et al., 2016. Таким чином, дослідження вказаної проблематики залишається одним із перспективних напрямів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення методів змін вегетаційного покриву за сукупністю показників, що оцінюють вегетацію. Завданнями дослідження є визначення перемінних, які характеризують вегетацію, збір даних для проведення дослідження, розробка методики сумісної оцінки показників вегетації, кластеризація усереднених значень за адміністративними одиницями за методом «гарячих точок».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Сервіси земного покриву Copernicus дають змогу провести багатостороннє дослідження змін сезонної вегетації із використанням низки вегетаційних індексів. До найбільш значущих індексів можна зарахувати індекси NDVI, LAI, VPI, VCI.

NDVI – нормалізований відносний індекс рослинності – простий кількісний показник кількості фотосинтетично активної біомаси (зазвичай має назву «вегетаційний індекс»). Це один із найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, що застосовують кількісні оцінки рослинного покриву.

Обчислюється за такою формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

де NIR – відображення в ближній інфрачервоній області спектра, RED – відображення в червоній області спектра.

Відповідно до цієї формули, щільність рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в червоному і інфрачервоному діапазоні, поділеній на суму їхніх інтенсивностей.

Низькі значення NDVI вказують на поганий стан рослинного покриву, що може бути спричинено посухою і, відповідно, може призвести до підвищеної пожежної небезпеки. У цьому разі важливо зберігати відповідний масштаб та роздільну здатність даних, які мають бути більш узагальненими, ніж у разі звичайного сільськогосподарського моніторингу.

LAI (Leaf Area Index) – Індекс листової площі, який визначається як половина загальної площі зелених елементів купола на одиницю горизонтальної ділянки. Значення, отримане із супутника, відповідає загальному зеленому LAI всіх шарів пологу лісу, в тому числі підліску, які можуть становити дуже важливий внесок для лісів. Практично LAI вимірює товщину рослинного покриву. LAI визнається однією з найважливіших кліматичних змінних (ECV) у рамках Глобальної системи спостережень за кліматом (GCOS).

VPI (Vegetation Productivity Index) – Індекс продуктивності рослинності – оцінює загальний стан рослинності шляхом посилення на поточне значення NDVI порівняно з довгостроковою статистикою за той самий період. VPI є процентиллю ранжування поточного значення NDVI порівняно зі своїм історичним діапазоном мінливості: значення 0%, 50% і 100% відповідно свідчать, що поточне спостереження співвідноситься з історичним мінімумом (найгірший стан рослинності), медіаною (нормальний) або максимумом (найкраща ситуація), що коли-небудь спостерігалися.

VCI (Vegetation Condition Index) – Індекс стану рослинності – порівнює поточний NDVI в діапазоні значень, які спостерігалися в той самий

період у попередні роки. VCI виражається у відсотках і дає уявлення про те, де спостережуване значення знаходиться між крайніми значеннями (мінімум і максимум) у попередні роки. Нижчі і вищі значення вказують, відповідно, на погані і гарні умови вегетаційного стану.

Основними методологічними засадами розробки динамічних моделей є визначення усереднених показників за певний час спостережень, щодо яких відбувається аналіз. Чим більшою буде низка спостережень, тим якіснішими можуть бути отримані результати. З іншої сторони, довший ряд спостережень дає змогу спрогнозувати глобальні та регіональні тренди з високим ступенем вірогідності. Сукупність індексів оцінки вегетації не дає змоги вибрати оптимальний показник, який мав би найбільшу кореляцію з регіональними змінами клімату. Тому вибір оптимальних показників залишається складною науковою задачею. Проте підхід до сумісного аналізу даних різної природи може допомогти у вирішенні цього завдання. З цією метою необхідно вирішити базові завдання зонування, нормалізації, зважування та сумісної обробки отриманих рядів статистичних даних.

Для розрахунку інтегрального індексу за показниками вегетаційних індексів пропонується формула, яка дає змогу поєднати усі різниці міжсезонної зміни індексів для визначання регіональних трендів:

$$I = \frac{\sum_{t=1}^n (NDVI_t - NDVI_{t-1}) / N \sum_{t=1}^n (LAI_t - LAI_{t-1}) / L \sum_{t=1}^n (VCI_t - VCI_{t-1}) \sum_{t=1}^n (VPI_t - VPI_{t-1})}{n}$$

де  $I$  – інтегральний індекс;  $N$  – кількість продуктів, які беруть участь у розрахунку;  $N$ ,  $L$ ,  $C$ ,  $P$  – кількість результатів класифікації знімків за індексами.

Для проведення експериментальних розрахунків були використані дані вегетаційних індексів за червень 2017 – червень 2018 рр. для південно-східної території України, яка водночас є регіоном високо розвинутого землеробства з високим експортним потенціалом, а також значною частиною розташована в зоні ризикованого землеробства.

Загальний процес геоінформаційної обробки даних у середовищі ArcGIS 10.4 включає завантаження відповідних індексів із порталу, маскування території з використанням кордону України, обчислення попіксельної різниці між даними за різний період. На наступному етапі отримуємо зональну статистику для кожної адміністративної одиниці окремо. Дані в такому вигляді простіше нормалізуються та можуть бути використані безпосеред-

ньо у процесі підтримки прийняття рішень місцевими органами влади.

Розрахунок інтегрального індексу демонструє наявність виражених регіональних змін, які прослідковуються навіть для річної динаміки даних. Чітко видно, що показники вегетаційних індексів для сходу країни погіршилися, тоді як для півдня та центральної частини України вони дещо покращилися.

З метою перевірки гіпотези регіоналізації було використано метод гарячих точок, який дає змогу визначити просторові кластери стійких позитивних або негативних змін.

Ключова ідея полягає в тому, що значення в середині нормального розподілу становлять очікуваний результат. Коли абсолютне значення  $z$ -оцінки є великим, а ймовірності є маленькими (у хвостах нормального розподілу), спостерігається незвичний розподіл. Для методу «Аналіз гарячих точок» це означає статистично істотну «гарячу» або «холодну» точку (Ord et al., 1995).

Метод «гарячі точки» розраховує статистичний показник для кожної події в наборі даних. Підсумкові  $p$ -значення (ймовірності) та  $z$ -оцінки (стандартні відхилення) говорять про те, в якій області простору кластеризуються події з високими або низькими значеннями [6]. Метод працює шляхом аналізу кожної події в контексті сусідніх за географією подій. Щоб бути статистично суттєвою гарячою точкою, подія повинна мати високе значення і бути оточена іншими подіями з також високими значеннями. Локальна сума для події та її сусідів порівнюється пропорційно із сумою всіх подій; якщо локальна сума відрізняється від очікуваної локальної суми і ця відмінність є занадто великою, щоб бути результатом випадкового процесу, отримується статистично значуща  $z$ -оцінка.

Метод «гарячих точок» використовує формули:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{i,j} x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{i,j}}{S \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{i,j}^2 - \left( \sum_{j=1}^n w_{i,j} \right)^2}{n-1}}}, \quad \bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2}$$

де  $x_j$  – атрибутивне значення для подій  $j$ ,  $w_{i,j}$  – просторова вага між подіями  $i$  та  $j$ ,  $n$  – загальна кількість подій,  $\bar{X}$  – середнє арифметичне значень подій,  $S$  – дисперсія.

Статистична величина  $G^*$  для кожної події в наборі даних є  $z$ -оцінкою. Щодо статистично значущих позитивних  $z$ -оцінок, чим вищою є  $z$ -оцінка,

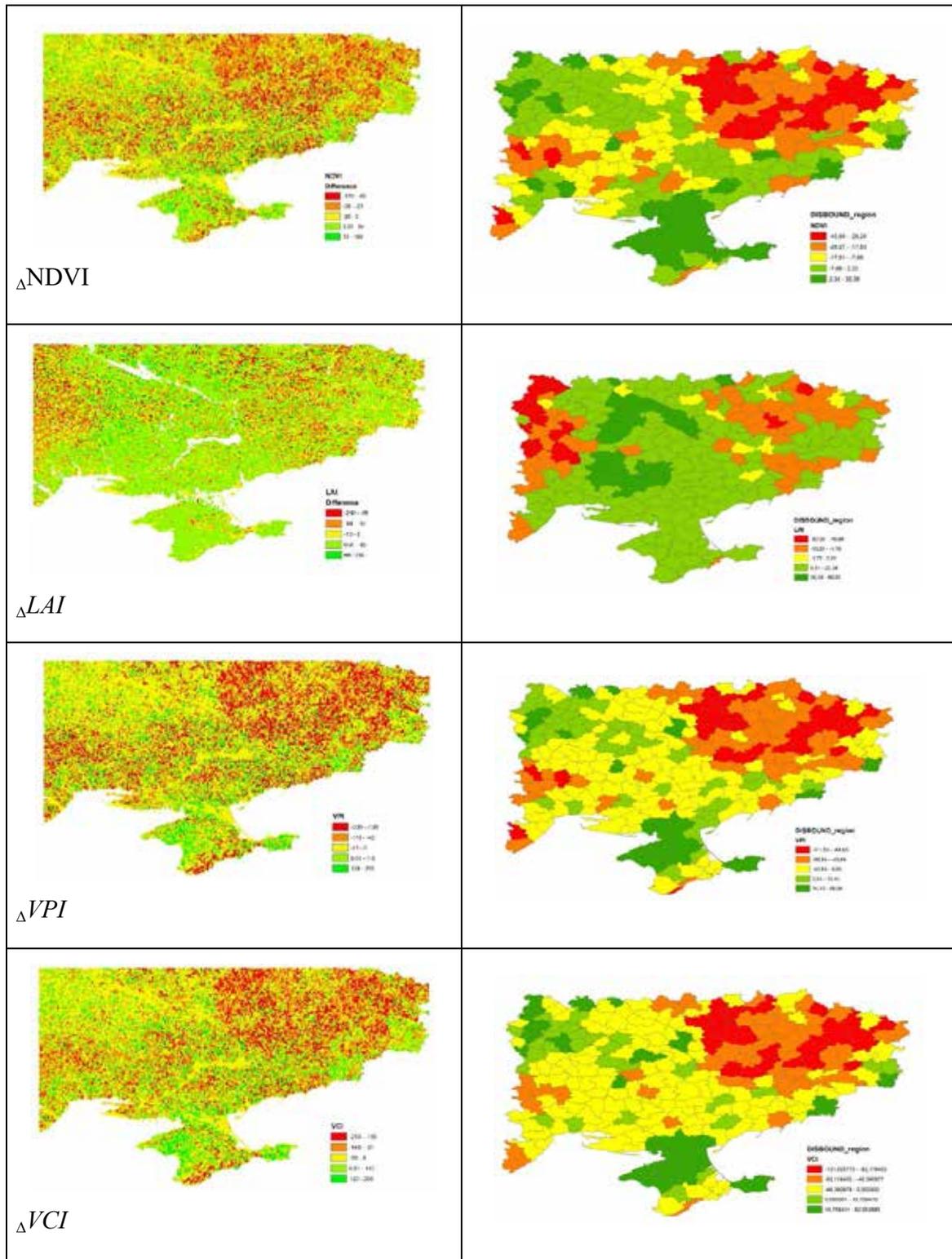


Рис. 1. Розподіл значень різниці вегетаційних індексів та усереднена зональна статистика за адміністративними районами

тим інтенсивнішою є кластеризація високих значень (гаряча точка). Щодо статистично значущих негативних z-оцінок, чим меншою є z-оцінка, тим інтенсивнішою є кластеризація низьких значень (холодна точка). На виході отримуємо новий набір

даних про події із z-оцінкою, p-значенням і рівнем достовірності  $G_i\_Bin$  для кожної події у вхідному масиві.

Використання методу «гарячих точок» дало змогу отримати статистично значущі просторові

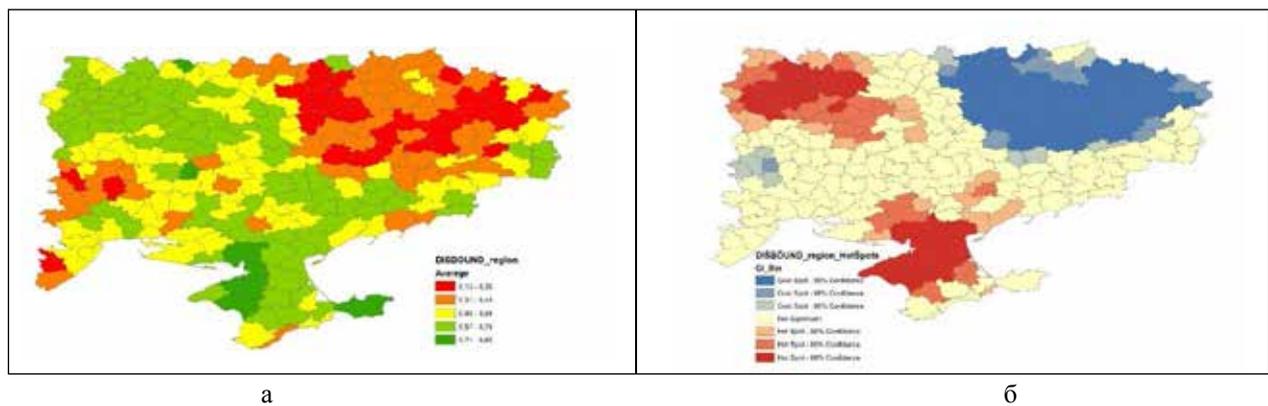


Рис. 2. Розподіл результуючого індексу за результатами а) класифікації, б) кластеризації методом «гарячих точок»

кластери високих та низьких значень у розподілі інтегрального індексу вегетації.

Отримані статистичні кластери підтверджують гіпотезу про існування регіональних трендів погіршення вегетації у 2015 р. порівняно з 2014 р. у північно-східній частині України та певне покращення цих показників для Херсонської області та АР Крим, а також Кіровоградської, Черкаської областей.

**Висновки.** Система збору, накопичення та обробки супутникових даних Copernicus надає цінну інформацію про стан вегетації на планеті, яка може бути використана в сільському господарстві, дослідженні клімату та землекористуванні. Вивчення динамічних рядів цих даних дає

змогу визначити довгострокові просторові тренди у зміні кліматичних умов та стану рослинного покриву. Сучасний математичний апарат системного аналізу та інструментарій геоінформаційних систем дають змогу отримати інтегральну оцінку цих просторово-часових трендів із використанням методів сумісного аналізу даних різної природи. Застосування цього підходу до даних про стан вегетації в Україні з використанням чотирьох видів індексів дало змогу визначити значні регіональні диспропорції в динаміці рослинного покриву. Подальші дослідження пов'язані зі збільшенням часових рядів досліджень та території спостереження.

#### Список літератури:

1. Кохан С.С. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур. *Космічна наука і технологія*. 2011. Т. 17. № 5. С. 58–63.
2. Лялько В.І. Особливості прогнозування врожайності зернових культур забагато спектральними даними ДЗЗ / В.І. Лялько, О.І. Сахацький, Г.М. Жолобак. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування*. Київ : Наук. думка, 2006. С. 176–191.
3. Мозговой Д.К. Использование многоспектральных снимков для классификации посевов сельхозкультур / Д.К. Мозговой, О.В. Кравец. *Екологія та ноосферологія*. 2009. Т. 20. № 1–2. С. 54–58
4. Путренко В.В. Застосування інструментарію геоінформаційного моделювання для інтелектуального аналізу даних пожежної небезпеки / В.В. Путренко, Н.М. Пашинська. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2017. № 7 (1229). С. 156–163.
5. Станкевич С. Комплексна обробка багатоспектральних аерокосмічних зображень для виявлення сільськогосподарських угідь / С. Станкевич, А. Васько. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва* : збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. Випуск 2 (22). С. 171–175.
6. Beckschäfer P. Mapping leaf area index in subtropical upland ecosystems using rapideye imagery and the randomforest algorithm / P. Beckschäfer, L. Fehrmann, R.D. Harrison, J. Xu, C. Kleinn. *iForest*. 2014. № 7. P. 1–11.
7. Boken V.K. Improving an operational wheat yield model using phenological phase-based Normalized Difference Vegetation Index / V.K. Boken, C.F. Shaykewich. *International Journal of Remote Sensing*. 2002. № 23. P. 4155–4168.
8. Bolton D.K. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics / D.K. Bolton, M.A. Friedl. *Agric. For. Meteorol.* 2013. № 173. P. 74–84
9. Broge N.H. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density / N.H. Broge, E. Leblanc. *Remote Sens. Environ.* 2001. № 76. P. 156–172.

10. Canisius F. Comparison and evaluation of Medium Resolution Imaging Spectrometer leaf area index products across a range of land use / F. Canisius, R. Fernandes, J. Chen. *Remote Sens. Environ.* 2010. № 114. P. 950–960
11. Cicek H. Using vegetation indices from satellite remote sensing to assess corn and soybean response to controlled tile drainage / H. Cicek, M. Sunohara, G. Wilkes, H. McNairn, F. Pick, E. Topp, D.R. Lapen. *Agric. Water Manage.* 2010. № 98. P. 261–270.
12. Copernicus Global Land Service. URL: <http://land.copernicus.eu/global/products/dmp> (08.10.2017).
13. Getis A. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics / A. Getis, J.K. Ord. *Geographical Analysis.* 1992. № 24(3). P. 189–206
14. Martinez-Casasnovas J.A. Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. *Eur. J. Agron.* 2005. № 23. P. 159–169.
15. Ord J.K. Local Spatial Autocorrelation Statistics: Distributional Issues and an Application / J.K. Ord, A. Getis. *Geographical Analysis.* 1995. № 27(4). P. 286–306.
16. Pashynska N. A decision tree in a classification of fire hazard factors / N. Pashynska, V. Snytyuk, V. Putrenko, A. Musienko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. Vol 5. № 10(83). P. 32–37
17. Pettorelli N. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change / N. Pettorelli, J.O. Vik, A. Mysterud, J.M. Gaillard, C.J. Tucker, N.C. Stenseth. *Trends Ecol. Evol.* 2005. № 20. P. 503–510.

#### **Putrenko V.V., Pashynska N.M. REGIONAL MONITORING OF THE STATE OF VEGETATION BY USING METHODS OF DATA MINING**

*Determination of the method of changes in vegetation cover by a set of indicators that evaluate the vegetation using spatial data mining methods is studied in paper. Using the results of remote sensing of the Earth to calculate vegetation indices that characterize the dynamics of vegetation condition changes provides data for a coherent analysis and trend detection in changing the climatic conditions and vegetation state using spatial clustering methods. The calculations used data from the European Copernicus program. The model of compatible data processing of vegetation indices was developed in the south-eastern part of Ukraine, using the approach of compatible data processing of different nature. During data processing geographic information technology zoning is used, which allows to calculate statistical indicators for certain administrative units - districts and cities of regional subordination. This allows you to further use the results of the analysis to make managerial decisions. The combined analysis provides a more complete picture of the change in vegetation status. The next step was to analyze the clustering of hot-cold points, which allowed to obtain statistically significant clusters of changes in the annual dynamics of the state of vegetation cover. The analysis and the methodology of regional monitoring of the vegetation state on the basis of the joint use of various characteristics of vegetation indices and spatial clusterization techniques have been developed. The developed method can be used to detect spatial-temporal trends in changing the state of vegetation that can be taken into account in conditions of regional climate change and agriculture. The application of spatial clustering methods allows to obtain mathematically grounded estimates both at the regional level and at the levels of individual administrative units, for which the statistical values of vegetation index values can be calculated separately or together.*

**Key words:** *vegetation index, vegetation cover, GIS, spatial data mining, clusterization.*

**Романюков М.Г.**

Одеський національний політехнічний університет

## **ОРДИНАРНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОПЕРАЦІЇ ВПЛИВУ НА МАТРИЦІ ЦІННОСТІ СУБ'ЄКТА В СИСТЕМІ КІБЕРБЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ**

*Аналізуючи поетапно процес розширення сфер застосування захисту інформації в Україні, можна стверджувати, що розширення сфер застосування захисту інформації відбувалось таким чином: від захисту інформації в технічних системах обробки інформації до захисту інформації в автоматизованих системах та комп'ютерних мережах, далі до інформаційної безпеки інформаційних ресурсів та важливих комунікацій, до інформаційної безпеки інформаційних технологій та критичних інфраструктур, далі до кібербезпеки кіберсередовища і в майбутньому до інтелектуальної безпеки інтелектуальних систем та соціально-психологічного захисту в рамках забезпечення національної безпеки. Можна спостерігати постійне вдосконалення засобів, технік і технологій захисту інформації в рамках їх застосування. Проступають контури парадигми забезпечення інтелектуальної безпеки, що включатиме сьгоднішні роботосистеми, штучний інтелект, Інтернет речей тощо. Характерною є важлива особливість розвитку систем інформаційної та кібербезпеки. На кожному з етапів попередні напрацювання не відкидаються, а навпаки, зберігаються і продовжують розвиватись. Засоби захисту протистоять певним загрозам і блокують їх. Якщо видалити ці засоби захисту, рано чи пізно старі загрози відродяться і можуть виникнути нові.*

*Так, виникає гостра необхідність дослідити найбільш вразливі елементи в сучасній структурі кібербезпеки держави, а саме матриці цінності суб'єкта впливу з боку протидіючої сторони, та побудувати ординарну модель впливу з боку протидіючої сторони, метою якої є досягнення як конструктивних, так і деструктивних цілей. Модель впливу будується з урахуванням показників практичного характеру, таких як кількість суб'єктів впливу, кількість впливів, необхідних для досягнення цілі впливів, а також імовірності того, що ці впливи досягнуть своєї мети. Математично модель впливу представляє собою аналітичну залежність між вказаними показниками. Застосування моделі дасть змогу вдосконалити процес планування інформаційних операцій та підвищити ефективність системи забезпечення кібербезпеки держави.*

**Ключові слова:** інформаційна операція, кібербезпека, вразливий елемент, суб'єкт впливу, матриця цінності суб'єкта, математична модель.

**Постановка проблеми.** Стрімкий розвиток кібернетичного простору створив не лише очевидні переваги, але й низку проблем щодо захисту від кібернетичного впливу на військову, технологічну, політичну, інформаційну безпеку, суверенітет держави, а також на індивідуальну та суспільну свідомість. Тому цілком передбачувано виникає необхідність надійного контролю та постійного врегулювання відносин, що виникають у процесі життєдіяльності соціально-кібернетичної системи та невідкладного створення нових засобів забезпечення інформаційної та кібербезпеки [1, с. 16].

Україна разом з іншими країнами світу впевнено розв'язує завдання, що постають у процесі функціонування інформаційних систем та безпечної циркуляції як закритих, так і відкритих даних. Постійно зростаюча активність деструктивного

когнітивного базису – інтернет-шпигунів, хакерів, звичайних користувачів, поєднання методів та інструментів збору інформації з різних джерел (у тому числі й закритих) і, як наслідок, відставання розвитку системи кібербезпеки призводять до активізації кіберзлочинності. Реалізація інформаційної та кібербезпеки в цьому випадку «буде полягати в реалізації функцій захисту інформаційних ресурсів та соціуму від проведення кібернетичних атак та спеціальних інформаційних операцій, що будуть спрямовані як на соціальну, так і на технічну частину соціотехнічної складової частини національної безпеки будь-якої держави» [2, с. 5].

Саме тому необхідною умовою створення безпечного інформаційного суспільства та організації боротьби зі зловмисниками є вирішення завдання з визначення найбільш вразливих елементів у системі кібербезпеки держави, побудувати відпо-

відні моделі впливу з боку протиборчої сторони. Своєчасність і актуальність тематики таких досліджень безсумнівна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасних наукових колах точаться різні дискусії щодо визначення поняття «кібербезпека» та «кібертероризм». Закон України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» від 5 жовтня 2017 р. визначив термінологію, принципи та задачі кібербезпеки: «Кібербезпека – це захищеність життєво важливих інтересів людини і громадянина, суспільства та держави під час використання кіберпростору, за якої забезпечується сталий розвиток інформаційного суспільства та цифрового комунікативного середовища, своєчасне виявлення, запобігання і нейтралізація реальних і потенціальних загроз національній безпеці України в кіберпросторі».

Кіберпростір – середовище (віртуальний простір), яке надає можливості для здійснення комунікацій та/або реалізації суспільних відносин, утворене в результаті функціонування сумісних (з'єднаних) комунікаційних систем та забезпечення електронних комунікацій з використанням мережі Інтернет та/або інших глобальних мереж передачі даних.

У роботах [3, с. 119; 4, с. 133; 5, с. 50; 6, с. 2] проводяться дослідження та обґрунтування нового поняття «кібертероризм». До його змісту входить таке визначення: це застосування методів тероризму (створення в соціальній сфері обстановки страху, неспокою, пригніченості з метою прямого або непрямого впливу на прийняття будь-яких рішень) у кіберпросторі, мотивоване бажання до зміни політичних або ідеологічних змін, з огляду на те, що кібертероризм є транснаціональним і його вплив не залежить від географічного розташування терористів. Однак питання визначення найбільш вразливого елемента в системі кібербезпеки держави, а також побудови моделей впливу на нього з боку протиборчої сторони не вирішувалось.

**Постановка завдання.** Завданням статті є визначити найбільш вразливі елементи в системі кібербезпеки держави та побудувати ординарну модель процесу інформаційної операції впливу на матриці цінності суб'єктів із боку протиборчої сторони, метою якої є досягнення як конструктивних, так і деструктивних цілей, а також проаналізувати поведінку моделі та оцінити результати моделювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З психологічної точки зору, значна частина процесів людського життя відбувається безсвідомо, через настанови, стереотипи, культурні правила,

побутові звички тощо. Це доведено експериментально [7, с. 13]. Тому, враховуючи сприяння зовнішнього середовища до алгоритмічної, операційної поведінки з урахуванням стереотипів, можна стверджувати, що люди легко переходять на автоматичний режим існування.

Так, виникає поняття «криптократія» – «не насильство, не переконання, а алгоритмізація, послідовне скорочення ступенів свободи і непомітне для людини перетворення особистих і групових інтересів у безумовну мотивацію досягнення зовнішніх для нього цілей» [8, с. 18]. Враховуючи вищевикладене, можна дійти висновку, що саме матриця цінностей кожного індивіда виступає суб'єктом впливу з боку зловмисника з метою реалізації (перепрограмування матриці цінностей) як конструктивних, так і деструктивних цілей.

У цьому разі під матрицею цінностей варто розуміти сукупність ціннісних понять (теоретичних, політичних, економічних, соціальних, естетичних, релігійних), які формують світобачення індивіда як особистості та визначають характер його поведінки в тій чи іншій ситуації, формуючи тим самим ядро особистості.

Результатом формування оцінки ймовірності перепрограмування матриці цінностей буде матриця, елементами якої є ймовірності дії окремих сеансів впливу.

Припустимо, що послідовність інформаційних впливів однакового спрямування змінює стан свідомості і підсвідомості суб'єкта пропорційно кількості дій. Нехай таких суб'єктів  $N$ . Через  $k$  позначимо число інформаційних впливів, необхідних для досягнення цілі, а через  $\alpha$  – ймовірність того, що вплив досягне своєї мети. Нехай  $Y(k)$  – кількість суб'єктів (читачів, глядачів, слухачів, співбесідників), які змінили свою точку зору під дією  $k$  передач і почали інакше сприймати той чи інший термін або твердження.

Наша задача полягає в тому, щоб обґрунтувати аналітичну залежність  $Y$  від  $k$ . При цьому допускаємо, що всі дії мають однаково спрямованість і рівні за силою інформаційної дії.

Припустимо, що «у процесі першої інформаційної операції  $Y(1) = \alpha N$  суб'єктів змінить свою точку зору щодо певного терміна, події або персонажа. Тоді залишиться  $N - \alpha N = N(1 - \alpha)$  суб'єктів з особистою (не зміненою) матрицею цінностей. У процесі другої інформаційної операції  $Y(2) = \alpha N(1 - \alpha)$  суб'єктів змінять свою точку зору щодо певного терміна, події або персонажа». Тоді залишиться [9, с. 30]:

$$Y(1) - Y(2) = N(1 - \alpha) - \alpha N(1 - \alpha) = N(1 - \alpha)(1 - \alpha) = N(1 - \alpha)^2, \quad (1)$$

кількість суб'єктів з особистою (не зміненою) матрицею цінностей. У процесі третьої інформаційної операції  $Y(3) = \alpha N(1 - \alpha)^2$  суб'єктів змінять свою точку зору щодо певного терміна, події або персонажа. Тоді залишиться:

$$Y(1) - Y(2) - Y(3) = N(1 - \alpha)^2 - \alpha N(1 - \alpha)^2 = N(1 - \alpha)^2(1 - \alpha) = N(1 - \alpha)^3, \quad (2)$$

кількість суб'єктів з особистою (не зміненою) матрицею цінностей. Міркуючи аналогічно, у процесі  $k$ -ї дії маємо:

$$Y(k) = \alpha N(1 - \alpha)^{k-1}, \quad (3)$$

кількість суб'єктів, які будуть мати змінену матрицю цінностей (змінять свою точку зору щодо певного терміна, події або персонажа). Тоді залишиться:

$$Y(1) - Y(2) - Y(3) - \dots - Y(k) = N(1 - \alpha)^k, \quad (4)$$

суб'єктів з особистою (не зміненою) матрицею цінностей.

Однак у роботі [10, с. 241] вводиться поняття «інформаційна перевага», тобто змога забезпечити такий темп проведення інформаційної операції, який би переважав будь-який можливий темп жертви, що дало б змогу домінувати протягом усього часу її проведення.

З огляду на це визначення, кінцевим результатом, якого прагнучим зловмисник, буде перепрограмування матриці цінностей усіх суб'єктів впливу з можливістю найскорішого завершення інформаційної операції.

Тому першочерговою необхідністю є визначення залежності кількості можливих інформаційних впливів  $k$ , необхідних для досягнення цілі зловмисника від імовірності  $\alpha$  того, що ці впливи досягнуть своєї мети від повного перепрограмування заданої кількості суб'єктів  $N$ , на які здійснюється цей вплив. Нехай  $Y(k) = 1$ , тоді маємо:

$$1 = N(1 - \alpha)^k, \quad (5)$$

$$N^{-1} = (1 - \alpha)^k, \quad (6)$$

Прологаримуємо обидві частини рівності:

$$\lg N^{-1} = k \lg(1 - \alpha), \quad (7)$$

звідки

$$k = -\frac{\lg N}{\lg(1 - \alpha)}, \quad (8)$$

Результати обчислень залежності кількості можливих інформаційних впливів  $k$ , необхідних для досягнення цілі зловмисника від імовірності  $\alpha$  того, що ці впливи досягнуть своєї мети від повного перепрограмування заданої кількості суб'єктів  $N$ , на які здійснюється цей вплив, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Залежності кількості впливів  $k$  від імовірності  $\alpha$  при кількості суб'єктів  $N$

$\alpha$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	0,99
$k$ для $N = 5 \cdot 10^4$	102	30	16	9	5	2
$k$ для $N = 1 \cdot 10^5$	109	32	17	10	5	2
$k$ для $N = 2 \cdot 10^5$	115	34	18	11	5	2
$k$ для $N = 4 \cdot 10^5$	122	36	19	11	6	2
$k$ для $N = 6 \cdot 10^5$	126	37	19	11	6	2
$k$ для $N = 8 \cdot 10^5$	129	38	19	11	6	2
$k$ для $N = 1 \cdot 10^6$	131	39	20	11	6	2

Представимо результати, наведені в табл. 1, у вигляді графічної залежності (рис. 1) імовірності  $\alpha$  того, що впливи зловмисника на матриці цінностей суб'єктів впливу досягнуть своєї мети від повного перепрограмування заданої кількості суб'єктів  $N$ , за різної кількості можливих інформаційних впливів, необхідних для досягнення цілі зловмисника  $k$ .

Аналіз дослідження показує, що за ймовірності того, що інформаційні впливи з боку протиборчої сторони досягнуть своєї мети  $\alpha \leq 0,3$ , зловмисникові необхідно суттєво збільшувати кількість впливів  $k$  зі зростанням кількості охоплюваних суб'єктів (кількості населення) впливу  $N$ . При значеннях імовірності того, що інформаційні впливи з боку протиборчої сторони досягнуть своєї мети  $\alpha \geq 0,7$ , кількість впливів  $k$  зі сторони зловмисника може практично не змінюватись зі зростанням кількості охоплюваних суб'єктів (кількості населення) впливу  $N$ .

Важливим параметром повного перепрограмування суб'єктів впливу є визначення залежності імовірності  $\alpha$  того, що впливи на матрицю цінностей суб'єктів впливу зі сторони зловмисника досягнуть своєї мети, від заданої кількості суб'єктів  $N$ , що охоплені впливом, при різній кількості впливів  $k$ . Проведемо відповідні розрахунки. Прологарифмуємо обидві частини рівності (5) та виконаємо необхідну умову  $Y(k) = 1$ , отже, маємо:

$$\lg(1 - \alpha) = -\frac{\lg N}{k}; \quad 1 - \alpha = 10^{-\frac{\lg N}{k}}, \quad (9)$$

звідки

$$\alpha = 1 - 10^{-\frac{\lg N}{k}}, \quad (10)$$

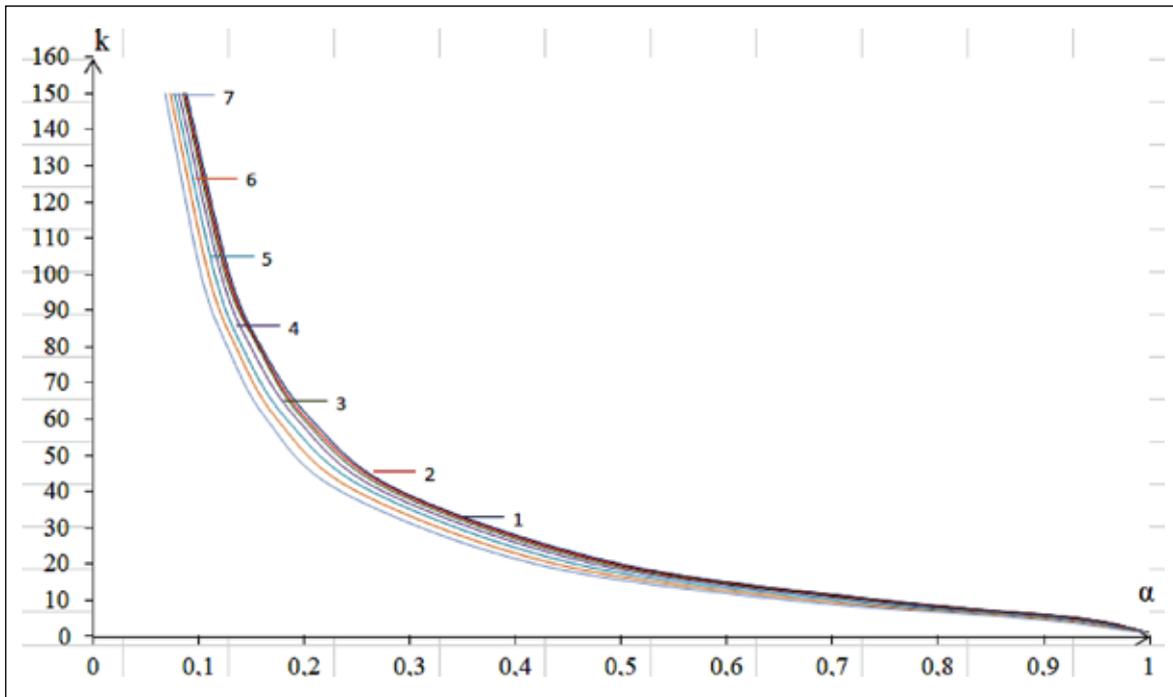


Рис. 1. Графічні залежності кількості впливів  $k$  від імовірності  $\alpha$  при кількості суб'єктів  $N$  (1 –  $N = 1 \cdot 10^6$ ; 2 –  $N = 8 \cdot 10^5$ ; 3 –  $N = 6 \cdot 10^5$ ; 4 –  $N = 4 \cdot 10^5$ ; 5 –  $N = 2 \cdot 10^5$ ; 6 –  $N = 1 \cdot 10^5$ ; 7 –  $N = 5 \cdot 10^4$ )

Таблиця 2

Залежності імовірності  $\alpha$  від заданої кількості суб'єктів  $N$ , що охоплені впливом, при різній кількості впливів  $k$

$N$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^6$
$\alpha$ для $k = 1$	0,999980	0,999990	0,999995	0,999997	0,999998	0,999998	0,999999
$\alpha$ для $k = 5$	0,885	0,900	0,9129	0,924	0,930	0,934	0,937
$\alpha$ для $k = 10$	0,660	0,682	0,705	0,725	0,736	0,743	0,749
$\alpha$ для $k = 20$	0,419	0,438	0,457	0,475	0,486	0,493	0,499
$\alpha$ для $k = 40$	0,235	0,250	0,264	0,275	0,284	0,289	0,292
$\alpha$ для $k = 60$	0,164	0,174	0,183	0,193	0,199	0,202	0,206
$\alpha$ для $k = 80$	0,127	0,135	0,141	0,149	0,156	0,157	0,159
$\alpha$ для $k = 100$	0,102	0,109	0,115	0,121	0,125	0,127	0,129
$\alpha$ для $k = 150$	0,068	0,073	0,077	0,081	0,085	0,086	0,088

Результати обчислень залежності імовірності  $\alpha$  того, що впливи на матрицю цінностей із повним її перепрограмуванням досягнуть своєї мети, від заданої кількості суб'єктів  $N$ , що охоплені впливом, при різній кількості впливів  $k$ , наведені у табл. 2.

Представимо результати наведені у табл. 2 у вигляді графічної залежності (рис. 2) ймовірності  $\alpha$  того, що впливи на матрицю цінностей із повним її перепрограмуванням досягнуть своєї мети від заданої кількості суб'єктів  $N$ , що охоплені впливом, при різній кількості впливів  $k$ .

Аналіз дослідження показує, що для кожного значення кількості суб'єктів перепрограмування  $N$ , метою зловмисника щодо яких є повне перепрограмування матриць цінностей, імовірності  $\alpha$  того, що впливи на матрицю цінностей із повним її перепрограмуванням досягнуть своєї мети, може зменшуватись зі збільшенням кількості впливів  $k$ .

Таким чином, зростання імовірності  $\alpha$  того, що впливи на матрицю цінностей з повним її перепрограмуванням досягнуть своєї мети, зі

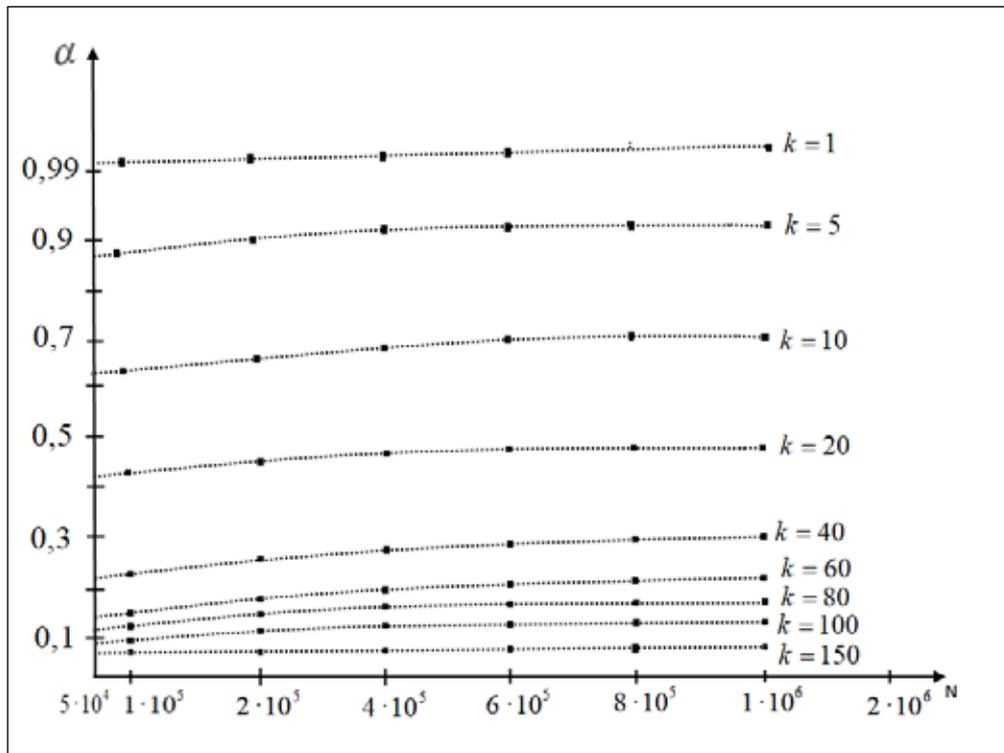


Рис. 2. Графічні залежності імовірності  $\alpha$  від заданої кількості суб'єктів  $N$ , що охоплені впливом, при різній кількості впливів  $k$

зростанням кількості населення (суб'єктів перепрограмування)  $N$  при відповідній кількості впливів  $k$  свідчить про те, що для повного перепрограмування суб'єктів впливу з кількістю  $N$ , зловмисник буде намагатися досягти своєї мети шляхом збільшення імовірності  $\alpha$ , здійснюючи задану кількість впливів  $k$ , а також зі збільшенням кількості суб'єктів впливу збільшувати імовірність їхнього перепрограмування.

Висновки. У цій роботі вирішено важливе нині завдання, що постає перед фахівцями інформаційної безпеки та кібербезпеки. Визначено матрицю цінностей кожного індивіда як найбільш вразливий елемент системи кібербезпеки. Вперше побу-

довано ординарні моделі процесу інформаційної операції впливу на матрицю цінностей із боку протиборчої сторони, з огляду на показники практичного характеру: кількість суб'єктів впливу, кількості впливів, необхідних для досягнення цілі, а також імовірності того, що ці впливи досягнуть своєї мети. Застосування моделі дасть змогу удосконалити процес планування інформаційних операцій та підвищити ефективність системи забезпечення кібербезпеки держави.

Напрямом подальших досліджень є створення методів та засобів оцінки ефективності системи захисту свідомості і підсвідомості суб'єктів від деструктивних інформаційних впливів.

#### Список літератури:

1. Гришук Р.В. Інформаційна та кібернетична безпека: роль та місце в умовах гібридної війни. *Кібербезпека в Україні: правові та організаційні питання* : матеріали всеукр. наук.-практ. конф. Одеса, 21 жовтня 2016 р. Одеса, 2016. С. 16–17.
2. Бурячок В.Л., Толубко В.Б., Хорошко В.О., Толюпа С.В. Інформаційна та кібербезпека: соціотехнічний аспект : підручник. Київ : ДУТ, 2015. 288 с.
3. Гнатюк С.О. Кібертероризм: історія розвитку, сучасні тенденції та контрзаходи. *Безпека інформації*. 2013. Т. 19. № 2. С. 118–129.
4. Харченко В.П., Чеботаренко Ю.Б., Корченко О.Г., Паціра Є.В., Гнатюк С.О. Кібертероризм на авіаційному транспорті. *Проблеми інформатизації та управління*. Збірник наук. пр. НАУ. 2009. № 4 (28). С. 131–140.
5. Довгань О.Д., Хлань В.Г. Кібертероризм як загроза інформаційному суверенітету держави. *Інформаційна безпека людини, суспільства, держави*. 2011. № 3 (7). С. 49–53.

6. Mayssa Zerzri The Threat of Cyber Terrorism and Recommendations for Countermeasures. URL: <https://www.caplmu.de/download/2017/CAPerspectives-Tunisia-2017-04.pdf?m=1510830733&> (дата звернення: 12.07.2019).

7. Аллахвердов В.М. Методологическое путешествие по океану бессознательного к таинственному острову сознания. Санкт-Петербург : Речь, 2003. 368 с.

8. Ларина Е.С. Понимание алгоритмических обществ: гибридный интеллект и его зомби. *Свободная мысль*. 2017. № 5. С. 5–26.

9. Расторгуев С.П., Литвиненко М.В. Информационные операции в сети Интернет. Москва : АНО ЦСОиП, 2014. 128 с.

10. Макаренко С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетевых войнах начала XXI века. Санкт-Петербург : Научно-технологические исследования, 2017. 549 с.

### **Romanyukov M.G. ORDINARY MODEL OF THE PROCESS OF INFORMATION OPERATION OF THE INFLUENCE ON THE MATRIX OF THE SUBJECT VALUE IN THE SYSTEM OF THE UKRAINE'S CIBERDS OF THE STATE**

*Analyzing the phased process of expanding the scope of information protection in Ukraine, it can be argued that the expansion of the scope of protection of information was as follows: from the protection of information in technical information processing systems; to protect information in automated systems and computer networks; further to the information security of information resources and important communications; to the information security of information technologies and critical infrastructures, further to the cyber security of cybernetics and, in the future, to the intellectual security of intellectual systems and socio-psychological protection within the framework of national security. You can observe the constant improvement of the means, techniques and technologies of information protection within the framework of their application. The contours of the next paradigm of providing intellectual security that will include today's robotsystems, artificial intelligence, Internet stuff, and the like. A characteristic feature of the development of information and cyber security systems is characteristic. At each stage, previous work is not discarded, but rather stored and continue to develop. Means of protection confront certain threats and block them. If you remove these security tools sooner or later, the old threats will resurrect and new ones may emerge.*

*Thus, there is an urgent need to investigate the most vulnerable elements in the modern structure of the cyber security of the state, namely the matrix of the value of the subject of influence from the side of the opposing side, and to build an ordinary model of influence from the side of the opposing side, whose purpose is to achieve both constructive and destructive goals. The impact model is based on practical indicators, such as the number of actors of influence, the number of impacts needed to achieve the goal of impacts, and the likelihood that these impacts will achieve their goal. Mathematically, the model of influence is an analytical relationship between the indicated indicators. Application of the model will enable to improve the process of planning of information operations and increase the efficiency of the system of ensuring cybersecurity of the state.*

**Key words:** information operation, cybersecurity, the most vulnerable element, subject of influence of the matrix of the value of the subject, mathematical model.

**Слонов М.Ю.**

Воєнно-дипломатична академія імені Євгенія Березняка

**ФУНКЦІОНАЛЬНО-ВАРТІСНИЙ ПІДХІД ДО СТРУКТУРНОГО  
УДОСКОНАЛЕННЯ СКЛАДНОЇ СИСТЕМИ: НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС**

У статті розглянутий підхід до кількісного оцінювання впливу окремих ланок на процес та результати навчання. Він дає змогу розглянути навчальний процес як складну ієрархічну систему, виявити напрями актуального удосконалення та необхідні чи зайві зв'язки між окремими його ланками. Це допоможе більш свідомо підійти до формулювання вимог щодо побудови такої складної системи, як вищий навчальний заклад. Як рішення пропонується розподіл рівнів функціональної відповідності між окремими ланками за умовою досягнення мети навчального процесу при його мінімальній умовній вартості. Запропоновано та обґрунтовано функціонально-вартісний алгоритм оцінювання відповідності складників навчального процесу вимогам державного замовника на підготовку фахівців. Він базується на передбаченні поліноміальної залежності між умовною вартістю та функціональною відповідністю кожної ланки. Складається система рівнянь, що описує функціональні та вартісні співвідношення між ланками системи. Вирішення системи потребує з'ясування величини емпіричних констант поліноміальних складників, визначення величини заданої ймовірності виконання задач навчання, а також безпосередньо вирішення системи рівнянь із локалізації вартісних екстремумів. Значення емпіричних констант обираються за алгоритмом визначення пріоритету при попарному порівнянні складників матриці суміжності. Задана ймовірність виконання задачі навчання передбачає нормальний закон розподілу щільності ймовірності правильного засвоєння студентами навчального матеріалу. Вирішення системи рівнянь із визначенням вартісних екстремумів здійснене за допомогою метода множників Лагранжа та ітераційних розрахунків. Результати розрахунків підтверджують першочерговість покращення методичного й матеріально-технічного забезпечення кафедр та самостійної підготовки студентів, але за обов'язкової професійної компетентності викладачів, тобто в термінах цієї статті – необхідного рівня їх функціональної відповідності.

**Ключові слова:** навчальний процес, вартісна модель, складна ієрархічна система, функціонально-вартісні розрахунки, функціональна відповідність, апроксимуючі функції.

**Постановка проблеми.** Основні засади функціонування системи вищої освіти у нашій державі загалом та у вищих навчальних закладах силових структур визначено на законодавчому рівні [1; 2]. У відповідній нормативній літературі за якісними показниками викладено вимоги та рекомендації стосовно основних норм, сторін організації та здійснення навчального процесу (НП). Але можуть бути запропоновані і кількісні підходи до оцінювання впливу окремих ланок на процес та результати навчання.

Одним із таких підходів може вважатися розроблення функціонально-вартісного алгоритму (ФВА) навчання студентів у вищих навчальних закладах. Використання такого алгоритму спрямоване не на отримання конкретних, фізично обґрунтованих показників. ФВА сприятиме усвідомленню слабких ланок НП як складної системи, виявленню необхідних чи зайвих зв'язків між окремими ланками, тобто більш свідомо підійти до формулювання вимог щодо побудови

такої складної системи, як вищий навчальний заклад.

Сутність підходу до складання ФВА в цьому випадку наведена нижче. НП у вищих навчальних закладах здійснюється в таких організаційних формах: навчальні заняття (НЗ), самостійна робота студентів (СР), практична підготовка (ПП), контрольні заходи (КЗ). Відповідно, НП як складна система містить чотири послідовних ланки, кожна з яких характеризується своєю функціональною відповідністю  $P_i$  та умовною вартістю  $C_i$ .

Загальну структурну схему такої системи наведено на рис. 1.



**Рис. 1. Структурна схема форм навчально-виховного процесу**

Вважатимемо, що функціональну відповідність ланки відображає ймовірність виконання нею навчального завдання. Умовна вартість ланки визначається заходами із забезпечення повноти,

змісту та рекомендованої послідовності реалізації НП, тобто з виконання освітньо-професійної програми підготовки (ОПП) студента, та відповідністю рівня підготовленості випускника освітньо-кваліфікаційній характеристиці (ОКХ).

Як рішення будемо шукати розподіл рівнів функціональної відповідності між окремими ланками за умовою досягнення мети НП при його мінімальній умовній вартості.

Такий розподіл у разі поліноміальній залежності між умовною вартістю та функціональною відповідністю кожної ланки є рішенням системи рівнянь [3]:

$$\begin{cases} C_{\Sigma}(P_i) = \sum_{i=1}^4 \left( \frac{A_i P_i}{1 - P_i} \right) = \min_{0 \leq P_i \leq 1}, \\ P_{\Sigma} = \prod_{i=1}^4 P_i \geq P_{\text{зад.}} \end{cases} \quad (1)$$

де  $P_{\Sigma}$  – імовірність відповідності випускників вимогам ОКХ;  $C_{\Sigma}$  – умовна вартість виконання (створення, розробки) ОКХ;  $A_i$  – емпірична константа.

Рішення системи (1) означає знаходження екстремуму (мінімуму) її першого рівняння в разі виконання умов щодо  $P_{\Sigma}$  та  $P_i$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У Законі України від 01.07.2014 р. № 1556-VII [1] наведено концептуальні засади функціонування системи вищої освіти в Україні. Специфіку організації НП у вищих навчальних закладах Збройних сил відображено в «Інструкції про організацію освітньої діяльності у вищих військових навчальних закладах Збройних сил України та військових навчальних підрозділах вищих навчальних закладів України» [2].

Загальні питання функціонально-вартісного підходу до аналізу систем висвітлено у роботі «Life Cycle Cost Analysis State-of-the-Practice» [4]. Варіанти його реалізації розглянуто у «Прикладах раціоналізації системи з використанням безпосередньо вартісної моделі» та «Value Analysis Tear-down: a New Process for Product Development and Innovation» [3, с. 68–75; 5, с. 112–127]. Інші підходи до алгоритмізації процесів, що не формалізуються, надані у роботі «Concepts, Theory and Techniques» [6].

Проте алгоритмічно обґрунтованим, у тому числі шляхом функціонально-вартісного підходу, напрямам удосконалення навчального процесу уваги приділено мало.

**Постановка завдання.** Метою статті є алгоритмічне обґрунтування раціональних напрямів удосконалення НП вищих навчальних закладів України за умов обов'язкового виконання вимог ОКХ та ОПП при мінімальних умовних витратах. Саме

така постановка питання з підвищення ефективності НП сприятиме підвищенню *активності, плановості та цілеспрямованості* його проведення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вирішення системи (1) передбачає з'ясування величини емпіричних констант  $A_i$ , визначення величини заданої імовірності виконання задачі  $P_{\Sigma}$ , а також безпосередньо вирішення системи рівнянь із визначенням екстремуму функції  $C_{\Sigma}(P_i)$ .

1. Будемо вважати умовну вартість кожної ланки НП як таку, що визначається суспільними зусиллями на її реалізацію. Для з'ясування оціночної величини імовірності  $P_i$  як параметра функціональної відповідності навчального заняття необхідно забезпечити попереднє розроблення таких об'єктивних впливових на якість заняття чинників:

- адекватної ОКХ випускника навчального закладу;
- ОПП підготовки студентів за відповідними спеціальностями;
- структурно-логічної схеми підготовки фахівців;

– навчального плану, програм навчальних дисциплін, інших керівних документів та відповідних навчально-методичних матеріалів.

Величина  $P_2$  характеризує функціональну відповідність самостійної роботи студента. Об'єктивними впливовими чинниками якості самостійної роботи студента є робоча програма навчальної дисципліни (РПНД), методичні матеріали, завдання та вказівки науково-педагогічного працівника (НПП), рівень матеріально-технічного забезпечення.

$P_3$  – характеристика функціональної відповідності практичної підготовки – забезпечується проведенням практики, стажування, спеціальної гри.

Контрольні заходи є необхідним елементом зворотного зв'язку у структурі НП. У навчальному закладі використовуються такі види контролю: вхідний, поточний, модульний і державна атестація випускників. Саме робота за означеними напрямками забезпечує потрібний рівень функціональної відповідності  $P_4$ .

Зважаючи на категорії виконавців кожної ланки НП, можна стверджувати про різну умовну вартість їхньої функціональної відповідності. Імовірності  $P_1$  можна призначити найбільшу вартість і надати коефіцієнту  $A_1$  значення, наприклад, 50 умовних одиниць. Контрольними заходами можна призначити  $A_2 = 40$  умовних одиниць, практичної спрямованості –  $A_3 = 20$  одиниць, заходами із реалізації самостійної роботи слухача  $A_4 = 10$  одиниць, як такими, що повністю формуються

тільки науково-педагогічним складом профільної кафедри.

Є можливість аналітичного підходу до присвоєння чисельних значень коефіцієнтам  $A_i$ . Прикладом може бути алгоритм визначення пріоритету при попарному порівнянні [6, с. 157–177]. Матриця суміжності складатиметься за горизонталлю та вертикаллю саме з результатів  $A_{ik}$  експертного порівняння  $A_{ik}$  з  $A_{ki}$ :

$$A_{ik} = \begin{cases} 10, & A_{ik} = A_{ki}, \\ 15, & A_{ik} > A_{ki}, \rightarrow A_i = \sum_{k=1}^{k=4} A_{ik}, \\ 5, & A_{ik} < A_{ki}, \end{cases} \quad (2)$$

З'ясування вартості кожного етапу навчання надає змогу визначитися з вимогами до функціональної відповідності, які забезпечать розподіл між бажаними значеннями ймовірності ефективного функціонування окремих ланок із точки зору їх загальної мінімальної вартості. Такий розподіл рекомендує чисельне співвідношення між спрямованістю зусиль керівництва академії на досягнення заданого рівня НП за умов мінімізації загальних витрат.

2. Для ймовірностей функціональної відповідності  $P_1, \dots, P_4$  та, відповідно,  $P_{\text{зад}}$  бажаним значенням є порівнювання їх 1:

$$P_1 \oplus P_2 \oplus P_3 \oplus P_4 \ominus \ominus P_{\text{зад}}, \quad (3)$$

Але достатнім рівнем функціональної ефективності можна вважати  $P_{\text{зад}} = 0,85$ . Чому?

Реалізація цілей НП залежить від великої кількості імовірнісних незалежних об'єктивних та суб'єктивних факторів (наприклад, стан НПП на занятті, стан студента, аудиторії, зразків матеріально-технічного забезпечення тощо), що свідчить про нормальний закон розподілу щільності ймовірності правильного засвоєння навчального матеріалу. Тому ймовірності 0,85 буде відповідати достовірність засвоєння вже у величину 0,975, що є майже достовірним випадком.

3. Рішення системи (1) та визначення конкретних числових даних розподілу  $P_1, \dots, P_4$  здійснимо за допомогою метода множників Лагранжа [7, с. 37]. Функцію Лагранжа вводимо у вигляді:

$$f(P_i, \lambda) = \sum_{i=1}^4 \frac{A_i P_i}{(1 - P_i)} + \lambda \left( \prod_{i=1}^4 P_i - P_{\text{зад}} \right),$$

де  $\lambda$  – множник Лагранжа.

Її часткові похідні за змінними  $P_i$  та часткові екстремуми визначаються рівнянням:

$$\frac{\partial f}{\partial P_i} = \frac{A_i}{(1 - P_i)^2} + \frac{\lambda}{P_i} \prod_{i=1}^4 P_i = 0.$$

Його можна записати в такому вигляді:

$$\frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2} = -\lambda \prod_{i=1}^4 P_i = -\lambda P_{\text{зад}}.$$

Оскільки для кожного  $i = 1, 2, 3, 4$  права частина попереднього рівняння зберігається постійною, можна стверджувати:

$$\frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2} = \frac{A_i P_i}{(1 - P_i)^2}, \cdot i = 2, 3, 4, \quad (4)$$

Таким чином, застосування методу множників Лагранжа наводить до системи чотирьох рівнянь (із них три рівняння типу (4)) з чотирма змінними:

$$\begin{cases} P_1 P_2 P_3 P_4 \geq 0,85, \\ \frac{50 P_1}{(1 - P_1)^2} = \frac{10 P_2}{(1 - P_2)^2}, \\ \frac{50 P_1}{(1 - P_1)^2} = \frac{30 P_3}{(1 - P_3)^2}, \\ \frac{50 P_1}{(1 - P_1)^2} = \frac{40 P_4}{(1 - P_4)^2}. \end{cases} \quad (5)$$

Такі системи (порядок рівняння більший трьох) вирішують ітераційне. Перший крок – знаходження першого наближення змінної  $P_1$  – здійснюємо таким чином:

$$P_1^1 = \sqrt[4]{P_{\text{зад}}} = 0,96, \quad (6)$$

Значення перших наближень функціональної досконалості  $P_2^{(1)}, P_3^{(1)}, P_4^{(1)}$  розраховуємо за нижчими рівняннями системи (4) та перевіряємо відповідність отриманих числових значень верхньому рівнянню системи. За результатами розрахунків  $P_2^{(1)} = 0,982, P_3^{(1)} = 0,969, P_4^{(1)} = 0,964$ . Перевірка отриманих значень через рівняння функціональної відповідності (друге рівняння системи (1)) надає суттєве перебільшення межі в 0,85. Наступне наближення  $P_1^{(2)}$  величини  $P_1$  здійснюємо за правилом:

$$P_{\text{зад}} = \prod_{i=1}^4 P_i = 0,85 < \prod_{i=1}^4 P_i^{(1)}, \rightarrow P_1^{(2)} < P_1^{(1)}, \quad (7)$$

Результати трьох ітерацій наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Результати ітераційних розрахунків функціональної відповідності ланок НП**

$P_i^{(j)}$	$P_1^j$	$P_2^j$	$P_3^j$	$P_4^j$	$\prod P_i^j$
$P_i^{(1)}$	0,96	0,982	0,969	0,964	0,881
$P_i^{(2)}$	0,94	0,974	0,952	0,946	0,824
$P_i^{(3)}$	0,95	0,977	0,961	0,955	0,851
$P_{\text{нд},i}$	0,050	0,023	0,039	0,045	-
$k_i$	1,00	2,17	1,28	1,11	-

Точність проведених розрахунків доведено до 0,001, і третя ітерація буде останньою.

У табл. 1 у двох нижніх рядках наведені значення функціональної недосконалості  $i$ -ї ланки  $P_{\text{нд},i}$ , які введені таким чином:

$$P_{\text{нд},i} = 1 - P_i, \quad (8)$$

а також їх нормовані щодо  $P_{\text{нд},1}$  значення  $k_i$ . Нормування здійснювалося за рівнянням:

$$k_i = \frac{P_{\text{нд},1}}{P_{\text{нд},i}}, \quad (9)$$

У результаті розрахунків отримано вартісний раціональний розподіл між рівнями функціональної відповідності ланок НП. Щоб проаналізувати результати розрахунків, необхідно повернутися до фізичного змісту поняття функціональної відповідності ланки НП (пункт 1 основного матеріалу).

Згідно з даними табл. 1, найвищі вимоги функціональної відповідності висуваються до величини  $P_2$  – параметра функціональної відповідності самостійної підготовки студентів. Він визначається збігом РПНД, навчально-методичних матеріалів, завдань та вказівок НПП із вимогами ОКХ, рівнем матеріально-технічного забезпечення.

Таким чином, найменш суспільно вартісний шлях підвищення якості, ефективності НП у навчальному закладі – вдосконалення самостійної підготовки студентів. Напрямів такої роботи два. По-перше, це підвищення ролі та відповідальності профільних кафедр за навчально-методичне забезпечення самостійної роботи, а також керівництва відповідного факультету – за організацію та якість її проведення.

По-друге, це покращення матеріально-технічного забезпечення самостійної підготовки сту-

дентів (доступність матеріально-технічної бази кафедр для самостійного опанування студентами необхідних знань, а також створення підрозділами забезпечення навчального закладу сприятливих умов для здійснення такого виду діяльності).

**Висновки.** Розроблення функціонально-вартісного алгоритму НП дає змогу виявити раціональні напрями його удосконалення за умов обов'язкового виконання ОКХ при мінімальних умовних витратах. Результати розрахунків за розробленим алгоритмом підтверджують провідну роль кафедри як центру навчальної, методичної роботи, наукової і науково-технічної діяльності, але за обов'язкової наявності високого рівня професійної компетентності НПП, тобто в термінах цієї статті – необхідного рівня її функціональної відповідності.

Перспективні напрями подальших досліджень є такими: уточнення механізмів визначення умовних вартостей окремих ланок НП у навчальному закладі, залучення розроблених алгоритмів задля вирішення інших прикладних завдань фахової діяльності, які складно формалізуються.

#### Список літератури:

1. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 р. № 1556-VII / Верховна Рада України. *Голос України*. 2014. № 136.
2. Інструкція про організацію освітньої діяльності у вищих військових навчальних закладах Збройних Сил України та військових навчальних підрозділах вищих навчальних закладів України : Офіц. вид. Київ : МО України, МОН України, 2005. 52 с.
3. Слонов М.Ю., Поліщук В.О. Приклади раціоналізації системи з використанням безпосередньо вартісної моделі. *Вісник воєнної розвідки*. 2001. № 2(3). С. 68–75.
4. Goldbaum J. Life Cycle Cost Analysis State-of-the-Practice. Denver: Springfield, 2000.
5. Sato Y., Kaufman J.J. Value Analysis Tear-down: a New Process for Product Development and Innovation. New York : Industrial Press, 2005.
6. Saaty T.L. Concepts, Theory and Techniques: Rank Generation, Preservation and Reversal in the Analytic Hierarchy Process. *Decision Sciences*. 1987. Vol. 18. P. 157–177.
7. Bertsekas D. Constrained Optimization and Lagrange Multiplier Methods. Athena : Athena Scientific, 1982. 400 p.

#### Slonov M.Yu. FUNCTIONAL-COST APPROACH TO STRUCTURAL IMPROVEMENT OF COMPLEX SYSTEM: EDUCATIONAL PROCESS

*The approach to quantitative evaluation of the influence of individual units on the process and learning outcomes is considered. It allows us to consider the educational process as a complex hierarchical system, to identify the directions of actual improvement and the necessary or unnecessary links between individual links. This will help to more readily approach the formulation of requirements for the construction of such a complex system as a higher educational institution. As a solution, it is proposed to distribute the levels of functional correspondence between the individual units on the condition of achieving the goal of the learning process at its minimum conditional value. The functional and costly algorithm for evaluating the conformity of the components of the educational process to the requirements of the state customer for the training of specialists is proposed and substantiated. It based on the prediction of a polynomial relationship between the par value and the functional alignment of each link. A system of equations created that describes the functional and value relationships between the links of the system. The solution of the system requires the determination of the magnitude of the empirical constants of the polynomial components, the determination of the magnitude of the*

*given probability of performing the training tasks, and also the direct solution of the system of equations for the localization of cost extreme. The values of the empirical constants are chosen according to the algorithm of determining the priority when pair comparing the components of the matrix of contiguity. The given probability of carrying out the task of training involves the normal law of density distribution of the probability of proper learning by students of the educational material. Solving the system of equations with the definition of cost extreme is carried out by means of the Lagrange multiplier method and iterative calculations. The results of the calculations confirm the priority of improving the methodological and logistical support of the departments and the independent training of students, but the obligatory professional competence of teachers, that is, in the terms of this article - the necessary level of their functional compliance.*

**Key words:** *educational process, cost model, complex hierarchical system, functional-cost calculations, functional correspondence, approximating functions.*

**Терейковська Л.О.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

## НЕЙРОМЕРЕЖЕВА МОДЕЛЬ РОЗПІЗНАВАННЯ ЕМОЦІЙНОГО СТАНУ ОПЕРАТОРІВ АВТОМАТИЗОВАНИХ РОБОЧИХ МІСЦЬ ЗА КЛАВІАТУРНИМ ПОЧЕРКОМ

Стаття присвячена проблемі підвищення ефективності моніторингу психофізіологічного стану операторів автоматизованих робочих місць шляхом використання засобів розпізнавання емоційного стану. Показано обмеженість поширених засобів розпізнавання емоцій, що засновані на аналізі статистичних біометричних характеристик. Визначено перспективи використання нейромережових засобів розпізнавання емоцій на основі клавіатурного почерку. Запропоновано спосіб представлення параметрів клавіатурного почерку у вигляді двовимірного кольорового зображення, який дає змогу застосувати для його аналізу одне з найсучасніших нейромережових рішень – згорткову нейронну мережу. Розроблений спосіб дав змогу перейти до визначення архітектурних параметрів згорткової нейромережової моделі типу LeNet. Передбачено подання на вхід згорткової нейронної мережі рисунка, що являє собою квадратну матрицю, елементами якої є значення часу утримання клавіші. Вихід мережі сигналізує про розпізнану емоцію – нейтральність, радість або страх. У результаті проведених експериментів встановлено, що в середньому точність розпізнавання емоційного стану оператора автоматизованого робочого місця згортковою нейронною мережею становить приблизно 68,3%, хоча в нейромережових класифікаторах на базі багатошарового перцептрону задекларована точність становить близько 84%. Однак порівняно низьку точність побудованої згорткової нейронної мережі можна пояснити недостатнім обсягом навчальної вибірки. Таким чином, результати проведених експериментів показали перспективність розробленої нейромережової моделі та необхідність її вдосконалення в напрямі підвищення точності розпізнавання й інформативності вихідного сигналу. Також проведені експерименти показали можливість інтегрального розпізнавання згортковою нейронною мережею як емоційного стану, так і особи оператора. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень із розробкою методу адаптації архітектурних параметрів згорткової нейронної мережі до конкретних умов задачі аналізу параметрів клавіатурного почерку.

**Ключові слова:** емоційний стан, розпізнавання емоцій, клавіатурний почерк, згорткова нейронна мережа, нейромережові засоби розпізнавання.

**Постановка проблеми.** Нині однією із найбільш актуальних задач у сфері інформаційних технологій є розробка ефективних засобів розпізнавання емоційного стану (ЗРЕС) операторів автоматизованих робочих місць (АРМ) інформаційних систем (ІС). Вказані засоби необхідні, наприклад, для оперативного моніторингу операторів АРМ об'єктів критичної інфраструктури, де значна кількість аварій та аварійних інцидентів пов'язана з порушенням їх психофізіологічного стану, що відображається в емоційному стані. Ще одним прикладом є застосування ЗРЕС в ІС закладів освіти для моніторингу рівня сприйняття учбового матеріалу. У сучасних ІС найбільшого поширення отримали ЗРЕС на основі аналізу геометрії обличчя та на основі голосу. Разом із тим необхідність отримання якісних вхідних даних та висока залежність від типових завад зумовлюють необхідність вдосконалення наявних ЗРЕС. Із

позицій використання стандартного обладнання для отримання біометричних характеристик, широкого застосування в ІС технологічної інформації у вигляді тексту, можливості проведення прихованого моніторингу в процесі професійної діяльності доволі широкі перспективи мають ЗРЕС на основі клавіатурного почерку, що і зумовлює актуальність досліджень у цьому напрямі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З огляду на роботу А.Н. Савінова [3], під поняттям клавіатурного почерку (КП) оператора АРМ будемо розуміти його індивідуальну біометричну поведінкову характеристику, що визначає особливості набору ним тексту з клавіатури. У процесі використання універсальних засобів клавіатурного вводу для визначення параметрів КП реєструються код натиснутої клавіші, символ, що відповідає цій клавіші, термін утримання клавіші (ТУК) та термін між послідовним натисненням

різних клавіш (ТМК). Як правило, отримані часові параметри подаються на вхід модуля розпізнавання КП після фільтрації та попередньої обробки [1; 3].

Розрізняють два типи моделей розпізнавання: за заздалегідь визначеним фрагментом тексту та за фрагментом тексту довільного змісту. При розпізнаванні за визначеним фрагментом основу еталонів, як правило, становлять показники ТУК та ТМК, які стосуються послідовного порядку натиснення клавіш. При розпізнаванні на основі фрагменту тексту довільного змісту еталони здебільшого формуються на основі статистичних показників ТУК та ТМК окремих стійких послідовностей подій клавіатури, що відображають особливості динаміки набору тексту окремого оператора. Разом із тим у роботах [2–4; 8] на основі експериментальних досліджень доведена незадовільна адаптованість статистичних моделей до зміни емоційного стану оператора та складність їх формування у разі аналізу фрагменту тексту довільного змісту. Також показано, що складність задачі розпізнавання КП пояснюється необхідністю аналізу доволі великих обсягів багатовимірних даних. При цьому, як раз із точки зору доведеної ефективності аналізу багатовимірних даних, перспективним напрямом вдосконалення систем розпізнавання КП є застосування нейромережових моделей (НММ). Це підтверджується даними робіт [3; 10], в яких разом із позитивними результатами застосування НММ зазначається їхня обмеженість, пов'язана з труднощами формування номенклатури вхідних параметрів та визначенням архітектурних параметрів. Також можна зазначити застарілість використаних НММ типу багатощаровий перцептрон, ймовірнісної нейрон-

ної мережі, карти Кохонена, мережі Хопфілда та мережі РБФ.

**Постановка завдання.** Основною метою публікації є розробка нейромережової моделі, призначеної для розпізнавання емоцій операторів автоматизованих робочих місць за їхнім клавіатурним почерком.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відправною точкою дослідження визначено роботи [6; 7], в яких обґрунтовані методи розробки нейромережових засобів захисту інформації. Відповідно до означених методів, в узагальненому вигляді розробку НММ можна поділити на два етапи. На першому етапі визначаються тип архітектури НММ та номенклатура вхідних параметрів. На другому етапі визначаються архітектурні параметри.

Найбільш сучасним типом нейромережової архітектури є згорткова нейронна мережа (ЗНМ) [5–7]. Тому на початкових етапах дослідження доцільно використати найбільш апробовану архітектуру типу LeNet, структура якої показана на рис. 1. Основними параметрами такої ЗНМ є: розмір вхідного поля ( $(a \times a)_{in}$ ), кількість вхідних та вихідних нейронів ( $L_{in}, L_{out}$ ), кількість нейронів в 1-му та 2-му повнозв'язному шарі ( $L_{f1}, L_{f2}$ ), кількість шарів згортки ( $K_s$ ), кількість карт ознак у кожному k-му шарі згортки ( $L_{h,k}, k \in [1, K_s]$ ), кількість шарів субдискретизації ( $K_{ld}$ ), розмір вікна субдискретизації ( $m_l, l \in [1, K_{ld}]$ ), розмір ядра згортки для кожного k-го шару згортки ( $(b \times b)_k$ ), зсув ядра згортки ( $d_k$ ), розмір карти ознак для кожного k-го шару згортки ( $(a \times a)_k, k \in [1, K_s]$ ) та розмір карт субдискретизації ( $(c \times c)_k, k \in [1, K_{ld}]$ ).

Функціонування ЗНМ визначається виразами (1–4).

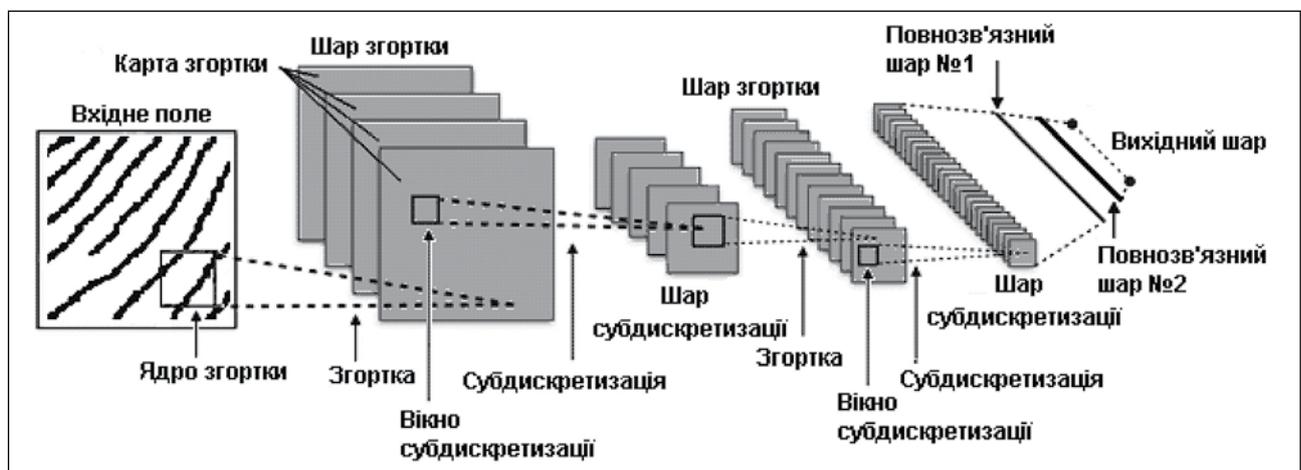


Рис. 1. Структура згорткової нейронної мережі типу LeNet



Структурні параметри згорткової нейронної мережі

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Кількість вхідних та вихідних нейронів	$L_{in}=160000;$ $L_{out}=3$	Розмір ядер згортки	$b_1=5; b_2=5;$ $b_3=4$
Кількість шарів згортки	$K_s=3$	Зсув ядра згортки	$d=1$
Кількість карт ознак у шарах згортки	$L_{h,1}=5;$ $L_{h,2}=16;$ $L_{h,3}=32$	Розмір карти ознак для шарів згортки	$a_1=396; a_2=196;$ $a_3=50$
Кількість нейронів у повнозв'язному шарі	$L_{f1}=1024;$ $L_{f2}=512$	Розмір вікон субдискретизації	$m_1=2; m_2=4;$ $m_3=5$
Кількість шарів субдискретизації	$K_{ld}=3$	Розмір карт для шарів субдискретизації	$c_1=198;$ $c_2=49; c_3=10$

Розроблений спосіб кодування дав змогу перейти до визначення архітектури ЗНМ. Прийнято такі умови застосування: розпізнаються три емоції (нейтральна, радість та страх); текст може складатись із літер українського алфавіту та знаків пунктуації (40 символів); КП аналізується при наборі однакових текстів фіксованої довжини, що становить 400 символів. Отримані із застосуванням (5–9) параметри ЗНМ наведені в табл. 1.

ЗНМ була реалізована за допомогою пакету прикладних програм MATLAB 2018. Для її навчання використана база даних (БД) відфільтрованих зразків КП, що відповідають трьом вказаним емоціям для 10 осіб. Кожна емоція представлена 100 записами (10 записів на особу) КП для одного і того самого тексту. Виклик певної емоції реалізовано шляхом перегляду відповідного мультимедійного контенту. Зразки КП для емоції записано у форматі – введений символ-ТУК. 90% записів БД було використано для формування навчальної вибірки, інші 10% – для тестової.

У результаті проведених експериментів визначено, що в середньому точність розпізнавання емоцій ЗНМ становить приблизно 68,3%, хоча в нейромережевих класифікаторах на базі багатшарового перцептронну [9; 10] задекларована точність становить біля 84%. Однак порівняно низьку точність ЗНМ можна пояснити недостат-

нім обсягом навчальної вибірки, формування якої є складною та довготривалою процедурою. При цьому, за даними [6; 7], ресурсоемність засобів на основі багатшарового перцептронну як мінімум у 5–10 разів перевищує ресурсоемність засобів на основі ЗНМ. Разом із тим проведені експерименти показали можливість інтегрального розпізнавання ЗНМ як емоційного стану, так і особи оператора, що окреслює перспективність запропонованих рішень у системах аутентифікації.

**Висновки.** У результаті проведених досліджень запропоновано спосіб представлення параметрів клавіатурного почерку у вигляді двохвимірного зображення, що дає змогу застосувати для його аналізу одне із найбільш сучасних нейромережевих рішень – згорткову нейронну мережу. Розроблена згорткова нейромережева модель типу LeNet призначена для розпізнавання емоційного стану особи за клавіатурним почерком. Проведені експериментальні дослідження показали перспективність розробленої нейромережевої моделі та необхідність її вдосконалення в напрямі підвищення точності розпізнавання та інформативності вихідного сигналу. Для цього доцільно співвіднести шляхи подальших досліджень із розробкою методу адаптації архітектурних параметрів згорткової нейронної мережі до конкретних умов задачі аналізу параметрів клавіатурного почерку.

#### Список літератури:

1. Абашин В.Г. Автоматизация процесса определения психофизиологического состояния оператора автоматизированного рабочего места в АСУТП : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Орел, 2007. 20 с.
2. Кошева Н.А., Мазниченко Н.И. Подход к повышению надежности идентификации пользователей компьютерных систем по динамике написания паролей. *Системы обработки информации*. 2014. Вип. 6 (122). С. 140–146.
3. Савинов А.Н. Методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.19 «Методы и системы защиты информации, информационная безопасность». Санкт-Петербург, 2013. 19 с.
4. Скринникова А.В. Изменение индивидуальной динамики манипуляций устройствами управления курсором под влиянием эмоций страха и радости. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2013. № 5. С. 246–251.

5. Терейковська Л., Терейковський О. Нейромережева модель розпізнавання емоцій по зображенню обличчя. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія «Технічні науки»*. 2019. Т. 30 (69). Ч. 1. № 2. С. 209–213.
6. Терейковський І.А., Заріцький О.В., Терейковська Л.О., Погорелов В.В. Метод розробки архітектури глибокої нейронної мережі, призначеної для розпізнавання комп'ютерних вірусів. *Захист інформації*. 2018. Т. 20, № 3, С. 188–199.
7. Akhmetov, B., Tereikovskiy, I., Tereikovska, L., Adranova, A. Neural network user authentication by geometry of the auricle. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2018. Volume 836. P. 11–19.
8. Epp C., Lippold M., Mandryk R. Identifying Emotional States Using Keystroke Dynamics. *In Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems*. Vancouver, BC, Canada : ACM. 2011. P. 715–724.
9. Po-Ming Lee, Wei-Hsuan Tsui and Tzu-Chien Hsiao. The influence of emotion on keyboard typing: an experimental study using visual stimuli. *BioMedical Engineering OnLine*. 2014, 13:81. URL: <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/13/1/81>. DOI: 10.1186/1475-925X-13-81.
10. Preeti Khanna, M. Sasikumar. Recognising Emotions from Keyboard Stroke Pattern. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*. 2010. Volume 11. № 9. P. 1–5.

### **Tereikovska L.A. NEURAL NETWORK MODEL OF RECOGNITION OF THE EMOTIONAL STATE OF OPERATORS OF AUTOMATED WORKPLACES BY KEYBOARD HANDWRITING**

*The article is devoted to the problem of increasing the efficiency of monitoring the psycho-physiological state of operators of automated workplaces through the use of means of recognizing the emotional state. The limitations of common emotion recognition tools based on the analysis of static biometric characteristics are shown. The prospects for the use of neural network emotion recognition tools based on keyboard handwriting are defined. A method for representing the parameters of keyboard handwriting in the form of a two-dimensional color image is proposed, which allows one of the most modern neural network solutions to be used for its analysis - a convolutional neural network. The developed method made it possible to proceed to the definition of architectural parameters of a convolutional neural network model of the type LeNet. A convolutional neural network is supplied to the input of a picture, which is a square matrix, the elements of which are the values of the key hold time. The output of the network signals a recognized emotion - neutrality, joy, or fear. As a result of the experiments, it was found that on average, the accuracy of recognition of the emotional state of the operator of the automated workplace by the convolutional neural network is approximately 68.3%, although in neural network classifiers based on a multi-layer perceptron, the declared accuracy is about 84%. However, the relatively low accuracy of the constructed convolutional neural network can be explained by the insufficient volume of the training sample. Thus, the results of experiments showed the promise of the developed neural network model and the need for its improvement in the direction of improving the recognition accuracy and informativeness of the output signal. Also conducted experiments showed the possibility of integral recognition by the convolutional neural network of both the emotional state and the personality of the operator. It was proposed to correlate the paths of further research with the development of a method for adapting the architectural parameters of a convolutional neural network to the specific conditions of the task of analyzing the parameters of keyboard handwriting.*

**Key words:** *emotional state, emotion recognition, keyboard handwriting, convolutional neural network, neural network recognition tools.*

## ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.3

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/24>

**Бурак К.О.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу

**Лиско Б.О.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти та газу

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНИХ КООРДИНАТ ВЕКТОРА З ДОПОМОГОЮ RTN РІШЕНЬ

*Метою даної роботи дослідження можливості виконання розмічуваних інженерно-геодезичних робіт RTN методом на суміжних пунктах шляхом несинхронних спостережень (будь-який зручний час з огляду на виробничі умови, навіть протягом 1 2-х діб). Для досягнення вказаної мети були поставлені такі завдання: побудувати математичну модель і дослідити залежність точності процесу побудови векторів (ліній) з допомогою використання RTN рішень GNSS приймачем від технологічних параметрів DOP, особливо тих, зміни яких повторюються в часі; встановити інформативність технологічних параметрів DOP, для можливості прогнозування точності вимірювання, під час виконання розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт, за неможливості виконання синхронних спостережень. Методика дослідження точності побудови векторів (ліній) було виконано дослідження на еталонному базисі. Спостереження проводилися в RTN-режимі з приймачем налаштованим на прийом диференційних поправок від мережі System Solutions. Практична значущість встановлено, що завдяки високій точності та можливості продовжувати виконувати роботи через певний час, завдяки повторюваності технологічних параметрів DOP, можна використовувати запропоновану методику побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень для розпланувальних та розмічувальних робіт на будівельному майданчику. Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в роботі вперше розроблено математичну модель для дослідження впливу технологічних параметрів DOP на точність процесу побудови векторів (ліній) RTN методом в результаті опрацювання даних GNSS вимірів на пунктах еталонного полігону, що розташовується в 10 км зоні від перманентної станції System Solutions.*

**Ключові слова:** GNSS, координати, RTN-вимір, розпланувальні роботи, електронний тахеометр.

**Постановка проблеми.** Є велика кількість наукових праць, присвячених вимірюванню в RTN режимі, головною метою яких є визначення точності координат точок, та вплив на неї природних та механічних чинників [8; 10; 15-18]. Водночас проблеми пов'язані з точністю побудованих за результатами GNSS вимірів довжин ліній та кутів, які визначають можливість їх використання під час розмічувальних та розпланувальних інженерно-геодезичних роботах не до кінця розв'язані.

У попередніх роботах наші дослідження були спрямовані на: знайдення СКП виміру віддалей  $m_{від}$  – і кутів –  $m_{кут}$  завдяки впливу взаємного розміщення перманентних станцій, фізико-географічних характеристик району робіт під час виконання вимірів на суміжних точках протягом

1 год. Експериментально встановлено можливість досягнення точності, яка характеризується середньоквадратичними похибками  $m_{від} = 2,52 \text{ мм} \pm 0,01 \text{ мм}$  для виносу довжин ліній та  $2,08'' \pm 0,95''$  для кутів [2; 3]; розроблено та досліджено алгоритм трансформування координат з системи координат генплану в УСК-2000 і навпаки, з мінімізацією впливу випадкових помилок RTN рішень та можливість відбракування грубих похибок в координатах пунктів геодезичної основи, шляхом забезпечення оптимальної співвідносності координат пунктів в двох системах методом ітерацій [4]; розроблено практичні рекомендації для винесення головних осей будівель (осей симетрії) з використання RTN методики GNSS-вимірів та забезпечення додаткового контролю розмічуваль-

них робіт з використанням електронного тахеометра [3].

На основі отриманих результатів запропоновано та обґрунтовано методику використання вимірів в RTN режимі для розпланувальних та розмічувальних робіт. Результати досліджень показали, що точність визначення побудованих векторів (ліній) з допомогою GNSS приймача за різних умов спостережень завжди вища за точність визначення координат цим же приладом.

Через вплив різних чинників і під час розпланувальних робіт виникає низка похибок у координатах точок, які зазвичай групують у такий спосіб: систематичні  $\sigma_{\text{сист.}}$ , випадкові  $\sigma_{\text{вип.}}$ . Під час роботи з GNSS приймачем можна виділити ще одна низка похибок, які залежать від супутникового сузір'я з яким працює приймач. Назвемо їх умовні  $\sigma_{\text{ум.}}$ , характерною особливістю є те, що вони повторюються в часі: кількість супутників, геометричне розміщення та тропосферна затримка  $\Delta\rho_k^{\text{trop}}$ .

До  $\sigma_{\text{сист.}}$  відносять [6; 7; 8; 11], похибки викликані зміщенням годинників супутника і приймача  $\mathcal{A}$ ,  $\mathcal{A}_k$ , іоносферної  $\Delta\rho_k^{\text{ion}}$  затримки, орбітальної похибки, яка зумовлена неточними значеннями ефемерид орбіти k-го супутника  $\Delta\rho_k^{\text{orb}}$ .

До  $\sigma_{\text{вип.}}$  відносять [10; 12] похибку обумовлену фазовим шумом приймача та явищем багатопроменевості  $\varepsilon_k^\psi$ .

Таким чином, точність виміру координат конкретної точки буде залежати від таких похибок:

$$\sigma = \sigma_{\text{сист.}} + \sigma_{\text{вип.}} + \sigma_{\text{ум.}}, \quad (1)$$

Дане припущення (1) є справедливим, якщо RTN вимірювання виконуються на конкретному об'єкті.

На практиці, залежно від поставленого завдання, необхідно визначати такі геометричні параметри, як віддалі та кути. Вони є тензорними величинами, тому вплив систематичних похибок, пов'язаних із трансформуванням координат, іоносферними затримками, похибками зміщення годинників супутника і приймача буде суттєво зменшений завдяки компенсації їхньої систематичної складової [5].

Випадкові похибки ми не можемо спрогнозувати, оскільки явище багатопроменевості повністю залежить від навколишнього середовища, яке є індивідуальним для конкретного об'єкта чи навіть його ділянки, а фазовий шум приймача буде залежати не тільки від марки та моделі приймача але й від партії.

Наші дослідження виконувалися на конкретному базисі, а вимірювання проводились одним і тим же приймачем, тому зупинимось на дослі-

дженні впливу геометрії розташування навігаційних супутників на точність побудови векторів (ліній) з допомогою RTN методу, яка під час виконання несинхронних вимірів на суміжних точках буде мати переважний вплив на точність результатів. За вихідну досліджувану мережу було прийнято System Solutions.

Як відомо, точність визначення псевдовіддалей до супутників враховує кожен з чотирьох компонентів позиції, що вимірюється приймачем (x, y, z та t). Якщо видимі навігаційні супутники розташовуються близько один до одного в небі, геометрія є поганою і значення DOP є великим; якщо ж вони далеко один від одного, геометрія є хорошою і значення DOP малим. У нашому випадку DOP задається як набір окремих компонент:

- HDOP (Horizontal Dilution of Precision) – горизонтальна складова частина точності;
- VDOP (Vertical Dilution of Precision) – точність за вертикаллю;
- PDOP (Position Dilution of Precision) – точність позиції в тривимірному просторі (3D);
- TDOP (Time Dilution of Precision) – точність часу;
- GDOP (Geometric Dilution of Precision) – сумарна геометрична точність в тривимірному просторі (3D) та часі.

Між даними технологічними параметрами є строгий зв'язок, який описується наступними формулами:

$$\begin{aligned} \text{PDOP}^2 &= \text{HDOP}^2 + \text{VDOP}^2, \\ \text{GDOP}^2 &= \text{PDOP}^2 + \text{TDOP}^2, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{GDOP}^2 = \text{HDOP}^2 + \text{VDOP}^2 + \text{TDOP}^2,$$

Під час виконання розпланувальних робіт у конкретних виробничих умовах не завжди є можливість виконати виміри на сусідніх точках в час обмежений до години двох, навіть більше часто виробничі умови призводять до того, що виміри розтягуються навіть на декілька днів.

Технологічні параметри DOP повторюються для даного конкретного об'єкту, щодобово та їх можна передбачити, наприклад з використанням інтернет-ресерсу GNSS Planing [14], крім того більш детальну інформацію про точність вимірів можна одержати із RINEX-файлу, наприклад RW5 для програмного забезпечення SurvCe. Виконані дослідження були спрямовані на перевірку гіпотези, що різночасові виміри, виконані за однакових параметрів DOP, дають змогу досягти оптимальної точності вимірювань. Отже мета даної роботи: дослідження можливості виконання розпланувальних та розмічувальних інженерно-геодезичних робіт RTN методом на суміжних пунктах

шляхом несинхронних спостережень у зручний, з огляду на виробничі умови та можливості, час.

**Методика планування експериментальних досліджень.** Для визначення інформативності впливу технологічних параметрів DOP на процес побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень провели експериментальні дослідження на території будівельного майданчика, де був закладений еталонний базис (який розташовується в 10 км зоні від перманентної станції System Solutions).

Точні координати пунктів та геометричні параметри досліджуваного базису визначалися з допомогою двох частотного GNSS приймача QStar 8+ (була проведена серія статичних вимірювань упродовж 16 годин) та електронного тахеометра South NTS-350. Детальний опис ділянки наведений в роботі [4]. Еталонна віддаль становила 114,8575 м, її визначено двохсекундним тахеометром, яким було проведено три серії вимірів по 12 вимірювань в прямому та оберненому напрямках, із СКП 0,27 мм обчисленою за формулою Бесселя.

RTN вимірювання проводилися з інтервалом тридцять хвилин, впродовж чотирьох годин, тобто виконано 9 вимірів, кількість усереднень у кожному складала 30 усереднень. Для можливості прогнозування даний дослід був повторений на наступний день у такий самий час. Значення довжини базису із RTN спостережень знаходили за формулою

$$S_{RTN} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}, \quad (3)$$

В табл. 1 наведено порівняння результатів досліджень точності побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень із їх технологічними параметрами:

- $\Delta$ , м – похибка побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень, визначена як різниця довжин ліній RTN виміру та значення;
- HRMS – горизонтальна середня квадратична похибка;
- VRMS – вертикальна середня квадратична похибка;
- N – кількість супутників, що спостерігається GNSS приймачем на момент вимірювання.

У зв'язку з об'ємністю вихідного файлу «RW5», який може використовуватися для контролю, у табл. 1 наведено усередненні значення похибок вимірювань стовпчик 2 та технологічних параметрів стовпчики 3-8.

Аналіз даних таблиці 1 показує, що технологічні параметри під час експерименту змінювались, наприклад HRMS в діапазоні 7-40 мм, а похибка побудови вектора з одноразових вимірів – від 1 до 26 мм.

Для досліджень впливу технологічних параметрів на точність побудови векторів (ліній), розраховували за даними проведеного дослідження коефіцієнти рівняння регресії  $\Delta = f(\text{HDOP}, \text{VDOP}, \text{TDOP}, \text{HRMS}, \text{VRMS}, N)$  напорівняно коротких віддалях (до 200 м).

Обчислили кореляційну матрицю (див. табл. 2). Маємо 6 досліджуваних величин HDOP, VDOP,

Таблиця 1

Результати дослідження точності розмічувальних робіт в RTN режимі

день	t, хв	$\Delta$ , м	HRMS	VRMS	HDOP	VDOP	TDOP	N
1	1	2	3	4	5	6	7	8
	0	0,0014	0,009	0,013	0,6782	1,1414	0,7713	16
	30	0,0047	0,011	0,017	0,6711	1,0604	0,7168	16
	60	-0,0032	0,009	0,014	0,6699	0,984	0,6265	16
	90	0,0047	0,009	0,014	0,8688	1,4848	0,9568	14
	120	-0,0009	0,007	0,01	0,8163	1,3119	0,9675	14
	150	0,0025	0,008	0,011	0,7467	1,196	0,7999	14
	180	0,0246	0,04	0,049	0,8336	1,1416	0,7643	14
	210	-0,0180	0,036	0,039	0,9323	1,1314	0,7974	13
240	-0,0265	0,049	0,05	1,2015	1,287	0,9569	12	
2	0	0,0026	0,007	0,01	0,6836	1,0731	0,6859	15
	30	-0,0032	0,013	0,017	0,704	1,194	0,801	14
	60	-0,0014	0,010	0,015	0,661	1,115	0,753	16
	90	0,0023	0,0012	0,016	0,749	1,137	0,824	15
	120	-0,0021	0,015	0,019	0,842	1,399	0,873	15
	150	0,0052	0,029	0,042	0,816	1,312	0,968	14
	180	0,0168	0,042	0,042	0,919	1,116	0,784	12
	210	0,0216	0,03	0,033	0,801	1,132	0,739	13
	240	0,01787	0,037	0,038	0,918	1,109	0,779	12

TDOP, HRMS, VRMS, N, представлених вибірками по 299 значень  $X_i = \{x_{i1}, x_{i2} \dots x_{i299}\}$ . Завдяки симетричності коваріації (властивість  $r_{ij} = r_{ji}$ ), то кореляційна матриця симетрична щодо головної діагоналі та оцінку слід проводити лише для елементів, що розташовуються над або під діагоналлю.

Далі провели перевірку коефіцієнтів на значущість –  $r_k^{a,f}$  [9]. Знову ж таки, через симетричність матриці, це було зроблено лише для половини елементів. Оскільки для кожної вибірки було отримано по 299 значень, ступінь свободи становить  $f=299-2$ . З огляду на те, що  $\alpha=0,05$  значення  $t_{\alpha/2}^f = t_{0,025}^{297} = 2,398$  однакове для всіх елементів матриці. Далі підставили одержане значення в рівняння (4) на місце емпіричного значення t-статистики та розв'язали отримане рівняння

$$r_k^{a,f} = \frac{t_{\alpha/2}^f}{\sqrt{n-2+(t_{\alpha/2}^f)^2}} = 0,447, \quad (4)$$

Всі значення в кореляційній таблиці, які за модулем менші 0,447 можна вважати статистично не значущими та під час створення математичної моделі дані технологічні параметри не слід враховувати.

Згідно з одержаними результатами можна стверджувати, що такі технологічні параметри, як: VDOP, TDOP не можуть відобразити точність процесу побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень. Також варто звернути увагу на значення HRMS і VRMS, окрім того, що вони сильно впливають на точність, між даними технологічними параметрами є пряма і сильна кореляція (0,988727). Після проведення тесту Дарбіна-Уотсона [12] на залишки було знайдено автокореляцію між даними параметрами. Це дало нам можливість під час розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії не враховувати один із даних технологічних параметрів (VRMS).

Розрахували коефіцієнти рівнянь регресії, тобто залежності точності побудови векторів

(ліній) з допомогою RTN рішень від значущих технологічних параметрів  $\Delta = f(\text{HDOP}, \text{HRMS}, \text{N})$ .

Регресійний аналіз проводився на основі технологічних параметрів і дозволив визначити внесок кожної незалежної змінної у варіацію досліджуваної (прогнозованої) залежної змінної величини.

Основним завданням регресійного аналізу є визначення впливу чинників (технологічних параметрів) на результативний показник (в абсолютних показниках). Передусім для цього необхідно підібрати та обґрунтувати рівняння зв'язку, що відповідає характеру аналітичної стохастичної залежності між досліджуваними ознаками. Рівняння регресії показує, як в середньому змінюється результативна ознака (Yх точність винесення векторів (ліній)) під впливом зміни факторних ознак (HDOP, HRMS, N).

У загальному вигляді рівняння регресії можна представити так  $Y_x = f(\text{HDOP}, \text{HRMS}, \text{N})$ .

Для побудови адекватної моделі детально проаналізуємо значущі технологічні параметри.

На жаль у жодних доступних літературних джерелах немає детальної інформації про те як розраховується HRMS за RTN вимірювання. Однак безпосередньо у кодї програмного забезпечення, яке встановлено на контролері GNSS приймача даний параметр знаходять як:

$$\text{HRMS} = 2 * \text{Math.sqrt}((\text{Math.pow}(\text{LatErr}, 2) + \text{Math.pow}(\text{LonErr}, 2)));$$

Звідси можна стверджувати, що формула для обчислення HRMS матиме вигляд:

$$\text{HRMS} = 2 * \sqrt{(\text{ERR}_{\text{LAT}}^2 + \text{ERR}_{\text{LON}}^2)}, \quad (5)$$

де:  $\text{ERR}_{\text{LAT}}$  та  $\text{ERR}_{\text{LON}}$  помилка визначення широти (Latitude Error) та довготи (Longitude Error).

Водночас в дисертаційній роботі канадського вченого Lukasz Kosma Bonenberg [19] описується зв'язок горизонтальної похибки із параметрами: віддаль до базової станції (BL), кількість супутників (SV) і горизонтальна точність позиціонування (HDOP)

Таблиця 2

**Кореляційна матриця залежності впливу технологічних параметрів на точність побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень**

	Y	HDOP	VDOP	TDOP	HRMS	VRMS	N
Y	1						
HDOP	0,604379	1					
VDOP	0,090497	0,547606	1				
TDOP	0,195958	0,704374	0,922904	1			
HRMS	0,813193	0,75444	0,081818	0,236125	1		
VRMS	0,806538	0,692072	0,071648	0,202695	0,988727	1	
N	-0,56237	-0,80316	-0,46754	-0,58917	-0,62677	-0,58975	1

$$HRMS = 27.117 + 0.163 \times BL - 1.897 \times OD - 1.604 \times SV_s + 0.972 \times HDOP, \quad (6)$$

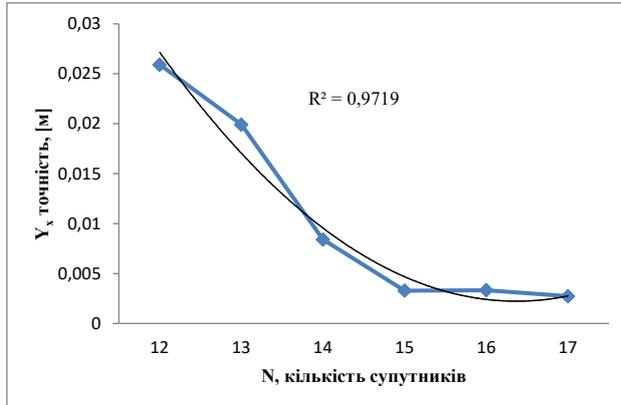
Однак, автор наводить дану формулу для RTK методу. Оскільки наші дослідження проводилися з використанням двочастотного приймача у мережі постійно діючих референтних станцій для нас вона може бути тільки приблизною.

Побудова моделей множинної регресії включає в себе такі етапи:

- 1) вибір форми зв'язку (рівняння регресії);
- 2) відбір факторних ознак;
- 3) забезпечення достатнього обсягу сукупності.

Визначення типу рівняння складне тим, що для будь-якої форми залежності можна вибрати цілу низку рівнянь, які певною мірою будуть описувати ці зв'язки. Особливе значення мають лінійні моделі через простоту і логічність їхньої фізичної інтерпретації.

Під впливом технологічного параметру N (кількість супутників) результативна ознака змінюється нерівномірно, причому з сповільненням, що зобов'язує нас використовувати для даного параметру рівняння гіперболи у регресійному аналізі, про що свідчить рис. 1. В загальному зі збільшенням кількості супутників точність зростає.



**Рис. 1. Залежність точності побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень від кількості супутників**

Оскільки зі зміною факторної ознаки результативна змінюється нерівномірно, то розглянемо багатofакторне рівняння множинної регресії за нелінійної залежності:

$$Y_x = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_4 + a_3 \frac{1}{X_6} + a_4 X_1 X_4 + a_5 X_1 \frac{1}{X_6} + a_6 X_4 \frac{1}{X_6} + a_7 X_1 X_4 \frac{1}{X_6} + a_8 X_1^2 + a_9 X_4^2 + a_{10} \frac{1}{X_6^2}, \quad (7)$$

де,  $X_1$ ,  $X_4$ ,  $X_6$  – технологічні параметри HDOP, HRMS, N відповідно.

Проблема відбору факторних ознак для побудови моделей взаємозв'язку може бути вирішена на основі інтуїтивно-логічних або багатовимірних математико-статистичних методів аналізу.

Нами був обраний спосіб відбору факторних ознак з допомогою крокової регресії (кроковий регресійний аналіз). Таким чином, ми згідно з алгоритмами послідовного включення, вводили або виводили чинники в рівняння регресії з наступною перевіркою їх статистичної значущості.

Під час використання даного алгоритму «включення», чинники по чергово вводяться в рівняння регресії так званім прямим методом. Під час перевірки значущості введеного чинника визначається, наскільки зменшується сума квадратів залишків і збільшується величина множинного коефіцієнта кореляції.

Сутність алгоритму послідовного виключення полягає в тому, що відкидаються чинники, що стали незначимими за t-критерієм Стюдента або іншими статистичними критеріями. Чинник є незначимим, якщо його включення в рівняння регресії тільки змінює значення коефіцієнтів регресії, не зменшуючи її суми квадратів залишків і не збільшуючи їх значення.

Якщо за включення в модель відповідної факторної ознаки величина множинного коефіцієнта кореляції збільшується, а значення коефіцієнта регресії не змінюється (або змінюється несуттєво), то дана ознака суттєва і її включення в рівняння регресії доцільне. В іншому випадку чинник недоцільно включати в модель регресії.

**Результати.** На підставі проведених розрахунків було побудовано математичну модель і досліджено залежність технологічних параметрів для процесу побудови векторів (ліній) з допомогою використання RTN рішень GNSS приймача налаштованого на прийом диференційних поправок від мережі System Solutions

$$Y_x = 7,8442 \cdot \frac{HRMS}{N} - 0,0013 \cdot HDOP, \quad (8)$$

Невідомі коефіцієнти рівняння регресії визначили методом найменших квадратів у кодованому вигляді. Оцінку значущості коефіцієнтів рівняння регресії перевірили при рівні 0,05 з допомогою t-критерію Стюдента. Статистично незначимі коефіцієнти були відкинуті. Після цього значущі коефіцієнти рівнянь регресії другого порядку були підставлені у формулу (8).

В табл. 3 наведена перевірка адекватності отриманої математичної моделі процесу побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень.

Таблиця 3

**Регресійна статистика досліджуваної моделі**

Множинний R	0,893567
R-квадрат	0,798461
Нормований R-квадрат	0,794416
Стандартна похибка	0,0071
Кількість вимірів	299

Аналіз отриманого рівняння регресії та побудованих поверхонь відгуку (табл. 4), свідчать, що величини параметрів оптимізації (HDOP, HRMS, та кількості супутників) суттєво впливають на процес побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень GNSS приймачем.

Для дослідження впливу технологічних параметрів на точність побудови векторів (ліній) побудували поверхні відгуку залежно від двох змінних чинників (інші чинники перебували на постій-

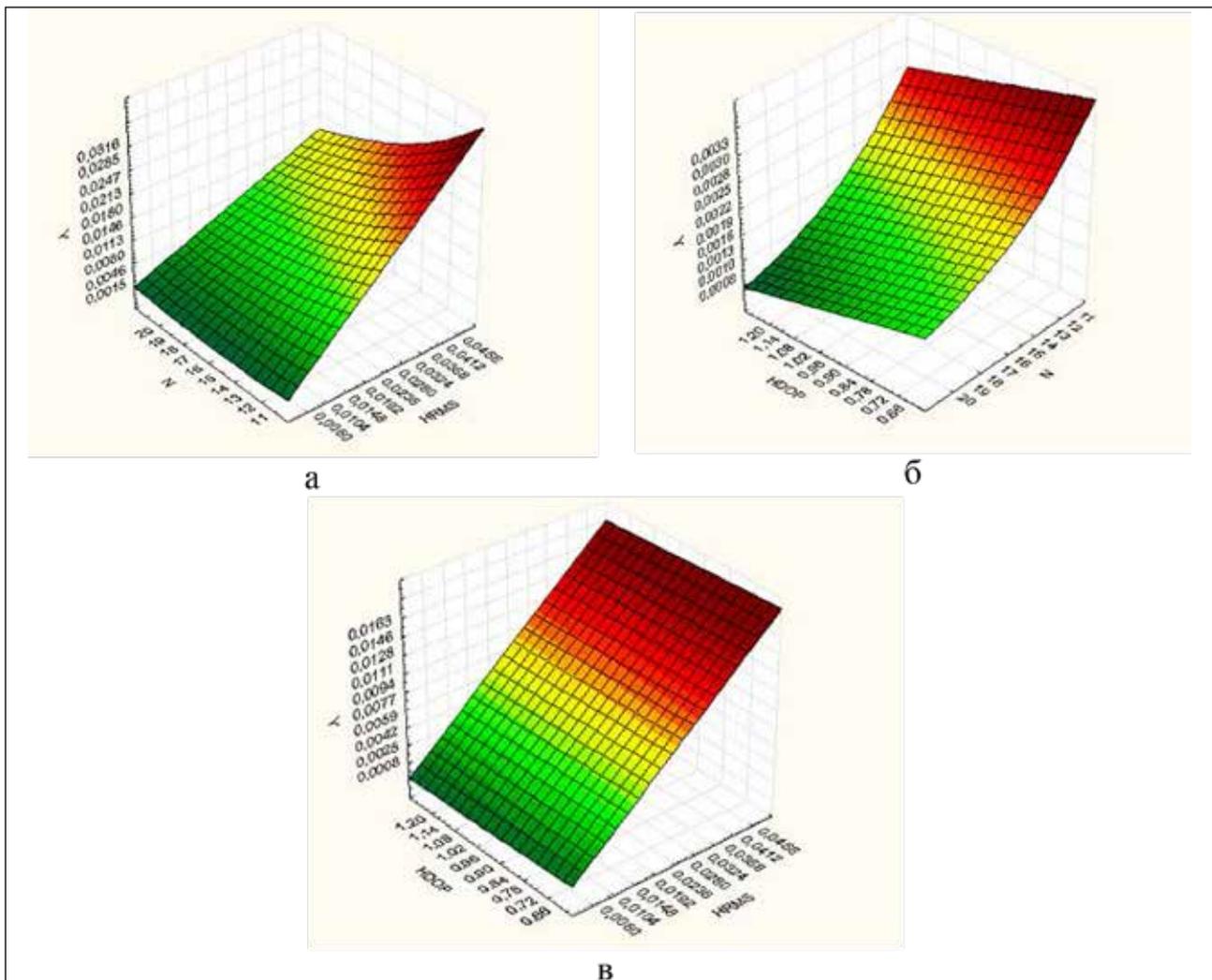
ному основному рівні), використавши вільне програмне забезпечення GNU Octave (рис. 2).

За результатами аналізу графічних залежностей:

– з рис. 2а бачимо що зі зростанням параметра HRMS, зменшення кількості супутників та сталій величині параметра HDOP точність побудови векторів (ліній) зменшується;

– з рис. 2б можна судити про те, що із збільшенням параметра HDOP та кількості супутників, за сталої величини параметра HRMS точність зростає;

– з рис. 2в можна судити про те, що із збільшенням параметра HRMS та сталій кількості супутників точність зменшується. Параметр HDOP за такої комбінації технологічних параметрів практично не впливає на точність визначення віддалей.



**Рис. 2. Поверхні відгуку залежності точності побудови векторів (ліній) GNSS приймачем від технологічних параметрів процесу RTN вимірювань: а – N, HRMS, HDOP = 0,66; б – HDOP, N, HRMS = 0,006; в – HDOP, HRMS, N = 18**

Дисперсійний аналіз отриманих коефіцієнтів

	Стандартна похибка	t-статистика	P-Значення	Нижнє 95%	Верхнє 95%
$a_0$	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д	#Н/Д
HDOP	0,335689	23,36758	2,98E-69	7,183606	8,504866
HRMS/N	0,000598	-2,21776	0,027328	-0,0025	-0,00015

Таблиця 5

Результати другого дослідження точності розмічувальних робіт в RTN режимі

t, хв	Постанні вимірювання				Синхронні вимірювання			
	$\Delta$ , мм	HRMS	HDOP	N	$\Delta$ , мм	HRMS	HDOP	N
0	1,8	0,009	0,79	15	1,8	0,009	0,79	15
15	2,7	0,007	0,81	14	3,9	0,007	0,81	14
30	4,9	0,012	1,08	9	6,0	0,012	1,08	9
45	9,1	0,012	1,17	10	8,3	0,012	1,17	10
60	3,0	0,007	0,93	13	0,7	0,007	0,93	13
75	1,6	0,007	0,95	13	0,9	0,007	0,95	13
90	1,4	0,008	1,03	11	1,0	0,008	1,03	11
105	5,5	0,010	0,87	12	4,9	0,010	0,87	12
120	0,9	0,007	0,82	13	1,6	0,007	0,82	13
135	4,7	0,007	0,87	12	0,3	0,007	0,87	12
150	2,6	0,009	0,88	12	2,6	0,009	0,88	12
165	1,0	0,007	0,78	14	3,5	0,007	0,78	14
180	0,0	0,007	0,83	13	6,2	0,007	0,83	13
195	2,7	0,009	0,78	13	9,6	0,009	0,78	13
210	0,7	0,010	0,75	14	0,5	0,010	0,75	14
225	2,3	0,008	0,75	14	1,2	0,008	0,75	14
240	4,3	0,010	0,72	15	4,0	0,010	0,72	15
255	3,6	0,009	0,75	14	5,9	0,009	0,75	14
270	0,3	0,007	0,81	13	4,3	0,007	0,81	13
285	5,6	0,008	0,83	13	0,3	0,008	0,83	13
300	10,0	0,008	1,28	10	0,8	0,008	1,28	10
315	9,8	0,009	1,29	10	9,6	0,009	1,29	10
330	9,1	0,008	1,06	11	5,6	0,008	1,06	11
345	2,1	0,010	0,99	12	9,0	0,010	0,99	12
	3,7	0,009	0,9	13	3,9	0,009	0,9	13

За ступенем впливу технологічних параметрів на точність побудови проектних векторів (ліній) можна розмістити їх в такому порядку: HRMS, N і HDOP.

Аналіз отриманого рівнянь регресії (8) та побудованих поверхонь відгуку (рис. 2) свідчить, що величина параметрів оптимізації для процесу побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень найбільш значний вплив мають такі технологічні параметри, як HRMS та кількості супутників. Оскільки вплив параметра HDOP на остаточну точність побудови проектних віддалей є значним, однак із виключенням його із регресійного обчислення моделі точність знижується не більш ніж на 2,3%, що, зі свого боку, не перевищує 95% рівень

надійності, то для спрощення обчислень без значної втрати точності можна використовувати формулу вигляду:

$$Y_x = 7,2002 \cdot \frac{HRMS}{N}, \quad (9)$$

Формула (9) відображає регресійний зв'язок між технологічними параметрами (HRMS кількістю супутників) та точністю побудови проектних векторів (ліній) з допомогою RTN вимірювань.

З метою підтвердження одержаних результатів та регресійної моделі, нами було повторено експеримент у червні 2019 року на тому ж базисі однак іншим GNSS приймачем фірми Topcon. Особливістю даного дослідження є те, що окрім вимірів проведених через встановлений проміжок часу виконувались і синхронні. У результаті проведених

досліджень одержані результати, які наведено в табл. 5.

Дані наведені у табл. 5 підтверджують тісний зв'язок між точністю побудови проектних векторів ліній та технологічними параметрами. В даному експерименті технологічні параметри наприклад HRMS змінювалися в меншому діапазоні в порівнянні із попереднім 7-10 мм, що відповідно відобразилося на точності побудови вектора з RTN вимірів – від 1 до 10 мм. В результаті проведених досліджень було одержано 720 значень віддалі із відповідними технологічними параметрами. Дану вибірку було об'єднано із попередньою, яка складалася з 299 значень, та повторно розраховано рівняння регресії залежності точності побудови векторів (ліній) GNSS приймачем від технологічних параметрів процесу RTN вимірювань

$$Y_x = 7,5706 * \frac{HRMS}{N} - 0,0012 * HDOP, \quad (10)$$

Після проведення дослідження одержаних рівнянь регресії (8) та (10) було встановлено, що максимальне відхилення даних функцій за критичних значень не перевищує 10%, у той час середнє відхилення складає 2,6%. Одержані значення свідчать про високу достовірність одержаних результатів, бо середні відхилення не перевищують рівень надійності регресійного аналізу.

Також було проведено аналіз впливу часу на точність одержаних результатів для цього було виконано кореляційний аналіз між одержаною точністю побудови проектних векторів (ліній) та проміжком часу який пройшов від першого вимірювання на першій точці та поточним часом. В результаті проведеного випробування кореляція

між розглянутими параметрами склала 0,2753, що говорить незначний впливу даного чинника на точність. Даний результат також підтверджується тим, що точність одержана із синхронних вимірів (3,9 мм) та вимірів проведених через різний проміжок часу (3,7 мм) є рівною.

**Висновки.** Отже, з результатів досліджень зроблено такі висновки:

1. точність побудови векторів (ліній) з допомогою RTN рішень в мережі System Solution під час проведення експерименту коливалася в межах 1,4 26,5 мм залежно від технологічних параметрів, що дозволило розробити рекомендації щодо проведення спостережень;

2. розпланувальні та розмічувальні інженерно-геодезичні роботи можна виконувати упродовж декількох днів, однак необхідно витримувати подібні технологічні параметри, які просто прогнозуються з допомогою спеціалізованих інтернет-ресурсів, (наприклад, в вільному доступі GNSS Planing) і запропонованої математичної моделі, що дає змогу прогнозувати точність виконання даних робіт. Проте кінцевий висновок про точність вимірів можна робити тільки за результатами вимірів, аналізуючи параметр HRMS і внутрішню сходимість результатів;

3. встановлено, що для забезпечення необхідної точності (3 5 мм) побудови проектних векторів слід дотримуватися таких рекомендацій: кількість супутників  $\geq 15$ , HRMS  $\leq 0,009$ , GNSS приймач повинен бути налаштований хоча б на 25 усереднень (наведені методичні рекомендації справедливі для часткового випадку, коли розмічувальні роботи виконуються в 10 км зоні від перманентної станції).

#### Список літератури:

1. Баран П.І. Інженерна геодезія. Київ : в-во ВІПОЛ, 2012. 618 с.
2. Бурак К.О., Лиско Б.О. Exploring the accuracy of lengths constructions when solving the engineering geodesy issues with RTN method. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. 2017. № 85. С. 5–12.
3. Бурак К.О., Лиско Б.О. The possible uses of RTN solutions for markup works on construction. *Geodesy, Cartography and Aerial Photography*. 2018. № 87. С. 18–23.
4. Бурак К.О., Лиско Б.О. Implementation of alternative algorithms for defining the transformation parameters of USK-2000 and coordinate systems of general layout during the marking operations. *Archives of Institute of Civil Engineering*. 2018. № 87. С. 49–60.
5. Дослідження точності визначення координат GNSS методом в режимі RTK / А.Й.Віват, В.О. Літинський, та ін. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2011. № 74. С. 52–59.
6. Заблоцький Ф., Савчук М. Точність вологої складової зенітної тропосферної затримки, виведеної із GPS-спостережень. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. I (27). С. 52–54.
7. Задемленюк А.В. Дослідження впливу похибок на супутникові вимірювання в RTK-режимі. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2010. № 73. С. 25–33.
8. Задемленюк А.В. Результати експериментальних досліджень точності визначення координат та практичне застосування RTK-технології з використанням GPRS Internet з'єднання. *Геодезія, архітектура та будівництво*. Львів, 2009. Вип. 2. С. 130–133.

9. Літнарівич Р. М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Рівне : МЕРУ, 2011. 140 с.
10. Терещук О. І. Методика та результати дослідження кінематичних визначень координат різними GNSS-приймачами. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2014. № 80. С. 48–61.
11. Янків-Вітковська Л.М., Задемленюк А.В. Дослідження азимутально-часових варіацій стану іоносфери за спостереженнями з мережі GNSS-станцій. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2014. № 80. С. 40–47.
12. Tale of two RTNs : Rigorous evaluation of real-time network GNSS observations / Allahyari M., Olsen M., et al., eds. *Journal of Surveying Engineering*. 2018. 144. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000249.
13. Gujarati D.N., Porter D.C. *Basic Econometrics* (5th ed.). Boston : McGraw-Hill Irwin, 2009.
14. GNSS Mission Planning. URL: <http://gnssmissionplanning.com/App/Settings/> (дата звернення 15.09.2018).
15. Kizil U., Tisor L. Evaluation of RTK-GPS and Total Station for applications in land surveying. *Journal of Earth System Science*. 2011. № 120. С. 215–221.
16. Mullenix D., Fulton J., Brooke A. RTK Networks : Single Baseline and Network Solution Options. *Timely information Agriculture, Natural Resources & Forestry*. 2011. С. 1–2.
17. Analysis of the TXDOT RTN and OPUS-RS from the geoid slope validation survey of 2011 : Case study for Texas / D. Smith, K. Choi, D. Prouty, et al., eds. *Journal of Surveying Engineering*. – 2014. 140. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000136, 05014003.
18. Weaver B., Gillins D., Dennis M. Hybrid Survey Networks : Combining Real-Time and Static GNSS Observations for Optimizing Height Modernization. *Journal of Surveying Engineering*. 2018. 144 (1). DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000244.
19. Bonenberg L.K. Closely-coupled integration of Locata and GPS for engineering applications : PhD thesis. University of Nottingham, 2014. 184 p.

**Burak K.O., Lysko B.O. INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETER EFFECT ON DETERMINING ACCURACY OF VECTOR RELATIVE COORDINATE BY RTN SOLUTIONS**

*The aim of this work is to study the possibility to conduct the marking engineering-geodesic works by the RTN method on the abutting sites with asynchronous observations during unlimited (depending on the work conditions, may be even 1-2 days) time. In order to achieve this aim, the following tasks have been set: to develop a mathematical model and study the accuracy dependency of vector development with RTN solutions by GNSS receiver from DOP parameters, especially with recurring changes; to set the informative value of DOP technological parameters in order to predict the measurements accuracy during the planning and marking engineering-geodesic works when the synchronous observation is not possible. The research was made on the etalon basis to study the accuracy of vectors (lines) development. The study was made in the RTN mode with the receiver set to detect the differential adjustments from System Solutions network. Practical value: It was found that it is possible to develop vectors by using the RTN solutions for planning and marking works on the construction site due to the high accuracy, possibility to continue works over some period of time because of the DOP technological parameters recurrence. Scientific novelty of the obtained results covers developing a mathematical model and studying the influence of DOP technological parameters on the accuracy of the process of vector (line) development by the RTN method as the result of GNSS measurement processing on the points of the etalon site, located in 10 km zone from the System Solutions permanent station.*

**Key words:** GNSS, coordinates, RTN measurement, planning works, total station.

УДК 528.4:332.3  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.4-1/25>

**Нестеренко С.Г.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Радзінська Ю.Б.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Афанасьєв О.В.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Фролов В.О.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМІВ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ТОПОГРАФІЧНИХ ПЛАНІВ МІСЦЕВОСТІ

*У роботі досліджено сучасне картографічне забезпечення та особливості застосування топографічних планів із метою створення електронних топографічних планів з урахуванням сучасних умов розвитку геопросторових даних. Визначено передумови створення електронних топографічних планів місцевості; проаналізовано міжнародний досвід щодо створення та застосування електронних топографічних матеріалів; визначено поняття і види топографічних планів місцевості та причини створення цифрових класифікаторів; досліджено можливості розробки електронних топографічних планів для їх застосування в сучасних умовах картографічного забезпечення на території України. Проаналізовані види класифікаторів, які відображаються на електронних топографічних планах. Удосконалено поняття електронного топографічного плану як складової частини сучасного топографічного забезпечення для складання проектів у різних сферах будівництва та геодезичного забезпечення експлуатації і моніторингу наявних будов.*

*У результаті аналізу матеріалів попередніх досліджень та сучасного нормативно-правового забезпечення визначено найбільш прийнятні дані для розробки топографічної основи в міських умовах. Досліджено види топографічних планів для створення їх електронної картографічної основи. Запропоновані напрями подальших досліджень щодо створення якісної геопросторової основи для картографічного забезпечення території України. Зазначені напрями мають єдину систему та уніфіковані бази даних, що дасть змогу забезпечити підвищення швидкості та якості обміну даними між органами влади, місцевого самоврядування, профільними організаціями і звичайними користувачами.*

*Основні результати, отримані в результаті досліджень, полягають у реалізації елементів ефективності використання електронних топографічних планів на території України з урахуванням складних технологічних особливостей їх створення.*

**Ключові слова:** картографічні дані, топографічний план, електронний топографічний план, міжнародний досвід, геопросторові дані, топографо-геодезична діяльність.

**Постановка проблеми.** Основною причиною застосування електронних топографічних планів є те що, на міжнародному рівні в 2001 р. був введений стандарт ISO CD 191 10 (15046–10) «Geographic information – Part 10: Feature cataloguing methodology», який був створений на чисельно-буквенному принципі кодування. Деякі національні картографічні органи локалізували цей ISO. Наприклад, в Уругваї в 2013 р. з'явилася перша версія «Catálogo de Objetos Geográficos y Símbolos (COGS)». У ньому об'єкти мають такі самі коди, перелік атрибутів і їх значень, як і в міжнародному стандарті. Однак поки залиша-

ються країни, незважаючи на переваги стандарту ISO CD 191 10 (15046–10), які все одно користуються власними спробами для створення ЦК. Бразилія з 2007 р. має власну специфікацію «Технічні характеристики за структурою векторних цифрових геопросторових даних», який по-своєму описує об'єкти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для топографічного картографування в Україні введено два класифікатора:

– Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500, затверджений наказом

Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 25 від 09.03.2000 р. [1],

– Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000, затверджений начальником Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України в 1998 р. і узгоджений із начальником Центрального топографічного управління Генерального штабу Збройних сил України [2].

**Постановка завдання.** Метою цієї статті є дослідження сучасного картографічного забезпечення та особливостей застосування топографічних планів для створення електронних топографічних планів з урахуванням сучасних умов розвитку геопросторових даних.

Для досягнення мети в статті вирішено такі завдання: визначити передумови створення електронних топографічних планів місцевості; проаналізувати міжнародний досвід щодо створення та застосування електронних топографічних матеріалів; визначити поняття і види топографічних планів місцевості та причини створення цифрових класифікаторів; дослідити можливості розробки електронних топографічних планів для їх застосування в сучасних умовах картографічного забезпечення територій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Електронні топографічні карти – це цифрові топографічні карти, які візуалізуються або готуються для візуалізації в топографічних символах, створених для певного масштабу карти, і створюються з використанням спеціальних електронних або оптоелектронних пристроїв і відповідних програмних засобів [3]. До нормативно-правового забезпечення щодо створення електронних топографічних планів місцевості зараховують, насамперед, нормативно-правове забезпечення для звичайних топографічних планів, тому як електронний топографічний план створюється на основі звичайного. До них належать:

– Закон України «Про топографічно-геодезичну і картографічну діяльність» [1];

– Постанова від 4 вересня 2013 р. № 661 «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» [6];

– Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних планах масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (Додаток 1);

– Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 [7];

– Закон України «Про Державний земельний кадастр» [8];

– Порядок ведення Державного земельного кадастру [9];

– ДБН В.1.3–2–2010 Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві Геодезичні роботи у будівництві;

– Постанова «Про створення Державного картографо-геодезичного фонду України» [10];

– Постанова «Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» [11];

Топографо-геодезичні і картографічні роботи загальнодержавного призначення – це основні роботи з геодезії, що проводяться на території України. Вони є фундаментом всіх подальших дій, які пов'язані з топографо-картографічною та геодезичною діяльністю в нашій країні, а саме розробки топографічних карт і планів.

Згідно із Законом України «Про топографічно-геодезичну діяльність» [1] до основних загальнодержавних топографо-геодезичних і картографічних робіт належать: створення та оновлення державних топографічних карт і планів у графічній, цифровій, фотографічній та інших формах, точність і зміст яких забезпечують вирішення загальнодержавних, оборонних, науково-дослідних та інших завдань, видання цих карт і планів; створення та оновлення кадастрових карт (планів), надання їх, а також необхідної топографо-геодезичної інформації користувачам для ведення Державної реєстраційної системи землі та іншого нерухомого майна, ведення банку даних [2].

Топографічний план являє собою зображення на площині проекції, безумовно, на великому масштабі, на обмеженій ділянці місцевості, без урахування кривизни земної поверхні (рис. 1).



Рис. 1. Приклад топографічного плану М 1:10 000

Нині застосовуються основні масштаби для топографічних планів: 1:5000, 1:2000, 1:1000 і

1:500. За змістом топографічні плани розділяються на основні і спеціальні. Основними планами є загальні географічні плани універсального призначення, призначені для комплексного задоволення основних вимог багатьох галузей економіки. Спеціальні плани створені для вирішення конкретних завдань окремої галузі господарств; при їх розробці дозволено застосовувати додаткову інформацію, підвищувати вимоги до точності зображення всіх частини контурів і місцевості, а також відмовлятися від будь-якої частини змісту, призначеної для основного варіанту топографічного плану.

Топографічні плани відрізняються за масштабом один від одного, тобто і детальністю. Чим більше масштаб, тим детальніше показана ділянка місцевості і тому більший масштаб є набагато інформативнішим. А при невеликих масштабах, навпаки, вони показують загальну інформацію про рельєф і предмети, що розташовані на ньому.

Інженерні топографічні плани поділяються на три основні типи [3] залежно від деталізації відображення.

1) Геопідоснова – це сама офіційна топографічна карта (рис. 2). Такі плани в основному складаються в масштабі 1:500 і включають підземні інженерні комунікації. Усі комунікаційні мережі, прикріплені до креслення, мають погоджуватися з організаціями, що їх експлуатують. На відміну від інших топографічних схем і планів, геопідоснова може окреслити кілька планів. Як правило, ці плани розташовані поблизу геодезичних досліджень і містять інформацію про геологічний склад ґрунту, який формує досліджувану територію [4].



Рис. 2. Топографічна геопідоснова

2) План горизонтальної зйомки (рис. 3) виконується для визначення контурів ділянок і об'єктів, що розташовані на території, та проводиться розрахунок площ земельних ділянок, а також їх розташування. Особливістю горизонтальної зйомки є

те, що на ній відсутні дані про рельєф місцевості та висоту [5].

Створення таких планів є необхідним у процесі розподілу земельних ділянок у котеджних кооперативах або визначення розмірів незабудованих земель.

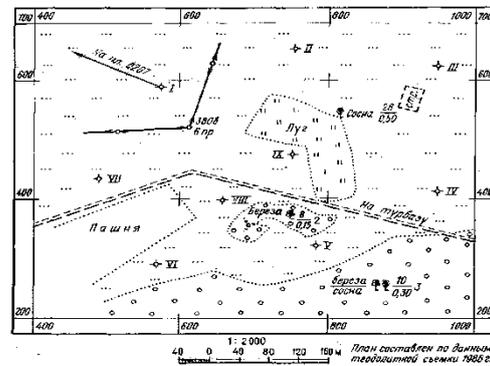


Рис. 3. План горизонтальної зйомки

3) Подеревневий план – найбільш докладний топографічний план (рис. 4). Він виконується у масштабі від 1:500 і більше. Зазвичай на таких планах відображуються рослинні елементи, докладний рельєф, будівлі і споруди та гідрографія місцевості.



Рис. 4. Приклад подеревневого плану

Подеревний план використовується для ландшафтного дизайну, дизайну дендраріуму, а також для озеленення в містах і селах [6].

**Висновки.** Таким чином, проаналізовано види та особливості застосування топографічних планів місцевості та визначено, що найбільш придатним для розробки електронних топографічних мап у міських умовах є геопідоснова масштабу 1:500.

Визначено найбільш придатні масштаби та види топографічних планів для створення їхньої електронної картографічної основи. Реалізація зазначених напрямів застосування цифрових класифікаторів дасть змогу створити якісну геопросторову основу для картографічного забезпечення

території України, що матиме єдину систему та уніфіковані бази даних. Такі дані підвищать швидкість і якість обміну даними між органами влади та місцевого самоврядування, а також профільними організаціями і звичайними користувачами.

Основні результати, отримані в розробці статті, полягають у реалізації елементів дослідження ефективності використання електронних топографічних планів на території України. Таким чином, поставлені цілі у статті досягнуті.

#### Список літератури:

1. Мамонов К.А., Нестеренко С.Г., Вяткін К.І. ГІС-забезпечення у раціональному використанні земельних ресурсів міської забудови. *Науковий вісник будівництва*. Харківський національний університет будівництва та архітектури. Харків, 2016. Том 86. № 4. 323 с.
2. Білоконь Ю.М. Містобудівне управління розвитком територій. Київ : Укрархінформ, 2002. 160 с.
3. Дехтяренко Ю. Ф. Регулювання земельних відносин в місті / Ю.Ф. Дехтяренко, О.І. Драпиковський, І.Б. Іванова. Київ : Основи, 1997. 144 с.
4. Третьяк Н.А. Окремі аспекти механізмів управління капіталізацією земельних ресурсів. *Землеустрій, кадастр і моніторинг земель*. 2014. № 1-2. С. 11–21.
5. Нестеренко С.Г. Дослідження земельного адміністрування та геоінформаційного забезпечення міського будівництва України. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2017. № 1/4 (33). С. 24–28.
6. Радзінська Ю.Б. Теоретичні підходи щодо визначення інвестиційної привабливості земель міст. *Комунальне господарство міст*. Сер. Технічні науки та архітектура. 2017. Вип. 137. С. 25–30.
7. Enemark S. Updating digital cadastral maps. *The Danish experience*. FIGcongress, Brighton, 1998.
8. Land Code of Ukraine of October 25, 2001, No. 2768-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14> (02.06.2019).
9. Law of Ukraine “On Land Management” of May 22, 2003 No. 858-IV URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/858-15> (02.06.2019).
10. Law of Ukraine “On topographic and geodetic and cartographic activity” of December 23, 1998, No. 353-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14> (June 3, 2019).
11. The Law of Ukraine “On State Land Cadastre” dated July 7, 2011 No. 3613-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/3613-17> (June 3, 2019).

**Nesterenko S.G., Radzinskaya Y.B., Afanasyev O.V., Frolov V.O.**

#### **RESEARCH OF DIRECTIONS AND TECHNOLOGY OF APPLICATION OF ELECTRONIC TOPOGRAPHICAL PLANS OF THE AREA**

*The paper investigates the modern cartographic support and features of the application of topographic plans for the creation of electronic topographic plans, taking into account the current conditions of development of geospatial data. The prerequisites for the creation of electronic topographic plans of the terrain are determined; international experience in creating and using electronic topographic materials is analyzed; the concepts and types of topographic plans of the terrain and the reasons for creating digital classifiers are determined; Possibilities of development of electronic topographic plans for their application in modern conditions of cartographic support in Ukraine are investigated. The types of classifiers that are displayed on the electronic topographic plans are analyzed. The concept of electronic topographic plan as a component of modern topographic support for drafting projects in various spheres of construction and geodetic maintenance of operation and monitoring of existing structures has been improved.*

*As a result of the analysis of the materials of the previous researches and the modern legal support the most relevant data for the development of the topographic basis in urban conditions were determined. The types of topographic plans for the creation of their electronic mapping basis are investigated. The directions of further researches on creation of high-quality geospatial basis for cartographic support of the territory of Ukraine are offered. These destinations have a unified system and unified databases, which will allow to increase the speed and quality of data exchange between authorities, local governments, profile organizations and ordinary users.*

*The main results obtained from the research are to implement the elements of the efficiency of the use of electronic topographic plans in the territory of Ukraine, taking into account the complex technological features of their creation.*

**Key words:** map data, topographical plan, electronic topographical plan, international experience, geospatial data, topographic and geodetic activity.

## Відомості про авторів

**Артеменко М.Ю.** – доктор технічних наук, професор кафедри акустики та акустoeлектроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Афанасьєв О.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Бобровник В.М.** – аспірант кафедри енергоменеджменту та прикладної електроніки Київського національного університету технологій та дизайну;

**Богдан В.О.** – магістрант кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Борейко М.Г.** – аспірант відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України;

**Будник В.М.** – молодший науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Будник М.М.** – доктор технічних наук, головний науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України;

**Будник М.М.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, головний науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Бурак К.О.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**Гончар С.Ф.** – кандидат технічних наук, учений секретар Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України;

**Гончаров Є.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри загальної електротехніки Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Дегтярук В.І.** – науковий співробітник відділу перетворювачів форми інформації Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Дубко В.А.** – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Дудикевич В.Б.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри захисту інформації Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка»;

**Жученко А.І.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Іванов М.А.** – магістр факультету комп'ютерних наук та технологій Національного університету «Запорізька політехніка»;

**Істоміна Н.М.** – старший викладач кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Каплун В.В.** – доктор технічних наук, професор кафедри електропостачання імені В.М. Синькова Національного університету біоресурсів та природокористування України;

**Киричек Г.Г.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»;

**Ковальчук А.М.** – кандидат технічних наук, доцент, Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Козленко О.В.** – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Конох І.С.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Коровін О.С.** – студент II курсу магістратури Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Круглик В.С.** – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Кудін О.О.** – старший викладач Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Купін А.І.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького національного університету;

**Лавер В.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних управляючих систем і технологій ДВНЗ «Ужгородський національний університет»;

**Лиско Б.О.** – асистент кафедри геодезії та землеустрою Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**Марчук Г.В.** – Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Марчук Д.К.** – Державний університет «Житомирська політехніка»;

**Мисько Б.С.** – аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького національного університету;

**Мудренко М.І.** – провідний інженер відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Наумук О.В.** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Нестеренко С.Г.** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Пасов Г.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Чернігівського національного технологічного університету;

**Пашинська Н.М.** – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

**Повхан І.Ф.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем ДВНЗ «Ужгородський національний університет»;

**Поліщук М.М.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Приходько Н.В.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри фінансів Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Прокоф'єв Є.Г.** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Путренко В.В.** – кандидат географічних наук, старший науковий співробітник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Рагулін С.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету;

**Радзінська Ю.Б.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Риженко Т.М.** – молодший науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Романюков М.Г.** – аспірант кафедри інформатики та управління захистом інформаційних систем Одеського національного політехнічного університету;

**Рудик А.В.** – кандидат технічних наук, доцент;

**Сабодашко Д.В.** – аспірант кафедри захисту інформації Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка»;

**Сенько А.О.** – асистент кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького національного університету;

**Сиройжка І.О.** – завідувач лабораторії кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету;

**Ситніков О.В.** – старший викладач кафедри автоматизації хімічних виробництв Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Сіциліцин Ю.О.** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Слонов М.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри спеціальних дисциплін Воєнно-дипломатичної академії імені Євгенія Березняка;

**Терейковська Л.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури;

**Фролов В.О.** – аспірант кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова;

**Ходаковський М.І.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Хома В.В.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри захисту інформації Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка»; професор Інституту Автоматики Політехніки Опольської (Польща);

**Хома Ю.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології Національного університету «Львівська політехніка»;

**Чайковський І.А.** – кандидат медичних наук, провідний науковий співробітник відділу пристроїв, систем та технологій безконтактної діагностики Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова Національної академії наук України;

**Чекурін В.Ф.** – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу Інституту прикладних проблем механіки і математики імені Я.С. Підстригача НАН України; професор Куявсько-Поморського університету в Бидгощі (Польща).

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 30 (69) № 4 2019**

**Частина 1**

Коректура • *Н. Пирог*

Комп'ютерна верстка • *Н. Кузнєцова*

Адреса редакції:

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

м. Київ, вул. Івана Кудрі, 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 60x84/8. Гарнітура Times New Roman.

Папір офсетний. Цифровий друк. Обл.-вид. арк. 14,13. Ум.-друк. арк. 17,44. Зам. № 0919/182

Підписано до друку 30.08.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.