

**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) № 6 2019**

**Частина 1**



Видавничий дім  
«Гельветика»  
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;

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

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

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

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

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

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

**Лисенко Олександр Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри телекомунікацій 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;

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 4 від 20.12.2019 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

### ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

**Мигаль Г.В., Протасенко О.Ф.**

ІНЖЕНЕРІЯ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА В СУЧАСНІЙ ОСВІТІ.....1

### АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

**Рагулин С.В., Шарабайко А.Н., Сыроижка И.О.**

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ...7

### ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

**Кирик В.В.**

НЕЛІНІЙНІ ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 КВ..... 16

### РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

**Борисов Г.О., Трапезон О.Г., Трапезон К.О.**

ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ  
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ IOS.....22

### ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

**Andriushchenko T.U.**

APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF RELATIONSHIPS OF PUBLISHING-POLYGRAPHIC  
ENTERPRISES IN THE SYSTEM OF SUPPORTING DECISION MAKING.....27

**Бунке О.С.**

ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ INTERNET  
OF THINGS НА ОСНОВІ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....31

**Говоровський С.В., Базалій М.Ю.**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗМІЩЕННЯ ТОВАРНИХ ПОЗИЦІЙ НА СКЛАДІ..... 37

**Голіков Н.А., Корнага Я.І.**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ВИДІВ ГРИБІВ..... 42

**Головацький І.В., Корнага Я.І.**

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ..... 47

**Dychka I.A., Yerastova V.V., Oleshchenko L.M., Yurchyshyn V.Ya.**

SOFTWARE METHOD OF SCIENTISTS CLUSTERING BASED  
ON AUTHORS ASSOCIATION WITH PUBLICATIONS KEYWORDS..... 51

**Кирийчук Д.Л.**

ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ МЕТОДІВ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ ПОБУДОВІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ  
ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ РІЧТРАКІВ.....57

**Кисіль В.В., Драч І.В., Кисіль Т.М.**

МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ СКЛАДАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ЗА УМОВИ  
ЗАДОВОЛЕННЯ ОБ'ЄКТИВНИХ ТА СУБ'ЄКТИВНИХ ВИМОГ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ.....65

**Козел В.М.**

МІСЦЕ ТА РОЛЬ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ  
В СИСТЕМІ УПРАВЛІННІ ВИЩІМ НАВЧАЛЬНИМ ЗАКЛАДОМ..... 71

<b>Комлева Н.О., Зіноватна С.Л., Марулін С.Ю., Оніщенко Т.В.</b> ПОБУДОВА МОДЕЛІ АТРИБУТІВ ЯКОСТІ ФОРМАЛЬНИХ ГРАМАТИК ТА МОВ ПРОГРАМУВАННЯ.....	77
<b>Кострикіна Д.А.</b> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РІВНЯ ДОСТУПНОСТІ ВЕБ-ДОДАТКІВ.....	82
<b>Коцун В.І.</b> ВЕБ-СЕРВІС ПОШУКУ ЗНАЙДЕНИХ ТА ЗАГУБЛЕНИХ РЕЧЕЙ «БЮРО ЗНАХІДОК».....	88
<b>Круглик В.С., Осадча К.П., Прокоф'єв Є.Г., Ліхачев Д.С., Прядко А.О.</b> ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАКЛАДІВ “НОРЕСА”.....	95
<b>Лаптів О.А., Чумаченко С.М., Половінкін І.М., Гуйда О.Г.</b> ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ МОДЕЛІ ПОШУКУ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ.....	101
<b>Лошак К.Р., Беглов К.В.</b> НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ У ЗМІШУВАЛЬНОМУ БАКУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН.....	105
<b>Мазур Д.С., Тіменко А.В., Шкарупило В.В., Кудерметов Р.К.</b> ПІДХІД ДО РЕАЛІЗАЦІЇ OPENFLOW-СУМІСНИХ КОМУТАТОРІВ НА ОСНОВІ RASPBERRY PI.....	112
<b>Озерова Д.С., Уліцька О.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ГРУПІ ПІДГРІВАЧІВ ВИСОКОГО ТИСКУ.....	117
<b>Олексій А.В., Корнага Я.І.</b> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ КЛЮЧІВ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ.....	123
<b>Осадчий В.В., Круглик В.С., Єремєєв В.С., Ліхачов К.С., Іванов О.А.</b> ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ФУРНІТУРИ З МОЖЛИВІСТЮ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ.....	128
<b>Паламарчук І.О., Базака Ю.А.</b> СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ДОМАШНІХ ТВАРИН ДЛЯ РОЗУМНОГО ДОМУ.....	133
<b>Пелюх П.О.</b> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ ПІДТРИМКИ ТИСКУ ПАРИ У ДРУГОМУ КОНТУРІ.....	138
<b>Петренко Ф.В., Дьяков С.О.</b> ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ОБРАХУНКІВ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ І АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ДОШКІЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ.....	143
<b>Плохотнюк М.А., Уліцька О.О.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В ГРУПІ ПІДГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ АЕС.....	148
<b>Повхан І.Ф.</b> ПИТАННЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.....	154
<b>Роспопа П.П.</b> СИСТЕМА РОЗУМНОГО МІСТА НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ.....	159
<b>Терейковська Л.О.</b> МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ КЛАВІАТУРНОГО ПОЧЕРКУ.....	164



**Циба Т.Є., Шевченко В.В.**  
ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....169

**Шайдурова К.А.**  
ГАРАНТОВАНИЙ ПОРЯДОК ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕНЬ У ХМАРНИХ СИСТЕМАХ..... 174

**Шаповалова М.І., Водка О.О.**  
КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ ПАРАМЕТРИЧНИХ СТАТИСТИЧНО ЕКВІВАЛЕНТНИХ  
МОДЕЛЕЙ МІКРОСТРУКТУРИ ВИСОКОМІЩНОГО ЧАВУНУ  
ДЛЯ АНАЛІЗУ ЙОГО ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК!.....179

**Шкарупило В.В., Євдокимов В.Ф., Душеба В.В.**  
ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМАЛЬНИХ МЕТОДІВ  
ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....188

## **ЕНЕРГЕТИКА**

**Бойко С.М.**  
МОДИФІКОВАНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС  
СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ УМОВ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....194

**Мартинюк Є.А., Беглов К.В.**  
МОДЕЛЮВАННЯ АСР ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ «К».....198

**Павлов Г.О., Кулагін Д.О.**  
ОЦІНКА ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МАЛИХ РІЧОК УКРАЇНИ  
ТА СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ.....203

**Сівакова О.М., Федів Є.І.**  
СИЛОВІ ВИПРЯМЛЯЧІ СТРУМУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....211

**Сінчук О.М., Бойко С.М., Некрасов А.В., Ножнова М.О., Онищенко А.О.**  
МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ  
ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....217

**Шелешей Т.В.**  
ЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ І ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ  
В АТМОСФЕРУ ПІД ЧАС СПАЛЮВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА.....221

# CONTENTS

## APPLIED GEOMETRY, ENGINEERING GRAPHICS AND ERGONOMICS

**Mygal G.V., Protasenko O.F.**

HUMAN FACTOR ENGINEERING IN MODERN EDUCATION .....1

## AIRCRAFT AND AEROSPACE TECHNIQUES

**Rahulin S.V., Sharabaiko A.N., Syroizhka I.O.**

ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF AIRCRAFT MAINTENANCE.....7

## ELECTRICAL ENGINEERING

**Kyryk V.V.**

NONLINEAR SURGE ARRESTER IN 10 kV DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS.....16

## RADIO ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS

**Borysov G.O., Trapezon O.G., Trapezon K.O.**

ACOUSTIC SIGNAL PROCESSING FEATURES BASED ON IOS SOFTWARE .....22

## INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Andriushchenko T.U.**

APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF RELATIONSHIPS OF PUBLISHING-POLYGRAPHIC  
ENTERPRISES IN THE SYSTEM OF SUPPORTING DECISION MAKING.....27

**Bunke A.S.**

FOREIGN EXPERIENCE OF USING THE INTERNET  
OF THINGS PLATFORM BASED ON CLOUD TECHNOLOGIES .....31

**Hovorovskyi S.V., Bazalii M.Yu.**

INTELLIGENT SYSTEM OF PLACING ITEM POSITIONS IN A WAREHOUSE .....37

**Holikov N.A., Kornaha Ya.I.**

INTELLECTUAL SYSTEM FOR RECOGNITION OF MUSHROOM TYPES .....42

**Holovatsky I.V., Kornaha Ya.I.**

INTELLECTUAL SYSTEM OF RECOGNITION OF ROAD ELEMENTS .....47

**Dychka I.A., Yerastova V.V., Oleshchenko L.M., Yurchyshyn V.Ya.**

SOFTWARE METHOD OF SCIENTISTS CLUSTERING BASED  
ON AUTHORS ASSOCIATION WITH PUBLICATIONS KEYWORDS..... 51

**Kyryichuk D.L.**

USING OBJECT-ORIENTED SOFTWARE DEVELOPMENT METHODS  
TO BUILD AN INFORMATION SYSTEM FOR REACH TRUCK DIAGNOSIS .....57

**Kysil V.V., Drach I.V., Kysil T.M.**

TASK OF CREATION AND OPTIMIZATION OF LEARNING SCHEDULE THAT SUPPLEMENTS S  
TRICT AND VOLATILE REQUIREMENTS MODEL .....65

**Kozel V.M.**

THE LOCATION AND ROLE OF THE INFORMATION INTERACTION SYSTEM  
IN THE HIGHER EDUCATION MANAGEMENT SYSTEM.....71

**Komleva N.O., Zinovatna S.L., Marulin S.U., Onishchenko T.V.**

CONSTRUCTION OF MODEL OF QUALITY ATTRIBUTES FOR FORMAL GRAMMARS  
AND PROGRAMMING LANGUAGES.....77

<b>Kostrykina D.A.</b> ANALYSIS OF THE CURRENT ACCESSIBILITY LEVEL OF WEB APPLICATIONS .....	82
<b>Kotsun V.I.</b> WEB SEARCHING SERVICE FOR FOUND AND LOST THINGS “LOST-AND-FOUND OFFICE” .....	88
<b>Kruglik V.S., Osadcha K.P., Prokofiev E.G., Lihachov D.S., Pryadko A.A.</b> PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF THE HORECA AUTOMATION PROGRAMMING COMPLEX .....	95
<b>Laptiev O.A., Polovinkin I.M., Chumachenko S.M., Guida O.G.</b> DETERMINATION OF THE BASIC CHARACTERISTICS OF THE RANDOM SIGNALS OF THE MODEL THE MEANS OF ILLEGAL OBTAINING OF INFORMATION.....	101
<b>Loshak K.R., Beglov K.V.</b> ADJUSTMENT OF THE FUZZY REGULATOR FOR AUTOMATIC CONTROL OF PARAMETERS IN THE MIXING TANK OF CHEMICAL SUBSTANCES.....	105
<b>Mazur D.S., Timenko A.V., Shkarupylo V.V., Kudermetov R.K.</b> APPROACH TO OPENFLOW-COMPATIBLE SWITCHES IMPLEMENTATION ON THE BASIS OF RASPBERRY PI .....	112
<b>Ozerova D.S., Ulitska O.O.</b> RESEARCH OF AUTOMATIC SYSTEM ADJUSTING WATER LEVEL IN GROUP OF HEATERS HIGH-PRESSURE .....	117
<b>Oleksii A.V., Kornaha Ya.I.</b> INTELLECTUAL SYSTEM OF RECOGNITION OF VISUAL KEYS FOR MOBILE APPLICATIONS.....	123
<b>Osadchyi V.V., Kruhlyk V.S., Yeremieiev V.S., Likhachov K.S., Ivanov O.A.</b> FEATURES OF DEVELOPMENT OF SOFTWARE OF COMPLEMENTED REALITY FOR DISPLAY OF INTERACTIVE FURNITURE WITH POSSIBILITY OF CONTROL .....	128
<b>Palamarchuk I.O., Bazaka Yu.A.</b> PETS RECOGNITION SYSTEM FOR SMART HOME .....	133
<b>Peliukh P.O.</b> AUTOMATED SYSTEM OF REGULATION OF POWER OF NPP WITH VVER-1000 REACTOR IN THE MODE OF STEAM PRESSURE SUPPORT IN THE SECOND CIRCUIT .....	138
<b>Petrenko F.V., Diakov S.O.</b> USING CLOUD COMPUTING AND THE INTERNET OF THINGS TO MONITOR CLIMATE PERFORMANCE AND AUTOMATE BUSINESS PROCESSES IN PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS.....	143
<b>Plokhotniuk M.O., Ulitska O.O.</b> RESEARCH OF THE AUTOMATIC CONDENSATE LEVEL CONTROL SYSTEM IN THE LOW PRESSURE HEATER GROUP .....	148
<b>Povkhan I.F.</b> THE QUESTION OF THE DESCRIPTION OF THE DISCRETE IMAGES IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS.....	154
<b>Rospopa P.P.</b> SMART CITY SYSTEM BASED ON NEURAL NETWORKS.....	159
<b>Tereikovska L.A.</b> METHOD FOR DETERMINING THE TYPE OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR ANALYSIS OF THE KEYBOARD HANDWRITING .....	164
<b>Tsiba T.E., Shevchenko V.V.</b> INCREASING THE ACCURACY OF PARTS WORKING IN AUTOMATIC MANUFACTURING .....	169
<b>Shaidurova K.A.</b> GUARANTEED MESSAGE DELIVERY ORDER IN THE CLOUD-BASED SYSTEMS .....	174

<b>Shapovalova M.I., Vodka O.O.</b> COMPUTER METHODS FOR CONSTRUCTING PARAMETRIC STATISTICALLY EQUIVALENT MODELS OF HIGH-STRENGTH CAST IRON MICROSTRUCTURE TO ANALYZE IT'S ELASTIC CHARACTERISTICS.....	179
<b>Shkarupylo V.V., Evdokimov V.F., Dusheba V.V.</b> FORMAL METHODS USAGE WITH RESPECT TO CRITICAL SYSTEMS CHECKING.....	188
<b>POWER ENGINEERING</b>	
<b>Boiko S.M.</b> MODIFIED ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF SOLAR POWER PLANT FOR CONDITIONS OF IRON GAS ENTERPRISES .....	194
<b>Martyniuk E.A., Beglov K.V.</b> SIMULATION ASR OF POWER OF THE POWER UNIT OF THE NPP WITH VVER-1000 IN MODE "K".....	198
<b>Pavlov H.O., Kulahin D.O.</b> ASSESSMENT OF THE SMALL RIVER HYDRO-ENERGY POTENTIAL OF UKRAINE, ASSESSMENT OF THE POTENTION AND THE PROSPECTS OF SMALL HYDRO-ENERGY DEVELOPMENT .....	203
<b>Sivakova O.M., Fediv Ye.I.</b> POWER RECTIFIERS FOR SMART GRID .....	211
<b>Sinchuk O.M., Boiko S.M., Nekrasov A.V., Noznova M.O., Onichenko A.O.</b> METHOD OF OPTIMIZING OPERATING MODES FOR POWER EQUIPMENT OF IRON ORE ENTERPRISES.....	217
<b>Sheleshey T.V.</b> BACKGROUND OF THE TEMPERATURE OF THE FUEL GASES AND HARMFUL EMISSIONS IN THE ATMOSPHERE WITH THE BURNING OF DIFFERENT KINDS OF FUEL.....	221

# ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА ТА ЕРГОНОМІКА

УДК 331.101.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/01>

**Мигаль Г.В.**

Національний аерокосмічний університет імені М.Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**Протасенко О.Ф.**

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

## ІНЖЕНЕРІЯ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА В СУЧАСНІЙ ОСВІТІ

*Сучасні технології та системи потребують спеціалістів нової формації, що володіють не вузько спрямованими професійними знаннями, а міждисциплінарними. Це проявляється в появі нових технологій, які завдяки поєднанню досягнень різних наукових напрямів дають високоефективні результати. Наприклад, у сфері сучасних цифрових технологій широко застосовують досягнення нейронаук і когнітивних наук, що підвищує якість програмних продуктів; у галузі медицини використовують досягнення нейробіології і психології, що дає змогу розробляти нові підходи до лікування.*

*Водночас навчання в таких галузях знань, як механічна інженерія, виробництво та технології, транспорт тощо, відбувається в певному відриві від сучасних потреб щодо застосування міждисциплінарних наук. При цьому для цих галузей актуальним є створення максимально безпечних, надійних та ефективних систем, досягти чого можна лише за умов використання міждисциплінарних знань. У світлі цього особливої уваги заслуговує такий напрям, як інженерія людського чинника, застосування якого у виробництві є запорукою безпеки ергатичних систем. На жаль, у вітчизняних закладах освіти ця навчальна дисципліна сьогодні майже не представлена. Однак уміння запобігти ризикам і мінімізувати можливі негативні наслідки, пов'язані з людським чинником, – це сьогодні одна з найсуттєвіших професійних навичок, яку потрібно опановувати під час навчання в закладах вищої освіти. Отже, метою роботи є довести важливість дослідження й аналізу ролі людського чинника на всіх етапах життєвого циклу ергатичних систем.*

*Основні результати роботи полягають у такому: а) досліджено зміст навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» в тому форматі, який використовують зарубіжні заклади освіти; б) обґрунтовано необхідність викладання цієї дисципліни у вітчизняних закладах освіти; в) показано ключові питання, які необхідно висвітлювати під час викладання дисципліни «Інженерія людського чинника».*

*Практичну значимість проведеної роботи визначає позитивний досвід викладання навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» під час підготовки магістрів у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ».*

*Отже, впровадження у навчальні програми підготовки студентів навчальної дисципліни, присвяченої питанням інженерії людського чинника, є сьогодні обов'язковим для успішної підготовки студентів. Це дасть змогу забезпечити більш високу кваліфікацію майбутніх спеціалістів у їхній багатогранній діяльності у сфері проектування та експлуатації технологій. Адже інженерія людського чинника – це міждисциплінарний погляд на можливості людини в ергатичній системі на всіх етапах її життєвого циклу.*

**Ключові слова:** безпека, людський чинник, ергатична система, навчання.

**Постановка проблеми.** Сьогодні є певне протиріччя між інженерними реаліями та потребами й освітньою галуззю. Сучасні технології та системи потребують спеціалістів нової формації, що володіють не вузько спрямованими професій-

ними знаннями, а міждисциплінарними, які перебувають на перетині різних наук. Прикладом є поняття «системність», «життєздатність» і «стійкість», засвоєння і реалізація на практиці яких для спеціалістів, що займаються проектуванням,

експлуатацією, прийняттям рішень у складних динамічних системах, є необхідною умовою створення безпечних умов діяльності на робочому місці, а розуміння їхньої тісної залежності від особливостей і можливостей людини як головної ланки складних ергатичних систем дає змогу говорити про застосування системного підходу у вирішенні питань безпеки.

Практичне впровадження такого підходу можна спостерігати у сфері сучасних цифрових технологій, в якій широко застосовують досягнення нейронаук (нейроекономіки, нейроергономіки, нейробіології, нейромаркетингу тощо) та когнітивних наук (когнітивна ергономіка, когнітивні обчислення та інші); у галузі медицини сьогодні використовують найостанніші досягнення нейробіології і різних напрямів психології.

Очевидно, що для будь-якої галузі людської діяльності надзвичайно актуальним є створення максимально безпечних, надійних та ефективних систем. Проте на всіх етапах життєвого циклу будь-якої ергатичної системи ці якості безпосередньо залежать від психофізіологічних можливостей і обмежень людини (водія, пілота, диспетчера, конструктора, проєктувальника, менеджера тощо), яка приймає важливі рішення. Отже, саме від врахування людського чинника залежать безпечність, надійність і стійкість ергатичних систем, що проєктує та експлуатує людина.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Реалізацію вимог безпеки в певній галузі діяльності здійснюють спеціалісти, які проводять науково-технічні розробки – створюють нові технології, розробляють високотехнологічну продукцію, здійснюють її реалізацію та обслуговування. Саме тому невіддільним складником освітянської підготовки майбутніх інженерів є вивчення та дослідження низки питань безпеки складних систем, що пов'язані з людським чинником.

Сьогодні в програмах підготовки інженерів передбачено викладання навчальних дисциплін, пов'язаних із вивченням питань безпеки. Наприклад, безпека життєдіяльності, основи охорони праці, техногенна безпека та інші. Вони розкривають певні аспекти безпеки під час обслуговування та експлуатації сучасної техніки та технологій. Під час вивчення цих навчальних дисциплін студенти навчаються класифікувати небезпечні події за різними ознаками, оцінювати потенційну небезпеку технологій на різних етапах їхньої експлуатації, запобігати реалізації і ліквідувати наслідки небезпечних ситуацій тощо. Однак при цьому студенти не опановують навички дослідження й

аналізу причин, які знижують рівень безпеки, що негативно позначається на якості одержуваних ними вмінь. І тут важливо зазначити, що головною причиною низького рівня безпеки зазвичай є людський чинник, тобто особливості взаємодії людини та техніки в системі «людина – техніка – середовище». І саме людський чинник, на жаль, у більшості закладів вищої освіти сьогодні залишається поза увагою.

Проте сьогодні проблему забезпечення безпеки складних систем можна ефективно вирішувати вже на етапі їх проєктування, оскільки врахування людського чинника суттєво підвищує надійність та ефективність ергатичних систем [1, с. 378–380; 2, с. 24, 28; 3, с. 34]. Саме цей напрям когнітивного сприйняття технологій лежить в основі навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника», яку викладають у більшості технічних вишів Західної Європи та США. При цьому програма дисципліни «Інженерія людського чинника» (Human factors engineering) охоплює сукупності знань і процеси моделювання, проєктування та експлуатації ергатичних систем різного рівня складності. Необхідно також зазначити, що інженерія людського чинника – це не єдина дисципліна, яку викладають у навчальних закладах зарубіжних країн для засвоєння студентами необхідних навичок щодо забезпечення безпеки. Крім неї, також викладають такі навчальні дисципліни: Human Factors and Ergonomics, Human factors engineers, Ergonomics, Human Computer Interaction, Human Machine Interaction, Man-Machine System, People, Technology, Organization and Risk Management, Physical ergonomics, Usability Testing, Work Organization, Humans and Indoor Environments, Humans in Extreme Environments, Using Virtual Reality, Work physiology. Також у багатьох навчальних закладах [1, с. 377; 4, с. 14, 15] створені і користуються попитом бакалаврські, магістерські та докторські програми з інженерії людського чинника. Під час підготовки фахівців такого профілю основну увагу зосереджено на дослідженнях і аналізі проблем психологічних особливостей людини, її психофізіологічних обмежень, рівня поінформованості та вмотивованості працівників, їхньому бажанні використовувати свої ресурси та знання максимально ефективно.

**Постановка завдання.** Пріоритетність питання забезпечення надійності, життєздатності та безпеки на всіх етапах життєвого циклу систем «людина – техніка – середовище» зумовлює посилення вимог до науково-технічних розробок, що стимулює науковців до пошуку і застосування



нових нестандартних рішень, які вони знаходять саме на перетині різних наукових напрямів. Ба більше, застосування таких рішень сьогодні забезпечує максимально високі показники в питаннях як безпеки, так і ефективності технологій, рівня економічних показників тощо. Отже, володіння знаннями в сфері безпеки технологій та обладнання, безпеки життєдіяльності людини, уміння знайти нестандартне рішення, застосовуючи поєднання знань із різних наукових галузей, навички оцінювання ризиків у системі «людина – техніка – середовище» з різних позицій (технології, гігієни праці, психології, фізіології тощо) – ознаки найвищої кваліфікації працівника. Уміння запобігти ризикам і мінімізувати можливі негативні наслідки, пов'язані з людським чинником, – це сьогодні одна з найсуттєвіших професійних навичок.

Безумовно, досягти абсолютної безпеки в системах «людина – техніка – середовище» сьогодні неможливо. Проте технології та обладнання не несуть небезпеки, поки в них не задіяна людина, її діяльність і прийняття нею рішення, тому важливим є належне функціонування людини в таких системах. Найпростіший шлях досягти такого рівня функціонування працівника – навчання студентів необхідних знань, умінь і навичок під час навчання в закладах освіти через викладання їм відповідних навчальних дисциплін. Однак є кілька моментів, які цьому перешкоджають (рис. 1).

Ще один важливий момент, який вказує на важливість вивчення людського чинника під час навчання, – помилкове відчуття захищеності і безпечності, яке викликає в людини експлуатація

обладнання з високим рівнем безпеки. У цьому випадку мається на увазі обладнання, під час проектування якого передбачено захист від багатьох варіантів помилкових дій людини. Цей факт знижує увагу працівника до питань безпеки, оскільки він знає, що техніка виправить його помилки, забуваючи при цьому, що деякі помилки є невинними і призводять до реалізації аварій і катастроф. Тобто актуальним є акцент на питанні навчання студентів умінням досліджувати й аналізувати роль людського чинника на всіх етапах життєвого циклу системи «людина – техніка – середовище».

Підсумовуючи викладене, маємо таке: наслідком стрімкого розвитку виробничих технологій є необхідність засвоєння студентами не тільки основних принципів їхнього менеджменту і правового регулювання, але і вивчення ролі людського чинника на всіх етапах життєвого циклу людино-машинних систем. Обґрунтування цього і є **метою роботи**.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як галузь знань, інженерія людського чинника являє собою сукупність системних принципів функціонування ергатичних систем і включає ергономічну інформацію про людські можливості та обмеження щодо машин, робочих місць і середовищ. Як складник трудової діяльності, він вкрай необхідний інженеру (розробнику, дизайнеру, менеджеру), який повинен враховувати під час проектування особливості взаємодії людини і машини, стиль діяльності, а також вплив середовища. Отже, основне завдання дисципліни «Інженерія людського чинника»,

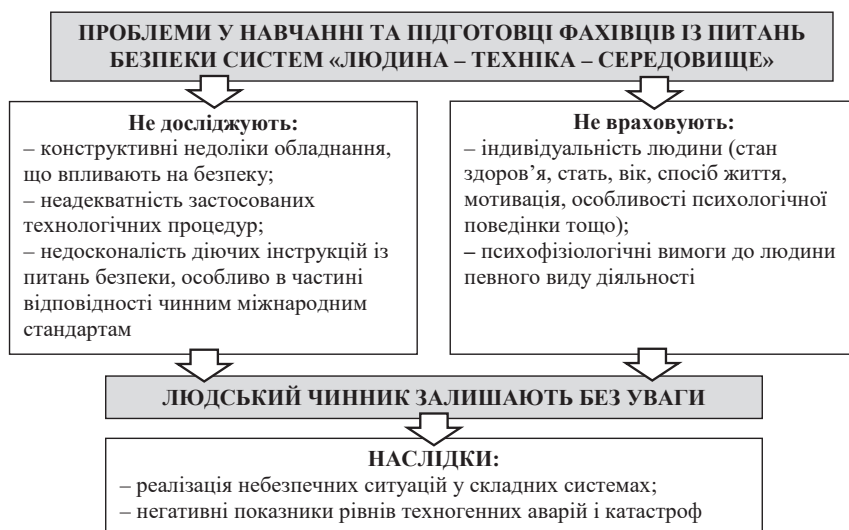


Рис. 1. Проблематика людського чинника в сфері освіти



яка сьогодні не реалізована у навчальному процесі, – забезпечення ефективності діяльності людини в системі «людина – техніка – середовище» на всіх етапах її життєдіяльності від проєктування до введення в експлуатацію. Саме її реалізація, як показує досвід інших країн [1, с. 377, 378], сприяє підвищенню рівня виробничої безпеки, робить стандарти з безпеки ефективно діючим інструментом, а не просто сукупністю теоретичних положень.

Якщо дослідити зміст дисципліни «Інженерія людського чинника» у її сучасному форматі, який використовує більшість закладів вищої освіти по всьому світу, то очевидно, що головний акцент у ній зроблено на врахуванні сильних і слабких психофізіологічних характеристик людини під час розроблення ергатичних систем, в яких задіяні люди, інструменти і технології, а також робоче середовище для забезпечення безпеки та ефективності діяльності. По суті, це застосування знань про обмеження людської природи до проєктування обладнання, систем і методів роботи, щоб підвищити безпеку, надійність і ефективність складних систем, що у вітчизняних закладах освіти не викладають у жодній із навчальних дисциплін професійного спрямування. Така дисципліна необхідна будь-якому сучасному інженеру (проєктувальнику, дизайнеру, менеджеру), який повинен враховувати під час проєктування та введення в експлуатацію особливості взаємодії людини і машини, стиль діяльності, а також вплив стрес-чинників середовища та діяльності (рис. 2).

Кінцева мета вивчення навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» – забезпечити ефективність і безпеку діяльності людини в системі «людина – машина» на всіх етапах її життєвого циклу – від проєктування до експлуатації. Ключовий елемент для її досягнення – врахування безпосередньої залежності діяльності людини від психофізіологічних, психічних, біомеханічних,

антропометричних і інших характеристик, які є визначальними під час проєктування систем і технологій. Для цього інженерія людського чинника має у своєму арсеналі всі необхідні складники – когнітивну ергономіку, нейроергономіку, когнітивну психологію, біоінженерію людини і інші науки [5, с. 526; 6, с. 92, 93; 7, с. 264, 268–269; 8, с. 162, 163], тобто унікальне поєднання інженерних наук, інформаційних технологій, психології, медичної діагностики, нейро- та когнітивних наук для забезпечення безпеки, надійності і стійкості складних людино-машинних систем, людинозалежних технологій і процесів.

Щодо ключових проблем, які необхідно висвітлювати під час викладання дисципліни «Інженерія людського чинника», то це: людино-машинна взаємодія; людські чинники і ризики; проєктування через призму людських чинників (промислове, біоінженерія, системна інженерія, програмна інженерія тощо). Когнітивні аспекти дисципліни дають змогу забезпечити більш високу кваліфікацію майбутніх спеціалістів у їхній багатогранній діяльності у сферах вирішення проблем в аерокосмічній галузі, на транспорті. У системах підвищеної небезпеки та ризиків важливо: розуміння взаємодії між технічними і соціальними системами; розробки складних людино-машинних систем; управління безпекою в системах із високим ступенем ризику.

Загалом, викладання у вітчизняних закладах вищої освіти навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» сприятиме підвищенню якості теоретичної і практичної підготовки студентів. Застосування сучасних концепцій і системних принципів, представлених в інженерії людського чинника й в когнітивній ергономіці, дадуть змогу оптимізувати взаємодію людини та складних технічних систем.

Також необхідно зазначити, що сьогодні вже є перший позитивний досвід викладання навчаль-

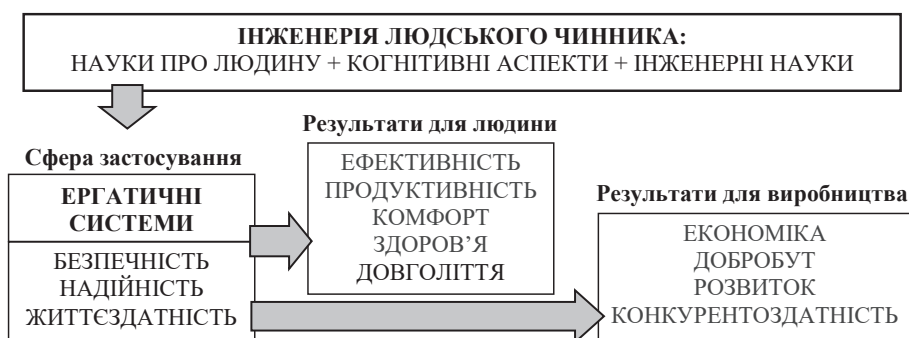


Рис. 2. Значення інженерії людського чинника для людини і виробництва

ної дисципліни «Інженерія людського чинника» у межах програми підготовки магістрів за спеціальностями «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування», «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», «Електроенергетика, електротехніка та електромережі», «Енергетичне машинобудування», «Теплоенергетика», «Авіаційний транспорт», «Автомобільний транспорт» у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ». Дисципліна входить до циклу загальної підготовки магістрів, тобто є обов'язковою для вивчення студентами. Цей факт свідчить про розуміння випускаючими спеціальностями актуальності проблеми осучаснення навчальних програм через введення нових дисциплін, які дають студентіві можливість одержати необхідні для роботи на сучасних підприємствах знання і навички. Це ще раз підтверджує актуальність навчальної дисципліни «Інженерія людського чинника» в сучасній освітянській програмі.

**Висновки.** Незважаючи на спрямованість навчання інженерів сучасних технологій, сьогодні є наслідки недостатньої уваги до людського чинника під час розгляду проблем безпеки та розроблення сучасних технічних комплексів. Це свідчить про необізнаність спеціалістів із когнітивними аспектами взаємодії людини і технологій та обладнання, що не дає змоги належним чином спроектувати життєдатні системи. Тому сьогодні є актуальним впровадження у навчальні програми підготовки студентів навчальної дисципліни, присвяченої питанням інженерії людського чинника як обов'язкової світоглядної компоненти. Це дасть змогу забезпечити більш високу кваліфікацію майбутніх спеціалістів у їхній багатогранній діяльності у сфері проєктування та експлуатації технологій. «Інженерія людського чинника» – це міждисциплінарний погляд на можливості людини в технічних середовищах, технологіях, машинах; її впровадження дасть змогу створити необхідне підґрунтя для підвищення якості підготовки спеціалістів інженерного спрямування.

#### Список літератури:

1. Dul Jan. A strategy for human factors / ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*. 2012. Vol. 55. No. 4. P. 377–395.
2. De Felice F., Petrillo A. Human Factors and Reliability Engineering for Safety and Security in Critical Infrastructures. *Springer International Publishing*. 2018. 263 p.
3. Dempsey P.G., Wogalter M.S., Hancock P.A. Defining Ergonomics / Human Factors. *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*. 2006. Vol. 3. P. 32–35.
4. Parasuraman R. Neuroergonomics: research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 2003. Vol. 4. No. 1–2. P. 5–20.
5. Carayon P. Human factors of complex sociotechnical systems. *Applied Ergonomics*. 2006. No 37 (4). P. 525–535.
6. Mygal G., Mygal V. Interdisciplinary approach to informational teaching environment formation. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2018. Вип. 1 (54). С. 92–98.
7. Мигаль В.П., Мигаль Г.В. Аналіз життєдатності університету як складної динамічної системи. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2018. № 27 (103). С. 264–272.
8. Мигаль Г.В., Протасенко О.Ф. Нові поняття сучасної ергономіки. *Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии*. 2018. Вып. 79. С. 162–170.

#### **Mygal G.V., Protasenko O.F. HUMAN FACTOR ENGINEERING IN MODERN EDUCATION**

*Modern technologies and systems require the new formation specialists, who have a wide range of interdisciplinary knowledge. Today, most specialists have only a specific knowledge that is not enough for real situations. The implementation of such an approach stimulates the arising of new technologies that produce highly effective results through the combination of the achievements in different scientific fields. For example, modern digital technologies widely use the advances in neurosciences and cognitive sciences; medicine uses the advances of neurobiology and psychology, etc.*

*At the same time, training in some fields of knowledge (for example, mechanical engineering, manufacturing, and technology, transportation, etc.) detached from the current needs in the implementation of interdisciplinary sciences. However, these fields of knowledge need to create the most secure, reliable and efficient systems. In light of this, special attention deserves such a science direction as the engineering of the human factor. The applying of this discipline is a key point to the security of the ergatic system. Unfortunately, domestic educational institutions almost do not use this training discipline. However, the ability to prevent risks associated with the human factor is one of the most essential professional skills. That is why students need to study this discipline.*

*Thus, the purpose of the work is to show the importance of research and analysis of the role of the human factor at all stages of the life cycle of ergatic systems.*

*The main results of the work are as follows: a) the content of the discipline “Human factor engineering” in the format using by foreign educational institutions was studied; b) the necessity of studying the discipline in domestic educational institutions was substantiated; c) the key issues that students need to learn during the studying of discipline “Human factor engineering” are shown.*

*The positive experience of teaching the discipline “Human factor engineering” during the preparation of masters in several specialties at The National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute” (KhAI) appears the practical importance of the work.*

*Therefore, the introduction into the curriculum of students’ training the discipline “Human factor engineering” is essential for the successful preparation of students. This will allow future specialists to be more qualified in their diverse activities in the field of technology design and operation.*

**Key words:** *safety, human factor, ergatic system, training.*

# АВІАЦІЙНА ТА РАКЕТНО-КОСМІЧНА ТЕХНІКА

УДК 629.735

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/02>**Рагулин С.В.**

Летная академия Национального авиационного университета

**Шарабайко А.Н.**

Летная академия Национального авиационного университета

**Сыроижка И.О.**

Летная академия Национального авиационного университета

## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

У статті проводиться аналіз показників якості технічного обслуговування, які призначені для оцінки повноти дотримання виконавцями обсягу і технології виконання робіт, передбачених завданнями на обслуговування, а також для порівняння результатів роботи різних операторів і колективів із встановленими нормативами або між собою, для обґрунтування заходів, спрямованих на підвищення якості, для оцінки ефективності цих заходів.

Залежно від призначення показників якості та методик їх визначення розрізняють початкові оцінки якості, узагальнені показники якості і загальний рівень якості. Кожен вид оцінок якості технічного обслуговування має відповідні сфери застосування і порядок розрахунку.

Загалом, для визначення показників якості технічного обслуговування повітряних суден з урахуванням діяльності обслуговуючого персоналу необхідно:

– знати ймовірні помилки людини, які можуть бути здійснені під час виконання нею кожної одиночної операції, що входить у трудовий процес;

– знати найбільш значні і поширені помилки, які можуть виникнути під час експлуатації обслуговуючим персоналом цього типу повітряного судна.

Однак помилки, допущені оператором у процесі технічного обслуговування повітряних суден, слід розглядати як наслідок певних причин, чинників, які проявляються в конкретних умовах взаємодії його з технікою і з навколишнім середовищем.

У зв'язку з неухильним ускладненням АТ, впровадженням нових технологій висуваються все нові вимоги до персоналу наземних служб, відбувається зростання ціни за відмову авіатехніки. Тому зниження частки відмов із вини обслуговуючого персоналу, зумовлених психологічними особливостями його діяльності, належить до числа пріоритетних завдань фахівців із безпеки польотів. Це свідчить про те, що вплив людського фактора на якість і ефективність технічного обслуговування повітряних суден не досить повно вивчено у світовій авіаційній науці.

**Ключові слова:** технічне обслуговування, обслуговуючий персонал, авіаційно-технічна база, оператор, показники якості, ефективність технічного обслуговування.

### 1. Методы оценки качества технического обслуживания с учетом деятельности обслуживающего персонала

Техническое обслуживание представляет собой комплекс работ (операций), выполняемых на АТ при подготовке к полетам, после полетов, при хранении и транспортировании в целях поддержания ее исправности и работоспособности. Продукцией технического обслуживания являются не

какие-либо новые изделия, а законченные работы, предусмотренные производственным заданием. Качество технического обслуживания отображает качество труда инженерно-технического персонала авиационно-технической базы (АТБ) [1].

Качество технического обслуживания обеспечивают качеством труда инженерно-технического персонала, наличием и качеством технологического оборудования, средств измерений и наземного

обслуживания, инструмента и материалов, используемых при работе на АТ, совершенной организацией процесса технического обслуживания. Качество технического обслуживания отображает, главным образом, качество труда инженерно-технического персонала и рабочих АТБ.

Качество работы оператора оценивают степенью соответствия полученному заданию каждой законченной работы и требованиям эксплуатационной документации. Неполное выполнение задания (объема работ), необнаружение неисправностей при дефектации, выполнение работы с нарушением технологии считается браком в работе. О недостатке технического обслуживания свидетельствуют также отказы и неисправности, выявленные в полете, если они явились следствием допущенных при техническом обслуживании нарушений.

На качество труда влияет значительное число факторов. Основные группы факторов, оказывающих решающее влияние на качество работы технического состава, приведены на рис. 1 [2].

В настоящее время достаточно хорошо разработаны методы и модели, описывающие процессы технической эксплуатации, в частности, на основе полумарковских процессов с конечным множеством состояний, обобщенного структурного метода, использования теории игр, построения и анализа причинно-следственных графов, деревьев оценки ситуаций.

Существующие методы и показатели оценки качества технического обслуживания с учетом деятельности обслуживающего персонала связаны непосредственно или с оценкой надежности воздушного судна в полете в зависимости от качества выполнения операций технического обслуживания или с оценкой качества техобслуживания воздушных судов с учетом возможных ошибок операторов.

Математическое выражение оценки надежности системы ВС в полете в зависимости от качества выполнения ТО имеет следующий вид [3]:

$$P(t)_{эс} = [P_c(t) + (1 - P_c(t)) P_{он} (P_{ун} + (1 - P_{ун}) P_{оо})] \cdot (P_{ин} + (1 - P_{ин}) P_{оо}) \quad (1)$$

где  $p_c(t)$  – вероятность безотказной работы;  $P_{он}$  – вероятность обнаружения неисправности;  $P_{ун}$  – вероятность устранения неисправности;  $P_{оо}$  – вероятность обнаружения ошибки оператора;  $P_{ин}$  – вероятность не внесения неисправности.

В работе [4] исследование надежности воздушного судна сводится к рассмотрению надежности воздушного судна с учетом деятельности обслуживающего персонала.

Оценка качества техобслуживания воздушных судов с учетом значимости возможных последствий ошибок оператора рассмотрена в работе. Формула для оценки имеет следующий вид:



Рис. 1. Факторы, определяющие качество технического обслуживания воздушных судов



$$K_{ji} = 1 - \frac{1}{N_j} \sum_{k=1}^m C_k \cdot P_k, \quad (2)$$

где  $K_{ji}$  – показатель качества  $j$ -го обслуживания по  $j$ -й форме техобслуживания, означающий по своей физической сущности «взвешенную» вероятность безошибочного техобслуживания воздушных судов операторами;

$P_k$  – количество  $k$ -х ошибок, допущенных оператором при  $i$ -м техобслуживании по  $j$ -й форме;  $K=I$ ,  $m$  – номер ошибок, имеющих одинаковый весовой коэффициент.

Весовые коэффициенты значимости ошибок, допускаемых операторами при техническом обслуживании воздушных судов, определяются заранее на весь перечень возможных ошибок методом экспертных оценок или по статистике последствий.

В условиях действующей в АТБ авиапредприятий системы управления качеством технического обслуживания для оценки качества работы операторов используется обобщенный коэффициент качества  $K_{об}^p$ . Он определяется суммированием базового коэффициента, и коэффициентами его повышения  $K_{ни}$  и снижения  $K_{сн}$ :

$$K_{об}^p = A + \sum_{i=1}^{n_i} n_i \cdot K_{ни} - \sum_{j=1}^{n_j} n_j \cdot K_{сн}; \quad (3)$$

где  $A$  – базовый коэффициент ( $A=100$ );  $n_p, n_j$  – число случаев соответственно отличной работы и нарушений.

Для подразделения, не имеющего в своем составе подчиненных структурных единиц (бригад, смен, участков), обобщенный коэффициент качества работы  $K_{обз}$  определяют как среднее арифметическое значение обобщенных

коэффициентов качества работы исполнителей и инженеров, входящих в подразделение [5]:

$$K_{обз} = \frac{\sum K_{об1} + \sum K_{об2}}{m_1 + m_2}, \quad (4)$$

где  $m_1, m_2$  – число исполнителей и инженеров в подразделении.

Обобщенный коэффициент качества работы подразделения  $K_{об4}$ , имеющего в своем составе структурные единицы (цех, АТБ в целом), рассчитывают как среднеарифметическое значение обобщенных коэффициентов качества работы структурных единиц, входящих в его состав:

$$K_{об4} = \frac{\sum K_{об3}}{m_3}, \quad (5)$$

где  $m_3$  – количество структурных единиц в подразделении.

## 2. Факторы, влияющие на эффективность использования воздушных судов в гражданской авиации

Эффективность использования воздушных судов ограничена ввиду значительных их простоев. Значительными являются простои ВС при техническом обслуживании и ремонте, простои в исправном состоянии, простои при выполнении рейсов. В связи с этим существует проблема уменьшения всех видов простоев.

Известно, что годовой фонд времени воздушного судна  $T_{зф}=8760$  ч. Его укрупнено можно разделить на следующие составляющие (рис. 2): суммарные простои  $T_{сн}$  на техническом обслуживании и ремонте; простои  $T_{ни}$  по различным причинам в исправном состоянии в базовом аэропорту; простои  $T_{np}$  в исправном состоянии в промежуточных и конечных аэропортах при выполнении рейсов. Остальное время  $T_z$ , в течение

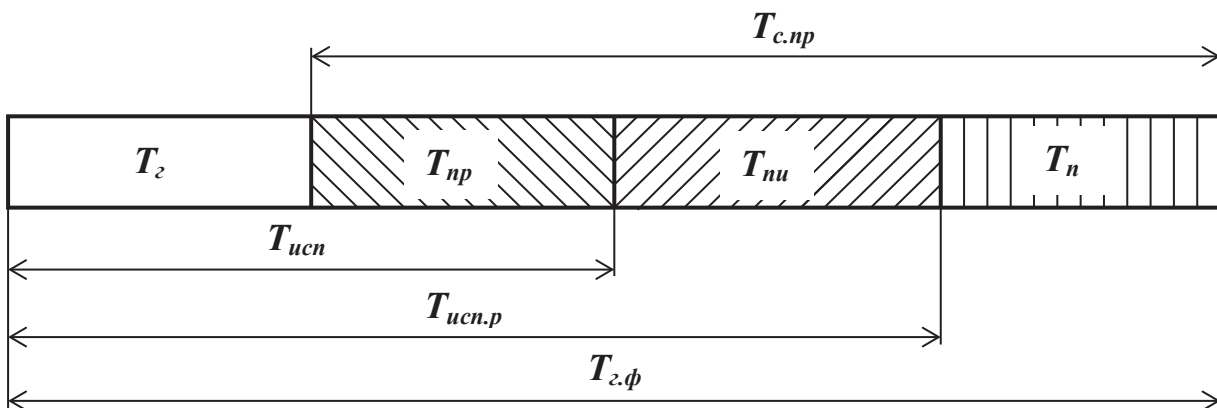


Рис. 2. Укрупненная структура годового фонда времени воздушного судна:  $T_{с.пр}$  – суммарные простои;  $T_{исп}$  – время пребывания ВС в рейсе;  $T_{исп.р}$  – продолжительность пребывания ВС в исправном состоянии;  $T_{зф}$  – годовой фонд времени

которого воздушное судно находится в полете, и составляет его годовой налет [6].

Списочный парк состоит из исправных, готовых к полету и находящихся на техническом обслуживании и ремонте воздушных судов. Количество исправных, готовых к полету ВС характеризуется показателем исправности  $K_{испр}$ , который представляет собой отношение времени, в течение которого воздушное судно находится в исправном состоянии, к годовому фонду времени (в процентах):

$$K_{испр} = \frac{8760 - T_{nm}}{8760} \cdot 100. \quad (6)$$

Значения коэффициентов исправности ВС разных типов различны. Чем больше простой воздушных судов на техническое обслуживание и

ремонт (ТОиР) ( $T_{nm}$ ), тем меньше  $K_{испр}$ , а следовательно, меньше годовой налет.

Простой ВС на ТОиР обусловлены такими факторами, как надежность АТ, эксплуатационно-ремонтная ее технологичность, уровень механизации и автоматизации производственных процессов, применяемые формы и методы ТОиР, совершенство технологи производства, эргономичность ВС и их бортового оборудования как объектов ТОиР и др.

Улучшение указанных факторов способствует дальнейшему совершенствованию производства, а следовательно, и снижению трудозатрат и простоев АТ на ТОиР, повышению качества выполняемых работ.

Анализ имеющихся данных показывает, что с увеличением сложности конструкции ВС и бортового оборудования возрастают и потери из-за

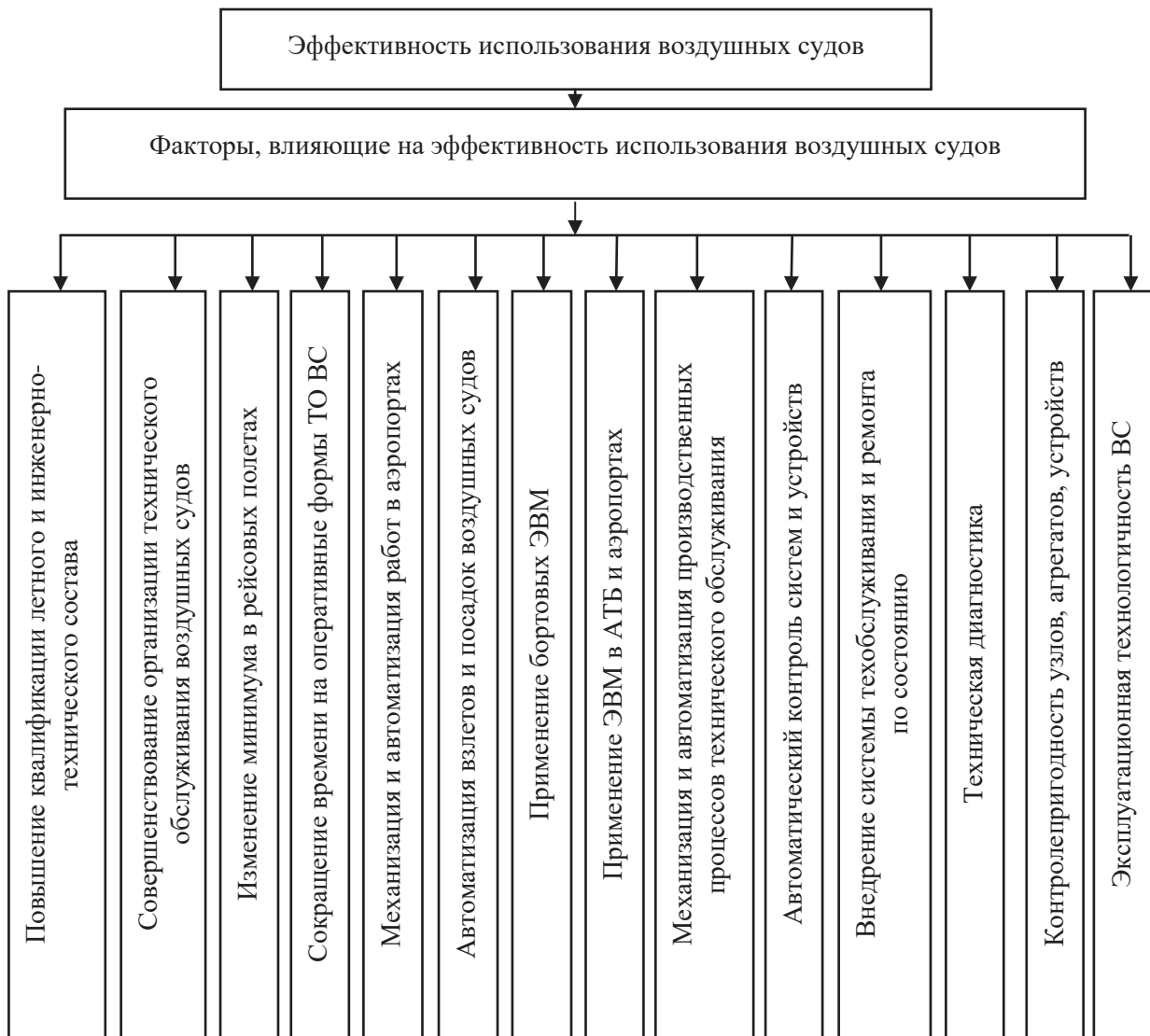


Рис. 3. Факторы, влияющие на эффективность использования воздушных судов



их простоев. Увеличение стоимости простоев ВС вынуждает проводить исследования, связанные с повышением эффективности их использования.

На рис. 3. представлены факторы, влияющие на эффективность использования воздушных судов.

Для повышения годового налета воздушного судна, а следовательно и для эффективности их использования, необходимо:

- повышать надежность, эргономичность, ремонтно-эксплуатационную технологичность ВС и их бортового оборудования, управлять их ресурс, снижать объемы работы по ТОиР, в том числе, и с позиций авиационной эргономики;

- внедрять более прогрессивные методы и стратегии ТОиР;

- механизировать и автоматизировать производственные процессы, шире использовать портативные интегрированные системы информационного и технического обслуживания, которые бы соответствовали принципам автоматизации, ориентированной на человека;

- оснащение системой автоматизированного контроля технического состояния авиадвигателей и всех жизненно важных систем;

- совершенствовать схемы организации работ по ТОиР, систему подбора и комплектования рабочих бригад по технической эксплуатации авиатехники, производственные помещения и условия труда обслуживающего персонала;

- увеличивать использование ночного времени;

- исключить ночные простои воздушного судна в промежуточных и конечных аэропортах путем рационального составления расписаний;

- использование системы автоматического управления захода на посадку, позволяющего осуществлять полеты в любых метеоусловиях.

Среди указанных факторов и затрат существенное место занимают проблемы технического обслуживания ВС. Так удельный вес затрат на техническое обслуживание воздушных судов составляет 17% всех затрат на их эксплуатацию.

Таким образом, эффективность эксплуатации самолетов во многом определяется тем, насколько эффективна система их технического обслуживания.

В свою очередь, на качество и эффективность технического обслуживания воздушных судов влияют следующие основные факторы:

1. Техническая оснащенность типовым (штатным) оборудованием.

2. Обеспеченность эксплуатационной документацией.

3. Необходимые профессионально важные качества специалистов по техническому обслуживанию воздушных судов.

4. Своевременное материально-техническое обеспечение запасными частями, агрегатами и т.д.

5. Создание благоприятных условий труда.

6. Применение методов морального и материального стимулирования

7. Автоматизация и механизация производственных процессов.

8. Научная организация труда.

9. Своевременный анализ и корректировка процесса технического обслуживания с учетом выявленных недостатков.

Большую роль в повышении эффективности использования воздушных судов в настоящее время играет совершенствование, автоматизация систем технического обслуживания, и системы профессиональной подготовки операторов технического обслуживания воздушных судов.

### **3. Влияние человеческого фактора при техническом обслуживании воздушных судов на безопасность полетов**

Человеческий фактор представляет (далее – ЧФ) собой уникально сложную проблему, поскольку фокусирует в себе социально-политические, морально-психологические, экономические, медико-биологические, нравственно- правовые аспекты. Компоненты ЧФ проявляются в конкретных условиях взаимодействия оператора с техникой, с окружающей средой и представляют собой необходимую основу для успешного осуществления их деятельности в эргатической системе «оператор-воздушное судно-среда».

В любой человеческой деятельности ошибка оператора имеет определенные последствия. В авиационном транспорте ошибка оператора при техническом обслуживании воздушных судов в ряде случаев ведет к авиационным происшествиям [7].

В настоящее время ошибки оператора во многом представляют потенциальную угрозу авиационной безопасности. Коммерческая авиакомпания «Боинг» проанализировала 220 документально зарегистрированных авиационных происшествий и обнаружила, что тремя наиболее частными причинами их возникновения является:

- несоблюдение летными экипажами установленных процедур (31,82%);

- ошибки при техническом обслуживании (15,46%);

- конструктивные дефекты (15%).

В 60-х годах, когда эта проблема впервые начала серьезно привлекать внимание, «вклад» ошибок оператора в совокупность причин, вызывающих авиационные происшествия, оценивался приблизительно в 20%. В 90-х годах этот показатель возрос в четыре раза, составив 80%. Существует много причин такого резкого роста, но наиболее существенными из них являются такие [8]:

– за последние тридцать лет заметно возросла надежность механических и электронных элементов. Воздушные суда стали более автоматизированными и более сложными. Самолеты нынешнего поколения типа «Боинг-747-400» и «Эрбас-А340» имеют дважды или трижды резервированные системы управления полетом. Это, возможно, уменьшает нагрузку на летный состав, но повышает требования к техническим специалистам, обслуживающим воздушные суда, многие из которых получили основную подготовку в области механических, а не современных систем управления, основанных на использовании вычислительной техники;

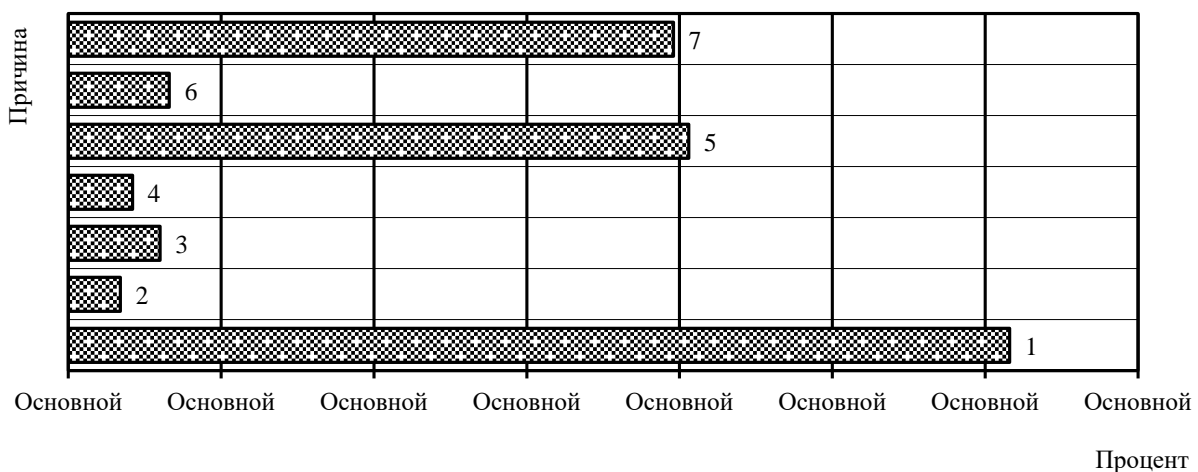
– возросшая сложность авиационной системы создает потенциальную возможность авиационных происшествий из-за организационных недостатков, ошибок, допущенными эксплуатационным персоналом.

Одной из причин нескольких широко известных авиационных происшествий была ошибка оператора при техническом обслуживании. Катастрофа DC-10 авиакомпании «Америкэнэрлайнз» в Чикаго в 1979 году произошла в результате нару-

шения технологии замены двигателя. В 1985 году самолет «Боинг-747» компании «Джапэнэрлайнз» потерпел аварию в результате быстрой разгерметизации во время полета. Тогда из-за неправильно произведенного ремонта отказал задний гермошпангоут. В результате последовавшего за этим чрезмерного повышения давления в хвостовом отсеке и ударной волны из-за взрывного разрыва сферического гермошпангоута отказала система управления и произошло разрушение самолета, приведшее к большому количеству жертв. В апреле 1988 года самолет «Боинг-737» авиакомпании «Алохаэрлайнз» потерпел аварию в результате разрушения конструкции верхней части фюзеляжа. В конечном счете, он был посажен, причем погиб один человек. Это авиационное происшествие объясняется нарушением технологии технического обслуживания. Распределение всех авиационных происшествий по разным причинам за 1990–1999 годы в мировом масштабе показано на рис. 4. Из них по техническим и технологическим проблемам произошло около 19,8% авиационных происшествий.

При анализе 93 крупных авиационных происшествий из числа имевших место во всем мире в период между 1959 и 1983 годами, было обнаружено, что в 12% случаев недостатки технического обслуживания были одними из факторов, приведших к авиационным происшествиям.

В результате этого анализа ИКАО предлагается следующий перечень основных причин происшествий в процентах.



**Рис. 4. Авиационные происшествия в мировом масштабе по разным причинам:**  
 1 – столкновение исправных воздушных судов с землей; 2 – сдвиг ветра; 3 – столкновение самолетов в воздухе; 4 – обледенение; 5 – потеря управления в воздухе; 6 – пожар/взрыв на борту ВС; 7 – технические и технологические проблемы

Причина происшествия:	В процентах
– нарушение пилотом стандартной процедуры	33
– недостаточный перекрестный контроль со стороны второго пилота	26
– конструктивные недостатки	13
– <b>недостатки технического обслуживания</b>	12
– отсутствие наведения при заходе на посадку	10
– игнорирование командиром воздушного судна сообщений членов экипажа	10
– ошибка/отказ службы управления воздушным движением	9
– неправильные действия экипажа в нештатной обстановке	9
– недостаточность или неточность метеоинформации	8
– опасности на ВПП	7
– неправильное решение выполнить посадку	6
– недостатки связи между службой управления воздушным движением и летным экипажем	6

От эффективности работы специалистов по техническому обслуживанию авиационной техники зависит не только безопасность полетов, но и регулярность полетов и экономические показатели предприятий эксплуатантов из-за непроизводительных простоев воздушных судов при их техническом обслуживании, контроле, замене и ремонте изделий.

Таким образом, возрастающая с каждым годом интенсивность труда операторов и усложнение их деятельности при обслуживании новых типов воздушных судов сказывается на качестве подготовки техники к полету и на экономических показателях авиапредприятий.

Это свидетельствует о необходимости решения вопроса об основных направлениях повышения надежности работы операторов при обеспечении полетов воздушного судна.

#### **4. Основные аспекты повышения качества и эффективности технического обслуживания воздушных судов**

Одним из основных этапов научно-технического прогресса в гражданской авиации является поступление в эксплуатацию новых, более совершенных типов воздушных судов и необходимость обеспечения в связи с этим соответствующего технического обслуживания, обеспечивающего минимальные простои и высокий уровень надежности авиационной техники.

Однако неуклонное увеличение сложности авиационной техники, возрастающая с каждым годом интенсивность труда инженерно-технического состава, усложнение их деятельности приводит к тому, что в проблеме повышения качества и эффективности технического обслуживания воздушных судов все в большей степени начинает доминировать человеческий фактор операторов.

Это обусловлено тем, что увеличение сложности авиационной техники не приводит к соответствующему изменению во времени физических и физиологических способностей технического состава, обслуживающего технику.

Таким образом, одним из основных аспектов повышения качества и эффективности технического обслуживания воздушных судов является устранение несоответствия между характеристиками воздушных судов и психофизиологическими возможностями людей. Это возможно лишь путем решения проблемы взаимоотношений в системе «оператор - воздушное судно-среда», путем повышения профессионально важных качеств операторов и их психофизиологической подготовки.

К аспектам взаимоотношений в системе «оператор – воздушное судно – среда», влияющих на качество и эффективность технического обслуживания, относятся уровень автоматизации и механизации процессов технического обслуживания, а также степень использования автоматизированных информационных систем. Среди большого числа факторов, оказывающих влияние на производительность труда, механизация и автоматизация производственных процессов имеет важнейшее значение. Это одна из наиболее важных задач, решаемых инженерно-авиационной службой.

Концепция развития средств механизации для техобслуживания авиатехники может быть сформулирована следующим образом: обеспечить техобслуживание ВС с наименьшими материальными и энергетическими затратами при сокращении времени обслуживания и количества занятого персонала.

Данная концепция может быть реализована за счет:

- модернизации существующих средств механизации;
- перевода всех средств механизации на электропривод;
- разработки и внедрения стационарных систем для ТО ВС;
- дополнения стационарных систем устройством для автоматической стыковки наземных и бортовых систем.

Для техобслуживания наиболее перспективные направления можно свести к развитию передвижных и стационарных средств.

Разработка и внедрение новых, совершенствование и модернизация существующих средств механизации и автоматизации процессов технического обслуживания авиационной техники – одно из основных направлений сокращения времени простоя воздушных судов на техобслуживании, повышения производительности труда и качества технического обслуживания воздушных судов.

Совершенствование системы информации тесно связано со встроенными системами контроля, которые в сочетании с бортовыми информационными системами для технического обслуживания обеспечивают эффективное использование авиационной техники минимальными силами и средствами.

Одна из таких объединенных бортовых системы (OMS) создана для самолетов фирмы Boeing. На земле технический состав может включать OMS для получения необходимой информации о методике поиска неисправностей или других данных. OMS хранит информацию о неисправностях на всех участках полета. Информация обо всех неисправностях, имеющихся в данное время, отобра-

жаются на дисплее. Широко используется специальная информационная система для технического обслуживания в авиакомпании British Airways, существенно облегчающая организацию и контроль своевременного выполнения работ по техническому обслуживанию и контроль состояния авиационной техники на каждом агрегате.

Информационные системы в области технического обслуживания становятся составной частью воздушного судна. Бортовые системы контроля с воздуха передают информацию о состоянии авиационной техники, чтобы на основании полученных данных можно было заблаговременно определять необходимые работы по техническому обслуживанию и приведению самолета в работоспособное состояние.

Таким образом, использование автоматизированных систем применительно к решению задач технического обслуживания позволяет получить следующие результаты:

- сократить число задержек вылета;
- производить более точные расчеты потребностей в запчастях и составе рабочей смены;
- сократить время нахождения ВС на техническом обслуживании;
- использовать технический персонал более низкой квалификации;
- управлять технологическими процессами технического обслуживания авиационной техники.

В целом, проблема повышения качества профессиональной деятельности операторов по техническому обслуживанию является комплексной и исследования должны касаться всего аспекта факторов, влияющих на его показатели.

#### Список литературы:

1. Рекомендация по совершенствованию системы управления качеством технического обслуживания авиационной техники в АТБ гражданской авиации. Москва : Воздушный транспорт, 1986. 48 с.
2. Техническая эксплуатация летательных аппаратов : учеб. для вузов / Н.Н. Смирнова, Н.И. Владимиров, Ж.С. Черненко и др. / под ред. Н.Н. Смирнова. Москва : Транспорт, 1990. 423 с.
3. Бурлоков В.И., Ясер Ханаан, Жихад Мансур. Управление качеством технического обслуживания изделий авиационной техники. *Вісник КМУГА*. № 2. Киев, 1999. С. 204–212.
4. Надежность и эффективность в технике : справочник : в 10 т. / ред. совет: В.С. Авдучевский (пред) и др. Москва : Машиностроение, 1986. Т. 1. Методология. Организация. Терминология. / В.С. Авдучевский и др.; под ред. А.И. Рембезы. 1986. 223 с.
5. Попов В.Г. и Ващенко Г.В. Оценка качества тех. обслуживания ВС по результатам его аттестации. Совершенствование производственных процессов тех. обслуживания и ремонта авиатехники. *Сборник научных трудов*. № 274. Москва, 1988. С. 66–69.
6. Павлов В.В., Скрипец А.В. Эргономические вопросы создания и эксплуатации авиационных электрифицированных и пилотажно-навигационных комплексов воздушных судов : учеб. пособие. Киев : КМУГА, 2000. 460 с.
7. Бугаев Б.П. Современное состояние и перспективы развития эргономики в гражданской авиации. Авиационная эргономика. *Межвузовский сборник научных трудов*. Вып. № 4. Киев, 1978. 99 с.
8. Человеческий фактор. Сборник материалов № 12. Роль человеческого фактора при техническом обслуживании воздушных судов (циркуляр 253-AN/151/ИКАО/), 1995.

**Rahulin S.V., Sharabaiko A.N., Syroizhka I.O. ANALYSIS OF QUALITY INDICATORS OF AIRCRAFT MAINTENANCE**

*The article analyzes the indicators of the quality of technical maintenance, which are intended to assess the completeness of compliance by the performers of the volume and technology of the work stipulated by the service tasks, as well as to compare the results of various operators and teams with established standards or among themselves, to justify measures aimed quality improvement to assess the effectiveness of these activities.*

*Depending on the purpose of the quality indicators and the methods for their determination, initial quality assessments, generalized quality indicators and the general quality level are distinguished. Each type of technical service quality assessment has corresponding fields of application and calculation procedure.*

*In general, in order to determine the quality indicators of technical maintenance of aircraft, taking into account the activities of maintenance personnel, it is necessary:*

- know the probable mistakes of a person that can be committed when he performs each single operation that is part of the labor process;*
- know the most significant and most common errors that may appear during the operation of the personnel of this type of aircraft.*

*However, errors made by the operator in the process of aircraft maintenance should be considered as a consequence of certain reasons, factors that appear in specific conditions of its interaction with equipment and with the environment.*

*In connection with the steady complication of AT, the introduction of new technologies, new requirements are being put forward for the personnel of ground services, and the price for aircraft failure has risen. Therefore, the reduction in the percentage of failures due to the fault of staff due to the psychological characteristics of their activities is among the priority tasks of safety specialists. This indicates that the influence of the human factor on the quality and effectiveness of aircraft maintenance has not been fully studied in world aviation science.*

**Key words:** *maintenance, maintenance personnel, aviation technical base, operator, quality indicators, efficiency of maintenance.*



## ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 621.311

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/03>

**Кирик В.В.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

### НЕЛІНІЙНІ ОБМЕЖУВАЧІ ПЕРЕНАПРУГИ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 10 КВ

*У роботі розроблено рекомендації по визначенню оптимальних місць встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги для захисту повітряних ліній електропередавання від впливу грозових перенапруг на основі моделі електричної мережі номінальною напругою 10 кВ. В основу роботи покладено імітаційне математичне моделювання процесів виникнення грозових перенапруг в повітряних лініях електропередавання номінальною напругою 10 кВ.*

*Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного забезпечення: MathCAD та середовища SimPowerSystem пакету програм MATLAB. Імітаційна модель містить 10 субмодулів «Лінія 1...10», кожний з яких імітує 10 прогонів довжиною по 70 м одноланцюгової повітряної лінії довжиною 0,7 км.*

*Проведено дослідження розподілу індукованої перенапруги в часі вздовж траси лінії електропередавання. Виконано імітаційне математичне моделювання варіантів розміщення нелінійних обмежувачів перенапруги вздовж траси повітряної лінії електропередавання номінальною напругою 10 кВ. Визначено оптимальні відстані, через які необхідно встановлювати нелінійні обмежувачі перенапруги, для забезпечення захисту електричної мережі номінальною напругою 10 кВ від індукованої грозової перенапруги.*

*Установка нелінійних обмежувачів перенапруги на всіх опорах на кожній з трьох фаз забезпечує надійний захист мережі 10 кВ від індукованої перенапруги при грозових розрядах. Захист на рівні допустимого забезпечує встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги через одну опору по трасі на кожній з трьох фаз, тобто на опорах через два прогони. Значення перенапруги в фазах залежить від сторони локації розряду відносно напрямку траси.*

**Ключові слова:** нелінійний обмежувач перенапруги, грозові перенапруги, блискавкозахист, наведена напруга, імітаційна математична модель.

**Постановка проблеми.** Однією з причин низької якості електропостачання в розподільних електричних мережах Об'єднаної Енергосистеми України (ОЕС) є відключення повітряних ліній електропередавання (ЛЕП) внаслідок грозових перенапруг та, в ряді випадків, пошкодження ізоляції електрообладнання. Грозові перенапруги можуть бути викликані як прямими влученнями блискавки в лінію, так і наведеними потенціалами при грозовому розряді в навколишні об'єкти, які заходяться вздовж траси лінії електропередавання. Перенапруга прямого розряду є більш небезпечною для ізоляції, ніж індукована перенапруга. Однак імовірність прямого розряду блискавки в ПЛ залежить від багатьох факторів і в деяких випадках може виявитися, що індуковані перенапруги можуть бути причиною перекриття ізоляції при грозових розрядах. Це є характерним

для електричних мереж 6 кВ та 10 кВ, де висота опори знаходиться в межах 10–15 м, і траса лінії з більшою ймовірністю може екрануватися рельєфом місцевості, насадженнями та будівлями від прямих влучень блискавки.

На теперішній час захист повітряних ЛЕП напругою 10 кВ виконується приблизно в 95 % випадків вентильними розрядниками тільки по кінцях лінії перед трансформатором, а лінійна ізоляція по трасі лінії не захищена від перенапруг. Тому важливим моментом є оцінка наведених грозових перенапруг в розподільних електричних мережах напругою 10 кВ та визначення місць встановлення навісних нелінійних обмежувачів перенапруги на опорах по трасі повітряної ЛЕП.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Грозозахист повітряних ЛЕП розподільних мереж може виконуватися різними засобами: установ-

ленням на кінцях електропередачі вентилях та трутчатих розрядників, зменшення опорів заземлення опор, посилення ізоляції [1, 2]. Реальний стан розподільних мереж їх зношеність, наднормативна довжина ліній, практична відсутність автоматичних засобів захисту та секціонування [3] вимагають рішучих дій до впровадження сучасних світових досягнень та технічних рішень для підвищення ефективності функціонування електричних мереж.

На теперішній час найбільш ефективним способом підвищення грозостійкості лінії електропередавання є установка на опорах повітряних ЛЕП нелінійних обмежувачів перенапруги (ОПН). Відповідно до нормативних документів для забезпечення захисту електричних мереж рекомендовано розміщувати ОПН на кожній опорі паралельно ізоляторам [4, 5]. Проте така установка призводить до зростання в декілька разів вартості спорудження нових ліній електропередавання та реконструкції існуючих. На сьогодні таке технічне рішення не нашло підтримки в експлуатаційників.

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення алгоритму вибору опор для установки нелінійних обмежувачів перенапруги та їх кількості на кожній з них по трасі лінії електропередавання.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Стохастичні дослідження на основі статистичних даних по одному з підрозділів ПрАТ «Київобленерго» показали, що за грозовий період 2019 року кількість індукованих перенапруг в повітряних ЛЕП напругою 10 кВ перевищила більше ніж в 20 разів кількість перенапруг від прямих грозових попадань блискавки в провід лінії.

Поява наведеного заряду на проводах лінії електропередавання перед розрядом блискавки в об'єкти на землі викликана формуванням заряду лідерного каналу. В лінії формуються зв'язані між собою заряди протилежного знаку до заряду каналу. При малих швидкостях розвитку лідера вільні заряди починають розтікатися в провіді, рухаючись відносно зони впливу самого лідерного каналу. Поле лідера зв'язані заряди в лінії врівноважують, тому потенціал проводу на даній стадії блискавки є близький до нуля (без врахування власної напруги лінії). Після початку стадії головного розряду поле даного каналу нейтралізується і при цьому зв'язані заряди починають вивільнюватися, що призводить до збільшення потенціалу проводу і відповідно до перенапруги.

Оцінка та аналіз такої перенапруги проводились в програмному середовищі MATLAB

на імітаційній математичній моделі мережі 10 кВ довжиною 7 км, схема якої наведена на рис. 1. Дана модель містить 10 субмодулів «Лінія 1...10», кожний з яких імітує 10 прогонів довжиною по 70 м однофазової повітряної лінії довжиною 0,7 км. Лінія виконана на залізобетонних опорах СВ105-5 з трикутним розташуванням фаз. Прогони ЛЕП представлені в моделі трифазною RLC-ланкою розрахункових параметрів лінії. Схема модуля «Лінія» наведена на рис. 2.

Імітаційна модель опори введена в місця з'єднання прогонів повітряної лінії електропередавання і представлена комбінацією індуктивностей та активного опору (рис. 3). Значення індуктивностей розраховано на основі геометрії опори та погонних індуктивностей її елементів. Кожна опора, при цьому, має заземлюючий пристрій, який змодельовано активним опором. У вигляді набору ємностей представлено в моделі гірлянди ізоляторів, які на кожній із опор відокремлюють фазні проводи від арматури траверс.

Модель мережі 10 кВ також включає в себе два модулі трансформаторів Т1 (ТМН-6300/110) та Т2 (ТМ-63/10), модулі вимірювання напруги  $U$  та  $U_m$ , модуль «джерело» живлення промислової частоти напругою 115 кВ, модуль «джерело індукованої перенапруги» (рис. 4) та «навантаження».

Значення індукованої перенапруги розраховано за виразом [6]:

$$U_0 = 12,5 \cdot I_m \cdot \ln \left[ \frac{z_0 + h + \sqrt{(z_0 + h)^2 + r^2}}{z_0 - h + \sqrt{(z_0 - h)^2 + r^2}} \right],$$

де  $I_m$  – значення струму блискавки, кА (прийнято на рівні 30 кА);  $z_0$  – висота між нижньою точкою розряду блискавки і землею, м;  $h$  – середня висота підвішування проводу, м;  $r$  – відстань між точкою проекції розряду блискавки на землю і трасою лінії, м.

Оцінка значення перенапруги виконувалась для випадків розряду блискавки в землю та в об'єкт на висоті 10 м над землею на відстані 50 м від траси повітряної лінії на початку лінії і через кожні 700 метрів до кінця лінії. На рис. 5, а подано графік розподілу напруги вздовж траси повітряної лінії при розряді блискавки в землю поблизу середини траси ЛЕП на відстані 50 м від неї, а на рис. 5, б подано графік розподілу напруги вздовж траси повітряної лінії при розряді блискавки в об'єкт, що знаходиться на висоті 10 м над землею поблизу середини траси ЛЕП на відстані також 50 м від неї.



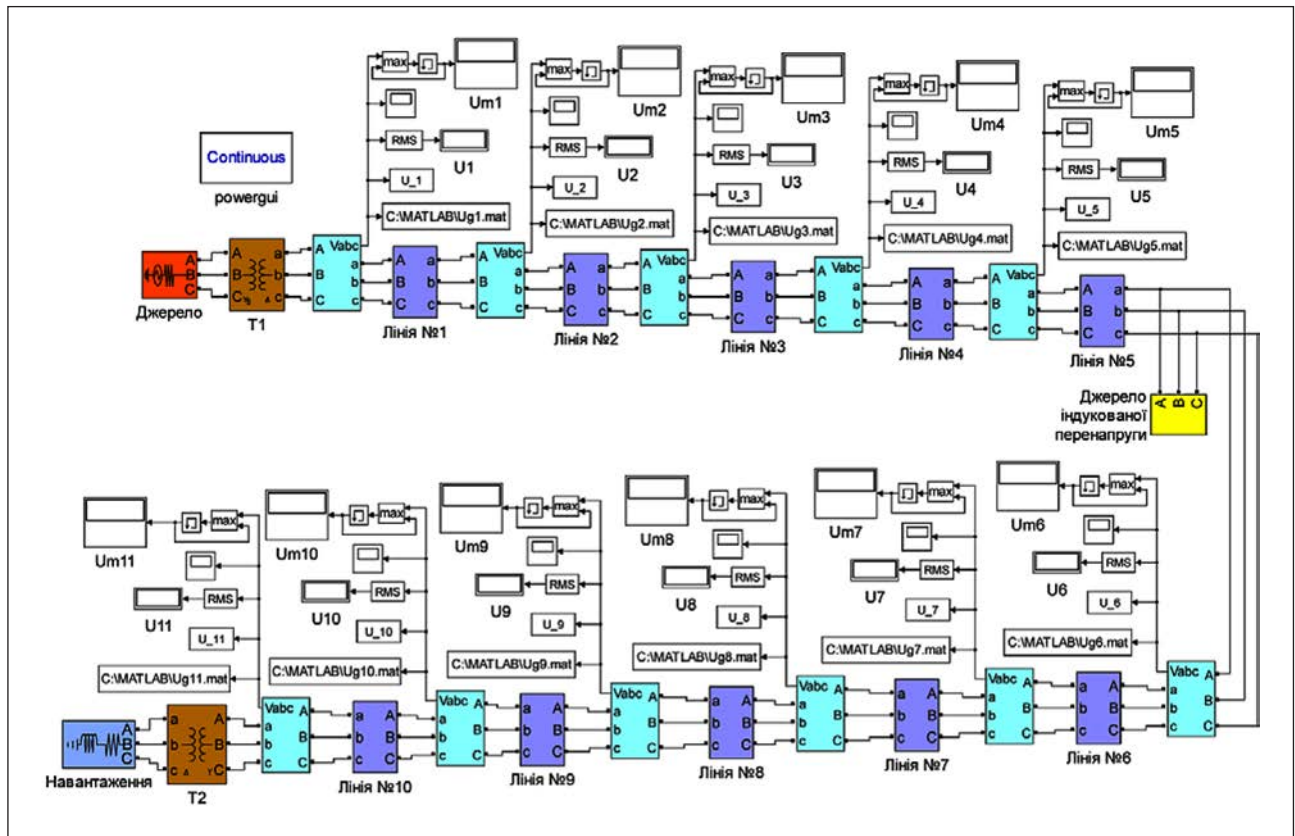


Рис. 1. Імітаційна модель мережі номінальною напругою 10 кВ

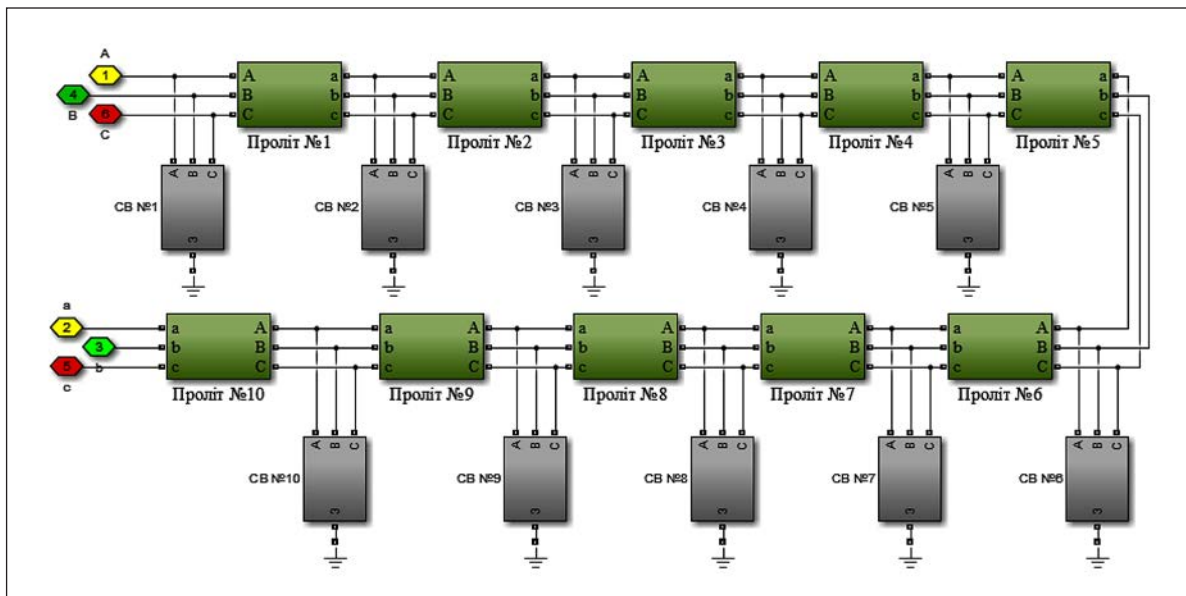


Рис. 2. Схема модуля «Лінія»

Наведена перенапруга у всіх випадках розряду блискавки перевищує допустиме значення 82 кВ [7] для мережі 10 кВ.

Для прийняття рішення щодо установки на опорах підвісних нелінійних обмежувачів перенапруги проведено моделювання та аналіз рівня

перенапруги при використанні ОПН. На рис. 6 наведено графік розподілу індукованої напруги вздовж траси повітряної лінії при розряді блискавки в землю всередині ЛЕП на відстані 50 м від траси при встановленні ОПН на кожній опорі та відповідно на трьох фазах.

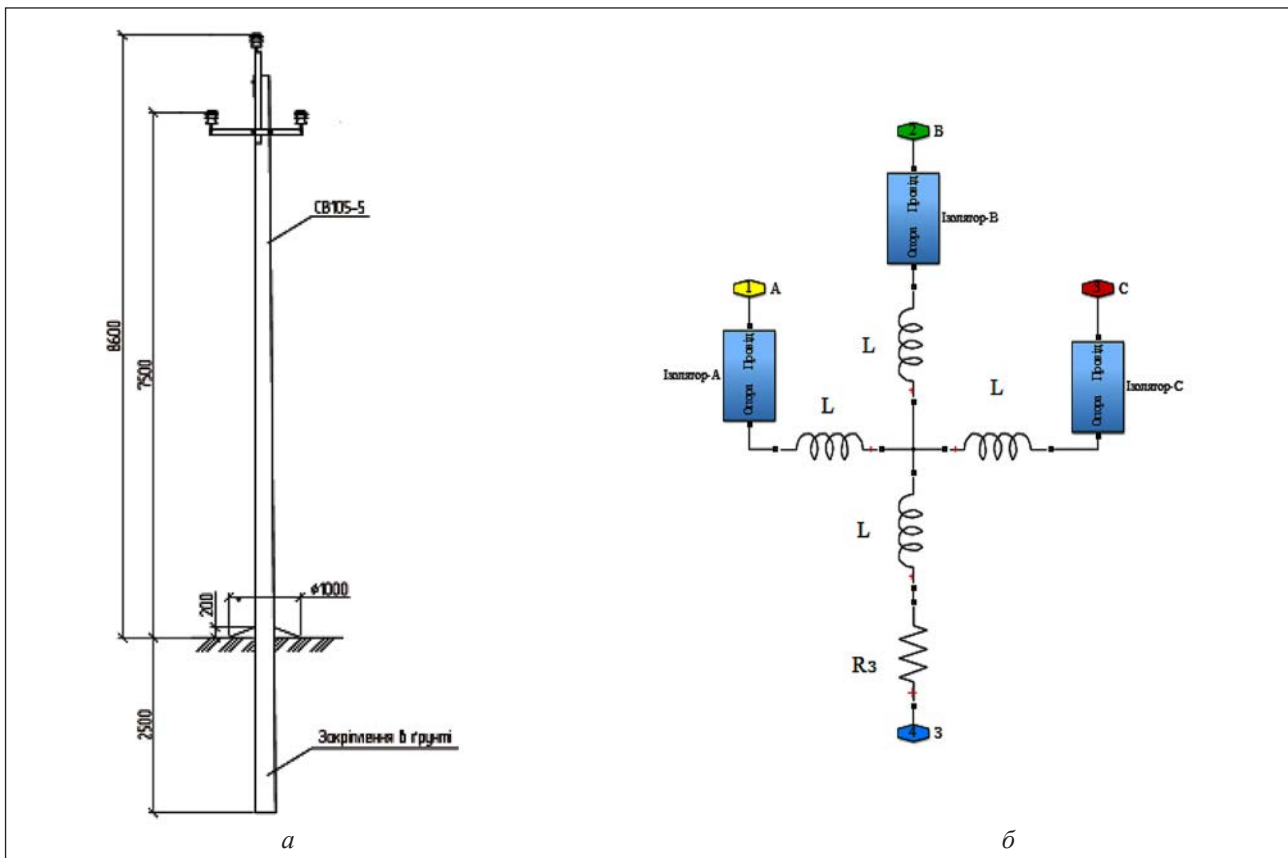


Рис. 3. Опора повітряної лінії електропередавання 10 кВ:  
 а – монтажна схема опори СВ105-5; б – імітаційна модель опори

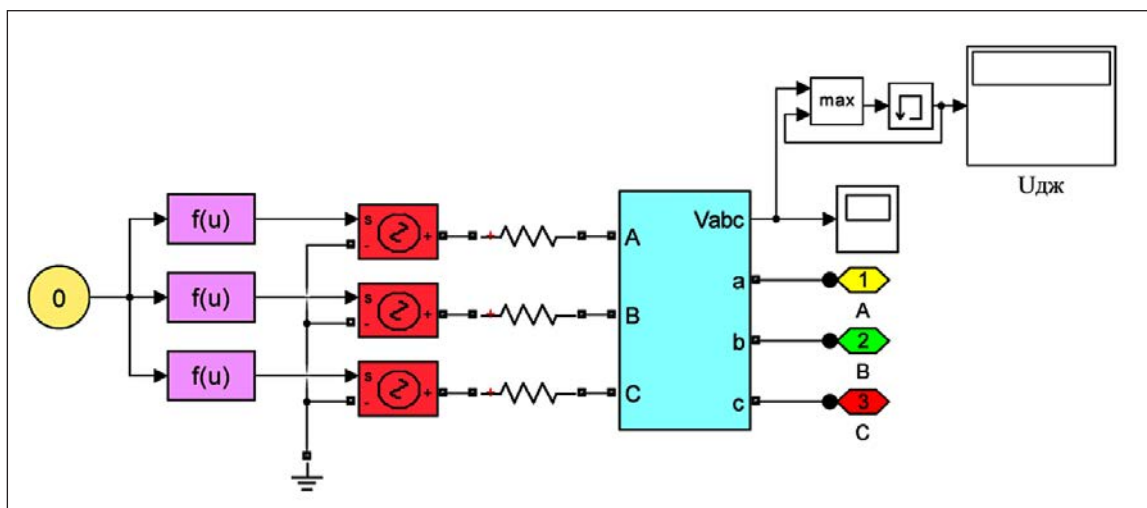


Рис. 4. Модель джерела індукованої перенапруги

Виявлено, що встановлення нелінійних обмежувачів перенапруги на всіх опорах забезпечує надійний захист мережі 10 кВ від індукованої перенапруги при грозових розрядах. Захист на рівні допустимого забезпечує їх установа на одній опорі, тобто на опорах через два прогони. На рис. 7 представлено осцилограми напруги за розряду блискавки в землю поблизу

середини лінії на відстані 50 м від траси ЛЕП при встановленні ОПН через 140 м. Максимальне значення перенапруги в лінії знаходиться на межі допустимого 82 кВ.

**Висновки.** Установка нелінійних обмежувачів перенапруги на всіх опорах на кожній із трьох фаз забезпечує надійний захист мережі 10 кВ від індукованої перенапруги при грозових розрядах.

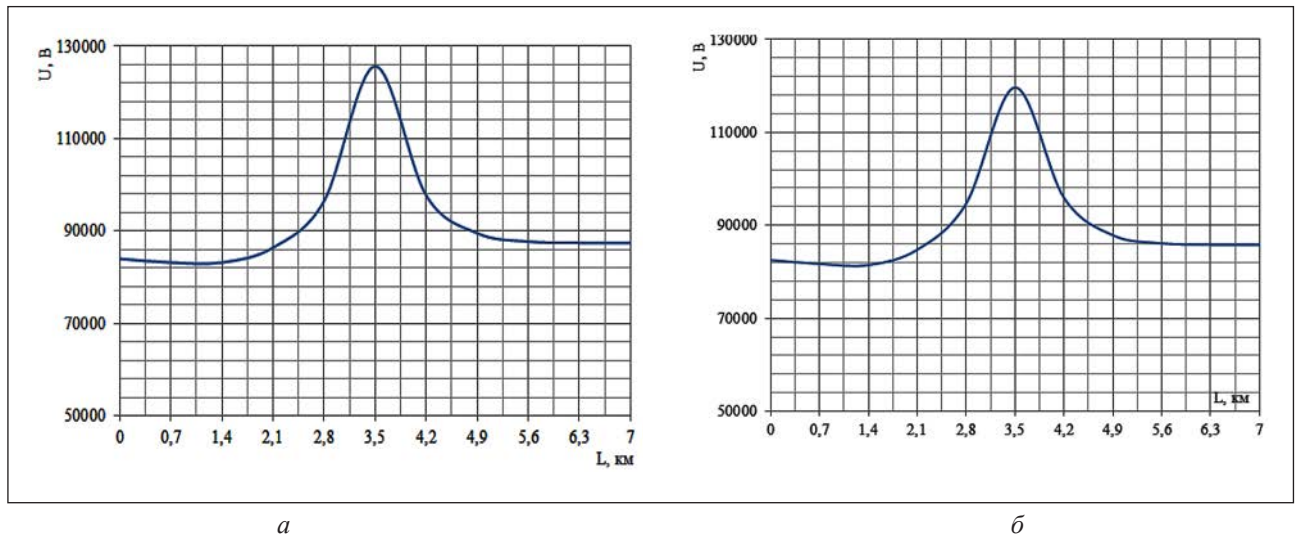


Рис. 5. Розподіл напруги вздовж траси повітряної лінії за розряду блискавки в середині траси ЛЕП на відстані 50 м: *a* – безпосередньо в землю; *б* – в об’єкт на висоті 10 м над землею

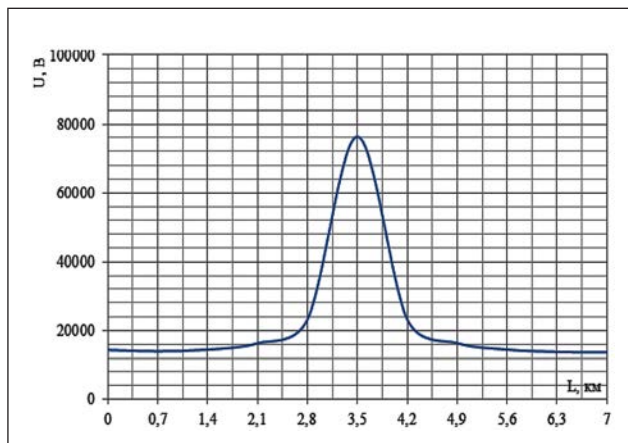


Рис. 6. Розподіл напруги вздовж траси повітряної лінії за розряду блискавки в землю в середині ЛЕП на відстані 50 м від траси при встановленні ОПН на кожній опорі на трьох фазах

Захист на рівні допустимого забезпечує їх установлення через одну опору по трасі на кожній із трьох фаз, тобто на опорах через два прогони (140 м).

Значення перенапруги в фазах залежить від сторони локації розряду відносно напрямку траси. Провода фаз частково знижують перенапругу за рахунок екранування більш віддалених фаз. Окрім цього, має місце суттєве зниження (затухання) перенапруги з часом по довжині траси лінії.

Допустимий рівень захисту, аналогічний захисту за розміщення ОПН на опорах на кожній

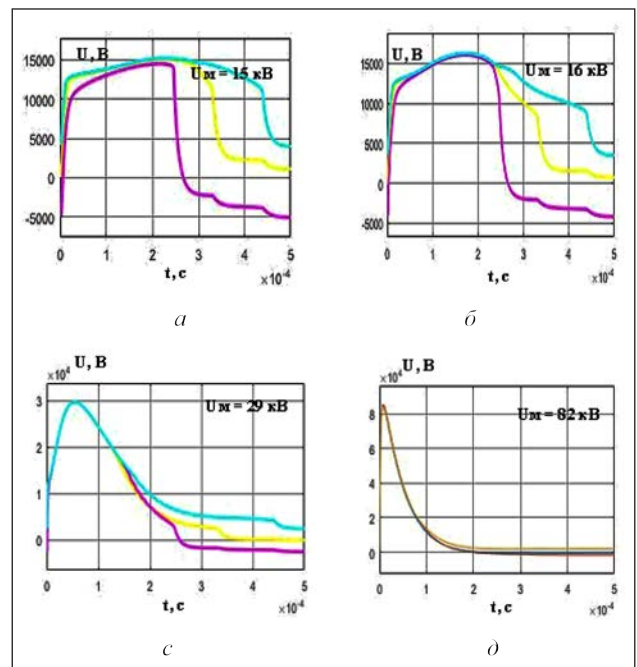


Рис. 7. Осцилограми напруги за розряду блискавки в землю поблизу середини лінії на відстані 50 м від траси ЛЕП при встановленні ОПН через 140 м: *a* – на відстані 0,7 км від початку лінії; *б* – на відстані 1,4 км від початку лінії; *в* – на відстані 2,8 км від початку лінії; *д* – на відстані 3,5 км від початку лінії

із трьох фаз через два прогони, забезпечує також установлення нелінійних обмежувачів перенапруги на кожній опорі по трасі, але на одній фазі почергово.

#### Список літератури:

1. Zanetty L.C. Evaluation of line surge arrester failure rate for multiphase lightning stresses // IEEE Transactions on Power Delivery. 2003. Vol. 18. № 3. P. 796–801.

2. Wang Lei, Lin Fuchang, Yan Fei. Calculation and analysis of induced overvoltage on a transmission line caused by lightning strike to the tower // Power System Technology. 2006. № 30. P. 271–274.
3. Кирик В.В. Розподільні електричні мережі напругою 20 кВ та ефективність їх роботи / В.В. Кирик, Б.В. Циганенко, О.С. Яндюльський. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. 228 с
4. ГНД 34.20.177-2004 «Вимоги до проектування повітряних ліній електропередачі напругою 6-35 кВ з проводами із захисним покриттям», затверджений наказом Мінпаливенерго України від 02.03.2004 № 130. К. : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2004. 24 с.
5. Кирик В.В., Абдулаєв С.А. Захист повітряних ліній електропередавання напругою 35 кВ від наведених грозових перенапруг // Електротехніка та електроенергетика. 2018. № 1. с. 81–92.
6. Ping Liu, Xiao Yi, Xu Wang, Yongling Lu, Jianhui Yu, Wenjun Zhou. Calculation on Induced Overvoltage on Low-voltage Overhead Lines // IEEE Power Engin and Autom. Conf. (PEAM). 2011. Vol. 2. P. 68–72.
7. Халилов Ф.Х., Евдокунин Г.А., Поляков В.С. Защита сетей 6–35 кВ от перенапряжений. СПб., 2002. 260 с.

### **Kyryk V.V. NONLINEAR SURGE ARRESTER IN 10 kV DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS**

*In this work the recommendations for the optimal installation locations determining of the nonlinear surge arresters to protect overhead power lines from the effects of lightning surges based on a model of an electrical network with the rated voltage of 10 kV were developed. The work is based on mathematical simulation of lightning overvoltage in 10 kV overhead lines. The processing of the results of the research was carried out using modern applied software: MathCAD and environment SimPowerSystems of the MATLAB software package. The simulation model contains 10 submodules “Line 1... 10”, each of which simulates 10 runs with a length of 70m on a single-link air line with a length of 0.7 km. The distribution of induced overvoltage in time by the run of the power line was studied. Simulated mathematical modeling of the non-linear surge arresters placement variants by the run of the overhead power line with a rated voltage of 10 kV was performed.*

*The optimal distances for the non-linear surge arresters installation to ensure the induced lightning overvoltage protection of the electrical network with the rated voltage of 10 kV were determined. The installation of nonlinear surge arresters on all supports on each of the three phases provides reliable protection of the 10 kV network against induced surges during lightning discharges. The permissible level protection provides for the installation of nonlinear surge arresters through one track support at each of the three phases, that is, at two track runs.*

*The value of the overvoltage in the phases depends on the side of the discharge location relative to the direction of the route. There is a significant reduction (wave attenuation) of the overvoltage over time along the line route.*

**Key words:** *nonlinear surge arrester; lightning overvoltages, lightning protection, induced voltage, electrical network, simulation model*



## РАДІОТЕХНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 681.3.07

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/04>

**Борисов Г.О.**

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

**Трапезон О.Г.**

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка Національної академії наук України

**Трапезон К.О.**

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

### ОСОБЛИВОСТІ ОБРОБЛЕННЯ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ IOS

*Наведено опис головних можливостей операційної системи iOS та проведено аналіз особливостей функціонування даної інформаційної платформи. Розглянуто структуру базової модульної архітектури мобільного додатку, який може бути побудований на основі правил і процедур зазначеної операційної системи. Okремо визначено, що шаблон для створення додатку визначається особливостями об'єктно-орієнтованого програмування і складається щонайменше з трьох основних компонентів, де самі дані, які завантажуються для аналізу чи обробки розташовані, наприклад, в модулі «модель» архітектури мобільного додатку. Додатково зазначено, що цей складник архітектури мобільного додатку відокремлений від даних, пов'язаних із візуальним оформленням додатку, а отже будь-які зміни в значеннях змінних чи посиланнях не будуть безпосередньо впливати на інтерфейс створеного додатку.*

*Визначено основні принципи зі створення мобільного додатку та розроблено програмний код кадру, класу, методу через реалізацію процедури розкадрування додатку. Знайдено, що така процедура визначається на основі навігаційного шаблону, який через програмні засоби можна описати у формі стандартного навігаційного контролеру.*

*Побудовано алгоритм дій зі створення простого вузлового програвача акустичних сигналів. Проведено тестування можливостей створеного додатку на основі доданих різних методів цифрової обробки акустичних сигналів. Так, в межах створеного додатку проведено тестування двох програмних контролерів, які дозволяють не лише відтворити акустичний сигнал з певною тривалістю та акустичними характеристиками, але й у користувача при цьому з'являється можливість при такій структурі провести цей сигнал через доступний набір ефектів та фільтрів.*

*Визначено, що структура взаємодії програмних контролерів визначається через алгоритм з послідовними зв'язками на основі з'єднаних між собою вузлів (нод). При цьому, доступ до окремого акустичного ефекту в такій структурі реалізовано на основі сигналів коду від навігаційного контролеру мобільного додатку.*

**Ключові слова:** додаток, платформа, фреймворк, зображення, акустичний сигнал, алгоритм, обробка.

**Постановка проблеми.** Розроблення мобільних додатків у розрізі стрімкого розвитку інформаційних технологій все частіше потребує від проектувальників застосування нових підходів, які нерозривно пов'язані сьогодні з програмуванням та тестуванням створених додатків. Одним із проявів таких підходів можна вважати операційну систему iOS та застосування, які працюють на її

основі. Разом з тим, способи та алгоритми, які лягли в основу функціонування сучасних мобільних гаджетів та пристроїв американської фірми Apple завдяки відкритості цих алгоритмів, можна просто дослідити та модернізувати на основі нових розробок в сфері телекомунікаційних технологій. Через це розробки можна не лише прописати у кодї в певному програмному середовищі,

але й оформити у вигляді додатку, який дозволить, наприклад, провести цифрову обробку різних інформаційних сигналів. До числа цих сигналів можна віднести звукові сигнали, а в якості відображення інформації можна обрати зображення певного формату.

**Постановка завдання.** Система iOS – обчислювальна платформа і разом перспективне сучасне середовище для розробки різних мультимедійних додатків. Використовуючи ресурси цієї платформи у користувача мобільного гаджету з'являються по суті необмежені можливості зі створення різних звукових сигналів, які, наприклад, можуть повністю замінити звуки природи, звуки тварин а їх обробка може стати основою до створення різних спеціальних звукових ефектів, звукових фільтрів та відповідних інструментів. Перевагою такого підходу є прозорість усіх дій з звуковою обробкою, адже код, спеціальна мова програмування, спеціальні аудіо модулі є відкритими в середовищі мережі Інтернет, і розробники власноруч на основі засобів тестування можуть провести цілий ряд експериментів з обраним звуковим семплом. Фактично, на основі інформаційної платформи iOS та засобів запису, прослуховування та відповідних бібліотек можливо забезпечити корегування параметрів наявних звукових сигналів, не лише через стандартні звукові ефекти, але й шляхом внесення змін у записані сигналограми.

**Метою статті** є дослідження принципів створення мобільного додатку на основі інтегрованого середовища xCode в рамках операційної системи iOS задля проведення практичного експерименту з обробки обраних звукових сигналів та певних цифрових зображень з стандартною чіткістю як основних елементів мультимедійного контенту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** По суті, всі додатки чинної версії операційної системи iOS використовують архітектуру «Модель – вид – контролер» (Model-View-Controller). Модель, вид і контролер – це три основних компоненти додатку (з точки зору його архітектури) в операційній системі iOS [1–2]. Model-View-Controller (MVC) – це надзвичайно потужний програмний архітектурний шаблон для створення додатків. MVC, скорочення від Model-View-Controller, є програмним архітектурним патерном. Model-View-Controller заснований на об'єктно-орієнтованому програмуванні. Він структурує потік даних і взаємодію в додатку. На рисунку 1 наведена структура MVC. Модель (Model) містить основні дані, наприклад змінні, підключення

до зовнішніх RSS-каналів або зображень, функції і числову інформацію. Цей шар повністю відділяється від візуального оформлення, і через це можна легко змінити вигляд дисплея, і при цьому це не вплине на самі дані.

Вид (View) відповідає за стиль відображення інформації на дисплеї. В якості уявлення виступає екран з графічними елементами, на якому, наприклад, можна змінити стиль або видаляти різні елементи. Контролер (Controller) управляє запитами користувача і використовує модель для реалізації необхідної реакції. Модель і вид ніколи не контактують один з одним. Вони не повинні навіть знати один про одного в ідеальному випадку [3–4].

Вид несе відповідальність за відображення свого користувацького інтерфейсу для користувача. Зрештою, уявлення передає дії, створені з користувацького, в контролер. Дії або ініціюються користувачем, наприклад, користувач може натиснути на кнопку, присутню на екрані, щоб ініціювати дію, або іноді автоматично генеруються, наприклад, екран може потребувати своєчасному оновлення свого вмісту. Відповідальність контролера полягає в тому, щоб отримувати ці дії від виду і відповідати на них. Контролер під час обробки може оновити модель. Іноді цей процес оновлення займає деякий час. Модель повідомляє контролер про завершення процесу оновлення, після чого контролер отримує повідомлення про оновлення свого користувацького інтерфейсу оновленими даними. Вид і модель ніколи не спілкуються один з одним безпосередньо. Вони спілкуються через контролер. Компанія Apple відхилилась від стандартного шаблону MVC. Вони прийняли рішення про те, що не слід тісно пов'язувати уявлення з моделлю тільки через те, що подання до мобільних додатках можна багаторазово використовувати. Якби зберігався тісний зв'язок, довелося б кожен раз заново реалізовувати уявлення для різних моделей.

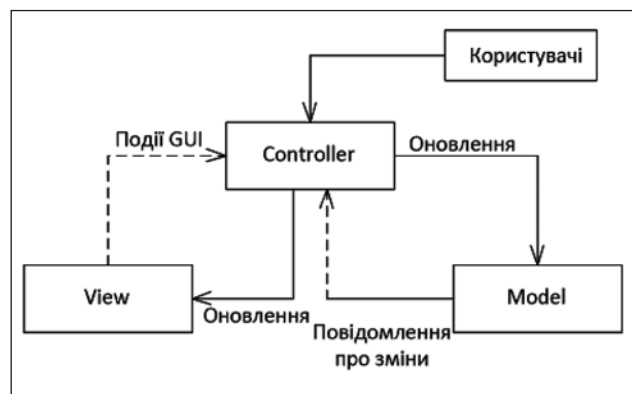


Рис. 1. Архітектура Model-View-Controller

Разом з тим, модель незалежного уявлення – актуальна ідея MVC Apple. Перевага цієї модульної архітектури в тому, що поділ ролей дозволяє нам легко вносити зміни з меншою кількістю помилок. Якщо в майбутньому вам потрібно буде змінити спосіб вибірки або організації даних, все, що вам потрібно зробити, це перемкнути модель.

**Алгоритм побудови мобільного додатку**

Побудова будь-якого складного додатку починається з розкадрування. Розкадрування – це кількість окремих самостійних сцен (кадрів) додатку, які пов’язані між собою. Розкадрування складається з головного виду (Main View Controller), який завантажується при запуску додатку, та дочірніх видів. Головний вид має посилання на дочірні види. Зворотні посилання можна створити самостійно, використавши один із навігаційних шаблонів або вказавши, що вид являється контролером навігації. Для створення навігаційного контролера треба виділити стандартний контролер, навігаційний контролер (NavigationController) та зв’язаний із ним кадр (рис. 2), на якому розміщується мультимедійний контент.

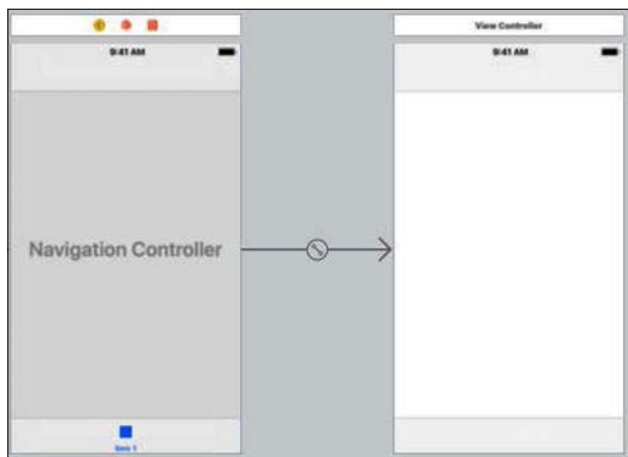


Рис. 2. Навігаційний контролер та контролер виду

З головного виду знадобилось 2 послання на кадр, який відповідає за взаємодію за аудіо файлами, та на кадр, який відповідає за взаємодію із зображеннями. В якості головного виду був використаний об’єкт Tab Bar Controller, який автоматично генерує 2 дочірніх кадра та посилання на них в нижній частині. Tab Bar Controller працює не як стандартний навігаційний контролер, він змінює своє наповнення залежно від обраного посилання, а не переходить на них, за замовчування завантажується, та яка належить першому посиланню з права. Перше посилання Audio направляє до навігаційного контролера та зв’язаного з ним виду Audio які відносяться до гілки яка відповідає за аудіо контент. Друге посилання Img направляє до виду Img, який належить до гілки розкадрування

яка відповідає за обробку зображень. Вид Img є кінцевий та наповнений зображенням, на яке накладаються ефекти та 6 кнопок, що відповідають за обрані ефекти. Вид Audio має два посилання Player та Autotune: перше веде до кінцевого кадру Player, який відповідає за програвання аудіо-файлу та містить зображення та три кнопки: почати, зупинити та повторити з початку. Друге посилання веде до кінцевого кадру ViweWithTableList, який відповідає за обробку аудіо. Він містить контейнер для комірок (Table View), у якому розміщена одна комірка (Table View Cell) з назвою Prototype Cell та дві кнопки: почати та зупинити. При завантаженні додатку Table View повністю заповнюється комірками, кожна з яких відповідає за застосування фільтру або аудіо ефекту до звукової доріжки. Комірка має два поля: одне поле для назви ефекту, друге – для відображення в цифровому вигляді частоту фільтру, процент накладання певного ефекту тощо. Також комірка має повзунок, за допомогою якого регулюються параметри ефектів для накладання. Інформацію якою наповнюється комірка описує клас Effect. Клас Effect несе в собі наступну інформацію: назва ефекту filter, мінімальні та максимальні значення повзунка min та max, початкове положення value та колір поля Name. За наповнення комірки інформацією відповідає клас AvtotyunCell. В рамках побудови мобільного додатку для програвання звукових файлів проведено створення 10 екземплярів класу Effect, кожен з яких відповідає за певний ефект, але всі вони поміщаються в масив tempEffects. При виклику функції, вона повертає масив tempEffects, інформація якого присвоюється масивом effects, для подальшого створення і наповнення комірок. Повний вигляд розкадрування зображений на рисунку 3.

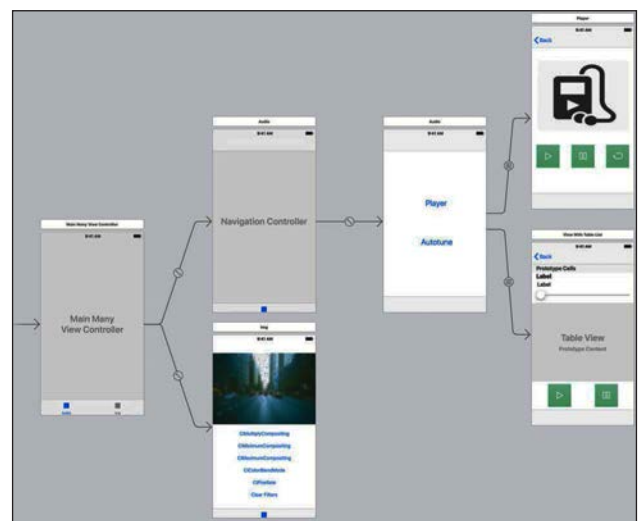


Рис. 3. Розкадрування додатку



**Схема тестування**

Обробка аудіофайлів здійснюється за допомогою двох програмних контролерів: Player та ViewWithTableList. Контролер Player виконує функції плеєра. Він надає можливості відтворювати, зупиняти та програвати заново аудіо. Контролеру Player належить кадр із такою ж назвою Player. Взаємодія з аудіо-доріжкою здійснюється за допомогою фреймворку AVFoundation. Для реалізації функціоналу плеєра було використано клас AVAudioPlayer, який містить в собі всі необхідні інструменти для цієї задачі. Спочатку створюється об'єкт player класу AVAudioPlayer, та при ініціалізації слід вказати йому шлях до аудіо файлу, який буде використовуватися.

Накладання різних ефектів та фільтрів реалізується дещо складнішим способом, ніж просто відтворення та зупинка аудіо. В додатку реалізовано 5 звукових ефектів та 5 фільтрів, кожному з яких відповідає своя комірка, в якій налаштовуються параметри звукового ефекту чи фільтру:

- Pitch – накладає ефект підвищеного чи пониженого тону;
- Reverb – накладає ефект відлуння;
- SpeechRadioTower – накладає ефект “SpeechRadioTower”;
- MultiDecimated1 – накладає ефект “MultiDecimated1”;
- MultiDecimated2 – накладає ефект “MultiDecimated2”;
- BandPass – смуговий фільтр;
- LowPass – фільтр нижніх частот;
- HighPass – фільтр високих частот;
- BandStop – режекторний фільтр;
- LowShelf – низькочастотний шельфовий фільтр.

Кожен ефект та фільтр скріплюються між собою вузлом для програвання аудіо, мікшером та вузлом, який відповідає за вивід звуку. Всі вони є аудіо вузлами. Блок-схема зв'язку аудіо вузлів наведена на рисунку 4.

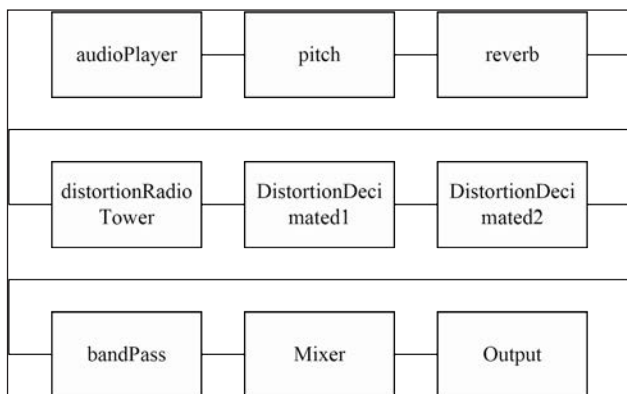


Рис. 4. Схема зв'язку аудіо вузлів

При тестуванні додатку було використано акустичний сигнал тривалістю 1 хвилина, сигналограма якого у формі послідовних відліків наведена на рисунку 5. Саме на неї накладаються вибрані ефекти та фільтри.

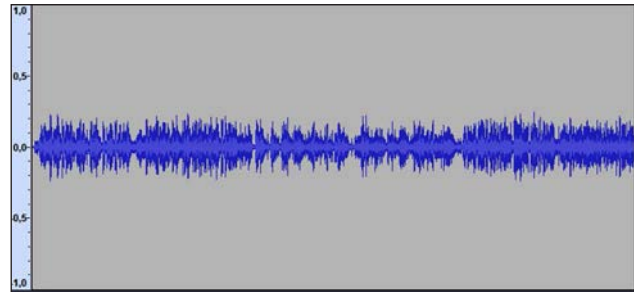


Рис. 5. Тестова сигналограма сигналу

На тестову аудіо доріжку для накладання було обрано ефект Reverb (ефект реверберації), який емітує відлуння всередині середовища собору, як приміщення з певними акустичними характеристиками. Також поверх ефекту відлуння було накладено фільтр LowPass (фільтр низьких частот) з частотою зрізу 1446 Гц (рисунк 6).

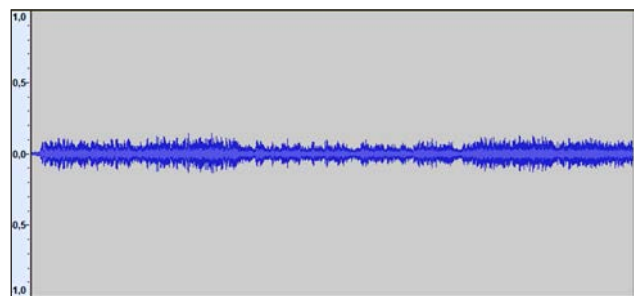


Рис. 6. Тестова сигналограма з накладеним ефектом відлуння та фільтром LowPass

На основі проведеного дослідження з перевірки можливостей створеного мобільного додатку, можна підкреслити, що хвильова форма, до якої було застосовано послідовно два акустичних ефекти, визначається тим, що енергетичний складник сигналу внаслідок акустичної обробки значно зменшився, що обумовлено акустичними особливостями віртуального приміщення-собору. При цьому, тональні складові сигналу для обраного семплу відповідають природі у випадку обробки сигналів, яку можна провести в спеціалізованих програмних комплексах.

**Висновки.** Побудовано алгоритм дослідження найбільш розповсюджених звукових ефектів на основі використання можливостей інформаційної платформи iOS. Описано архітектуру «Модель-вид-контролер» у формі компонентів додатку, що є базовою основою до проведення експерименту

з аналізу особливостей мультимедійного контенту на основі використання мобільних гаджетів та спеціальної мови програмування.

Побудовано простий алгоритм використання спеціальних фреймворків в середовищі XCode, який дозволив провести тестування на обраному семплі ряд звукових ефектів. Знайдено, що побудований алгоритм аналізу семплів на основі ресурсів iOS дозволяє значно спростити сам процес дослідження звукових сигналів різ-

ної природи, через те, що інструменти симулятора описуються через код мови програмування, і отже їх налаштування є зрозумілим підходом до проведеного аналізу. Крім цього, наведена схема підключення вузлів в середовищі Xcode обчислювальної платформи iOS може бути використана для додавання власних звукових ефектів між елементами програвача та виходу, та на різних етапах конструювання віртуальних генераторів звуку.

#### Список літератури:

1. Нахавандипур В. iOS. Приемы программирования. Санкт-Петербург : «Питер», 2014. 815 с.
2. Усов В. Swift. Основы разработки приложений под iOS и macOS, 3-е изд., доп. и перераб. СПб : Питер, 2017. 368 с.
3. Маскри М., Топли К., Марк Д. Swift 3: разработка приложений в среде Xcode для iPhone и iPad с использованием iOS SDK, Санкт-Петербург : «Питер», 2017. 896 с.
4. В. Нахавандипур iOS. разработка приложений для iPhone, iPad и iPod. Санкт-Петербург : «Питер», 2013. 864 с.

#### **Borysov G.O., Trapezon O.G., Trapezon K.O. ACOUSTIC SIGNAL PROCESSING FEATURES BASED ON IOS SOFTWARE**

*The main features of the iOS operating system are described and the peculiarities of the functioning of this information platform are analyzed. The structure of the basic modular architecture of the mobile application, which can be built on the rules and procedures of the specified operating system, is considered. Specifically, an application creation template is determined by the features of object-oriented programming and consists of at least three major components, where the data that is downloaded for analysis or processing is located, for example, in the "model" module of the mobile application architecture. In addition, it is noted that this component of the mobile application architecture is separate from the data related to the visual design of the application, and therefore any changes in the values of variables or links will not directly affect the interface of the created application.*

*The basic principles for the creation of a mobile application are defined and the program code of the frame, class, method is developed through the implementation of the application decoding procedure. It is found that such a procedure is based on a navigation template, which through software can be described in the form of a standard navigation controller. An algorithm for creating a simple nodal acoustic signal player has been built. Tested the capabilities of the created application based on the added different methods of digital processing of acoustic signals.*

*Thus, within the created application, two software controllers were tested, which allow not only to reproduce an acoustic signal with a certain duration and acoustic characteristics, but also the user has the opportunity to structure this signal through an available set of effects and filters. It is determined that the structure of the interaction of software controllers is determined through an algorithm with serial connections based on interconnected nodes (nodes). In this case, access to a separate acoustic effect in such a structure is realized based on the code signals from the navigation controller of the mobile application.*

**Key words:** application, platform, framework, image, acoustic signal, algorithm, processing.

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

UDC [005.53+005.56]: 655

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/05>

*Andriushchenko T.U.*

Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics

## APPROACHES TO THE MANAGEMENT OF RELATIONSHIPS OF PUBLISHING-POLYGRAPHIC ENTERPRISES IN THE SYSTEM OF SUPPORTING DECISION MAKING

*In today's market economy, publishing and printing companies are under the influence of intense competition for the customer, the client. Making every effort to meet the demand of your consumer; establishing relationships with suppliers, freelancers, third parties by establishing partnerships.*

*Publishing and printing companies in the course of their work enter into relationships with market participants. Company relations with customers, contractors, suppliers and other participants for the production of goods, services or supplies of various goods, provide for the conclusion of contracts and are common practice of enterprise interaction. A special feature in the activity of publishing and printing companies is the provision of comprehensive services, both in the publishing (creation of the edition from work with the author to the production of the layout of the publication) and printing industry (execution of all pre-printing, printing and post-printing processes). Various stakeholders are involved in the execution of orders, that is, stakeholders, material suppliers, outsiders, freelancers and others, which creates partnerships between them.*

*The purpose of this study is to analyze partnerships and identify key approaches in building such relationships between publishing and printing companies and its stakeholders to build a decision support system.*

*The first step towards creating a decision support system for managing partnerships of publishing and printing companies is to create a knowledge base that describes the subject area of partnerships. Partnerships, in turn, require the identification and analysis of meaningful concepts that form the subject area of the decision support system for managing the partnership relations of publishing and printing companies. This raises an urgent question as to the type of partnerships between publishing and printing companies with stakeholders. The practical result of this study is to identify approaches in managing partnerships between publishing and printing companies.*

**Key words:** *managing partnerships, publishing and printing companies, partnerships, partnerships of publishing and printing companies, decision support systems.*

**Problem statement.** Increasingly, businesses are realizing that in order to work effectively, they need to be constantly in close contact with their stakeholders. Analyzing the inside information (derived from the performance of such systems) allows you to analyze the status of each stakeholder more clearly based on objective data. This is far more reliable than making certain judgments based only on a subjective view of the situation. Therefore, the creation of decision support systems for managing partnerships of publishing and printing companies gives the company certain advantages and economic preferences.

The first step towards creating decision support systems for managing partnerships with publishing and printing companies is to create a knowledge

base that describes the subject area of partnerships. Partnerships, in turn, require the identification and analysis of meaningful concepts that form the subject area of decision support systems for managing partnerships between publishing and printing companies. This raises the pressing question of choosing the type of partnership relations between publishing and printing companies with stakeholders.

**Latest research and publications analysis.** Analyzing literary sources [1–2; 4–5; 7–11; 14–13], there are two approaches to managing partnerships. Issues of value approach in the management of partnership relations are considered in the works of domestic and foreign scientists. A. Rappaport [1], B. Stewart [2], T. Copeland, J. Murrin, and T. Coller [10]. A valuable

approach in managing partnerships was considered in the works of such scholars as Chukhray N., Kryvoruchko Y. [13], Girnaya O. [4], Gordon Y. [5], Zavgorodij A. [7], Kovalev A., Voilenko V. [8].

**The article aim** analyze partnerships and identify key approaches in building relationships between printing and publishing companies and stakeholders to create a decision support system.

Object of research – processes of managing partnerships of publishing and printing companies with stakeholders

Subject of research – information technology of decision making in the sphere of partnership relations of publishing and printing companies with stakeholders

**Basic material.** The analysis of the literature has made it possible to conclude that the concepts of “value” and “value” are not entirely correct in the context of partnerships, since the essence of partnerships is connected not only with value aspects but also with value [12]. As noted in their work [12] Pushkar O., Kurbatova Yu. The value of partnerships is the set of economic benefits that enterprises receive as a result of their relations, which contributes to the emergence of results in monetary and non-monetary dimensions.

The value approach in partnerships is aimed at increasing the individual profits of partners, without taking into account the individual needs of each partner. Affiliate management in this approach is aimed at achieving certain goals, maximizing profits, which are reflected in quantitative indicators, such as increased sales, reduced costs, or increased profits. Partnership management, taking a cost approach, allows you to focus on the quantitative (cost) characteristics of relationships that are associated with increased profits and cost minimization, but only unilaterally.

The value approach in managing partnerships has a certain purpose – to ensure mutual benefit for all stakeholders, which is related to the acquisition of values and is revealed in the formation of quantitative and qualitative characteristics of relations, at the same time for both or more partners [14]. Based on this, the fundamental concept of a value approach in managing partnerships is “value”.

Therefore, value-based and value-based approaches were chosen as the basic ones in managing the partnership relations of publishing and printing companies, first of all, because the use of value-based approach makes it possible to achieve maximum results of enterprises. That is, all businesses receive the highest possible profit or benefit.

In their work [14] Chukhray N., Kryvoruchko Y. indicate that companies understand the values of the partner, as well as establishing partnerships with

“their environment, as they are aware of the link in the whole value chain”. Secondly, the value approach is chosen as fundamental because, as many businesses goals lie not only in the value approach [14], partners in today’s economic environment aim to form values, not just value.

Dligach A. in his work [6] introduces the notion of system-reflective control, as a form of control with systemic (regular) reflection, a constantly operating system of “wide object” management, to which others (subjects of confrontational control) are involved, whose interests, intentions, actions are foreseen and managed.

An overview of the automated information and control systems, which, presented on the Ukrainian market, found that universal and specialized systems such as Asystem, Hiflex, Prinance, DISO are intended to assist in essentially the same issues, the difference lies only in the functions present in those or other systems.

Systems such as Asystem, Hiflex, Prinance and DISO are intended mainly for large and medium-sized enterprises. Smaller businesses use simpler systems, such as Print-Effect and PrintSmith. At the stage of technical preparation, the production information system can solve the following main tasks [3]:

- calculation of the cost of the order on the basis of the lists of operations and resources required to execute the order. The information base for calculating the cost of orders is provided by equipment directories, material consumption rates (including technical waste), time costs, as well as a directory of the basic types of orders and operations required for their execution;
- planning of expenses and purchases;
- managing the composition of materials and finished products;
- calculation and recalculation of the cost of the order;
- preparation of product templates;
- installation of printing letters;
- development of original layout and formation of technological route;
- manpower planning and tracking;
- control of order completion at all stages of production and others.

Customer relationship management systems, CRM-class systems, increase customer service efficiency. Customer relationship management systems provide comprehensive customer information by storing customer data, the task of which is to optimize customer service by maintaining customer information and relationships with them. CRM allows you to: manage business processes and contacts, maintain an incident database and incident knowledge base,



and this class system allows you to plan and manage sales, including automatic workflows, managing staff downloads, reminding you of scheduled appointments and calls, get work results. At the same time, customer relationship management systems, CRM-class systems, do not fully allow to make decisions regarding partnerships between publishing and printing companies and its stakeholders.

Automated enterprise management systems such as ASystem, Hiflex, Prinance, DISO and Print-Effect and PrintSmith process control systems were analyzed. The analysis did not reveal in any of these systems such functions that could be used to make decisions regarding partnerships in publishing and printing companies.

The decisions made should be based on reliable, current and predictable information on the analysis of all the factors that influence the decision, taking into account the anticipation of its possible consequences. A late decision significantly reduces the efficiency and quality of decisions and accordingly influences the activity of the enterprise as a whole. In order for a competitive printing company to function, it is necessary to implement DSS in the enterprise.

When manufacturing printing products, there are a number of problems or decision-making problems that need to be addressed immediately by the technologist, manager or manager. Only the right and timely decisions can be made to avoid significant quality problems and a critical breach of time.

The analysis of the activity of publishing and printing companies has revealed a number of strategic and operational decisions in the sphere of managing the relations of publishing and printing enterprises with suppliers, whose computer support is currently missing or not perfect:

a) strategic decisions: decisions regarding the choice of partner suppliers, decisions on a strategy for promoting suppliers, decisions regarding the directions of enterprise development taking into account the interests of partner suppliers;

b) operational decisions: deciding whether to send an order to a particular supplier, decisions regarding the technology of order fulfillment by the supplier according to the wishes of the enterprise, solutions regarding delivery time and benefits, procurement logistics decisions, decisions regarding compensation for damages.

Computer support for solutions in the field of relationship management of publishing and printing companies with employees is also not perfect: decisions on a strategy for workers' incentives; decisions regarding compensation for lack of products; deci-

sions regarding promotion or career advancement of employees; decisions regarding dismissal or removal from office; decisions regarding the choice of a pay strategy for employees.

In order to provide mathematical and computer support for the decision-making process of managing partnerships between publishing and printing companies and its stakeholders, we will formulate an appropriate set of decision-making tasks facing, for example, managers of printing and printing companies. The following basic types of tasks may be included in the decision-making complex of managing partnerships between publishing and printing companies and their supplies suppliers:

Task 1. Strategic decision-making problem in choosing the type of relationship between an enterprise and suppliers of a given type of materials.

Task 2. The decision-making task of choosing a partner among the suppliers of a given type of materials.

Task 3. The decision-making task of determining the volume of the order from the partner supplier of materials for carrying out current operational activities.

Most of these solutions are poorly formalized. Therefore, computer decision support can be provided by Decision Support System (DSS) information systems of the DSS. It can also be concluded that the DSS under discussion should include strategic and operational modules to support different levels of decision making.

**Conclusions.** The analysis of partnerships was carried out and the main approaches in the construction of relations between publishing and printing companies and its stakeholders were identified. The analysis concluded that in order to build a decision support system in managing partnerships of publishing and printing companies, it is necessary to use not only the value and value approach, but also the use of reflective management. Generally speaking, it can be said that the use of reflective partnership management is that the relationship enterprises must anticipate and take into account the values of partnership that each partner expects to receive.

In analyzing the activities of publishing and printing companies, a number of strategic and operational decisions have been identified in the management of the relationship between publishing and printing companies and its stakeholders, whose computer support is missing or not perfect. This made it possible to formulate a complex of decision-making tasks for managing the partnership relations of publishing and printing companies with suppliers of consumables.



References:

1. Rappaport A. Creating Shareholder Value: The New Standard for Business Performance. New York: Free Press, 2000. 270 p.
2. Stewart B. The Quest for Value: A Guide for Senior Managers. Harper Business. N. Y, 1991. V.1. P. 34–38.
3. Андрющенко Т.Ю. Автоматизація та системи підтримки прийняття рішень на поліграфічних підприємствах. *Системи обробки інформації*. 2010. № 7(88). С. 134–141.
4. Гірна О.Б., Гірна О.Б., Шевців Б.В., Іванська Л.В. Оптимізація діяльності підприємств на основі упровадження концепцій логістики. *Логістика*. 2010. № 669. С. 25–33.
5. Гордон Я.Х. Маркетинг партнерских отношений. СПб. Питер, 2001. 379 с.
6. Длігач А. О. Системно-рефлексивний маркетинг у стратегічному управлінні. URL: <http://www.m.nayka.com.ua/?op=1&j=efektyvna-ekonomika&s=ua&z=388> (дата звернення: 15.10.2019).
7. Завгородня А.В., Ямпільська Д.О. Маркетингове планування. Санкт-Петербург: Питер, 2002. 385 с.
8. Ковальов А.І., Войленко В.В. Маркетинговий аналіз. Москва. Центр економіки і маркетингу, Вид. 2-е, перераб. і доп. 2000. 265 с.
9. Костирко Р.О., Тертична Н.В., Шевчук В.О. Комплексна оцінка вартості підприємства: монографія / за заг. ред. докт. екон. наук, академіка НАН України М.Г. Чумаченка. 2-ге вид. перероб. і доп. Харків. Фактор, 2008. 278 с.
10. Коллер Т., Коупленд Т., Муррін Д. Управление стоимостью компании, Вестник McKinsey, 2002. С. 82–111.
11. Мендрул О.Г. Управління вартістю підприємств: монографія. Київ. КНЕУ, 2002. 272 с.
12. Пушкар О.І., Курбатова Ю.Л. Метод оцінювання цінності міжфірмових відносин в ланцюгах поставок на основі інструментарію теорії нечітких множин. *Економіка розвитку*. 2014. № 4. С. 55–59.
13. Семон Б.Й., Шевченко В.Л., Подобєдов І.В., Радченко Я.О. Порівняльний аналіз можливості застосування функціонального та процесного підходів до управління установою. URL: [http://nbuv.gov.ua/portal/soc\\_gum/Znrcvsd/2009\\_1/1.pdf](http://nbuv.gov.ua/portal/soc_gum/Znrcvsd/2009_1/1.pdf). (дата звернення: 10.09.2019).
14. Чухрай Н. І. Криворучко Я. Ю. Оцінювання і розвиток відносин між бізнес партнерами: монографія. Львів: Растр-7, 2008. 360 с.

**Андрющенко Т.Ю. ПІДХОДИ ДО УПРАВЛІННЯ ВЗАЄМОВІДНОСИНАМИ ВИДАВНИЧО-ПОЛІГРАФІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

*У сучасних умовах ринкової економіки видавничо-поліграфічні підприємства перебувають під впливом інтенсивної конкурентної боротьби за замовника, клієнта. Вони мають докладати багато зусиль для задоволення попиту свого споживача, налагодження стосунків з постачальниками, позаштатними працівниками, сторонніми виконавцями, встановлювати партнерські відносини.*

*Видавничо-поліграфічні підприємства в процесі своєї роботи вступають у взаємовідносини з учасниками ринку. Взаємовідносини підприємства з замовниками, виконавцями, постачальниками та іншими учасниками процесу виготовлення товарів, надання послуг або постачання різноманітних товарів передбачають укладання договорів і є поширеною практикою взаємодії підприємств. Особливістю в діяльності видавничо-поліграфічних підприємств є надання комплексних послуг, як у видавничій (створення видання, починаючи від роботи з автором до виготовлення макету видання), так і поліграфічній галузі (виконання усіх друккарських, друкарських та післядрукарських процесів). У процесі виконання замовлень беруть участь різні зацікавлені сторони, тобто стейкхолдери. Це і постачальники матеріалів, і сторонні виконавці, і позаштатні працівники та інші. Отже, вкрай важливим є встановлення партнерських відносин між ними.*

*Метою нашого дослідження є аналіз партнерських відносин та виявлення основних підходів до побудови таких відносин між видавничо-поліграфічними підприємствами та його стейкхолдерами у системі підтримки прийняття рішень.*

*Першим кроком на шляху створення системи підтримки прийняття рішень з управління партнерськими відносинами видавничо-поліграфічних підприємств є створення бази знань, яка описує предметну область партнерських відносин. Партнерські відносини своєю чергою потребують виявлення та аналізу змістовних понять, які складають предметну область системи підтримки прийняття рішень з управління партнерськими відносинами видавничо-поліграфічних підприємств. При цьому постає актуальне питання щодо вибору типу партнерських відносин видавничо-поліграфічних підприємств зі стейкхолдерами. Практичним результатом нашого дослідження є визначення підходів до управління партнерськими відносинами у видавничо-поліграфічних підприємствах.*

**Ключові слова:** управління партнерськими відносинами, видавничо-поліграфічні підприємства, партнерські відносини, партнерські відносини видавничо-поліграфічних підприємств, системи підтримки прийняття рішень.

**Бунке О.С.**

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

## ЗАРУБІЖНИЙ ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ INTERNET OF THINGS НА ОСНОВІ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

*У статті досліджується зарубіжний досвід використання платформи Internet of Things на основі хмарних технологій. Системи Internet of Things є найбільш інноваційним рішенням щодо реалізації максимальної функціональності для підвищення продуктивності та ефективності. Фундаментальним принципом платформи Internet of Things на основі хмарних технологій є реалізація безперервного зв'язку між пристроями, компонентами та програмним забезпеченням. Визначено кількісний та вартісний складники використання платформи Internet of Things за секторами економіки. Зазначено дві основні сфери: охорона здоров'я та енергетика і комунальний сектор (джерела отримання енергії, розподіл та споживання енергії, розумне освітлення, інтелектуальна будівля, місто), за якими здійснено опис архітектури платформи та принципів реалізації Internet of Things. IoT у сфері охорони здоров'я здійснює аналіз розташування загальних компонентів IoT і пропонує опис стандартних налаштувань для заданих сценаріїв кожного окремого додатку в рамках IoTHeF. Формування даних здійснюється збиранням інформації з датчиків, її комутації та аналізу, останнім етапом є розшифровка результатів дослідником. Наведено топологію IoT в рамках охорони здоров'я та визначено основні додатки IoT в енергетиці і комунальному секторі. Доводиться економічна ефективність застосування платформи IoT в енергетиці і комунальному секторі за рахунок зниження споживання та мінімізації витрат на оплату комунальних послуг. Описано принципи автоматизації збору даних по енергетичним показникам загалом по підприємству, що адаптує розподіл ресурсів за секторами. Аналіз зарубіжного досвіду використання IoT на основі хмарних технологій зведено до таблиці, де розкрито рік впровадження платформи за різними секторами та аргументовано нормативну базу у рамках країни.*

**Ключові слова:** Інтернет речей, хмарні технології, платформа, комп'ютерна програмна система, датчик, проектування, зарубіжний досвід.

**Постановка проблеми.** Можливості платформи Internet of Things (IoT) на основі хмарних технологій сьогодні важко переоцінити. Український IT-ринок пропонує автономні системи, які є фундаментальними для більшості інформаційних підходів. Системи на основі Internet of Things, це комбінація з апаратного забезпечення (компонент та датчик), яке контролюється та управляється, та програмного забезпечення (вихідний код, програми), які пов'язані між собою мережею, що своєю чергою дозволяє обмінюватися даними. Загалом системи Internet of Things можуть бути присутні всюди для створення технічних та соціально-економічних можливостей з прямою інтеграцією між фізичним світом та комп'ютерними програмними системами. Однак у контексті програмних IoT є низка проблем, таких як проектування, безпека, захист, конфіденційність, управління та регулювання, які необхідно враховувати під час проектування, моделювання, розробки, розвитку та ефективного використання систем, що застосовано на Internet of Things.

Зарубіжний досвід використання платформи Internet of Things на основі хмарних технологій ґрунтується на моделях архітектури програмного забезпечення, які ефективно використовуються у складних системах промислового виробництва. Архітектура програмного забезпечення для IoT спрямована на виявлення складнощів різноманітного обладнання, компонентів та мережевих протоколів для забезпечення безперебійної роботи, а також підвищення якості обчислень у системах IoT [1]. Наприклад, архітектурні компоненти (як модулі виконуваного коду) можуть забезпечити програмовані і стандартизовані інтерфейси для роботів побутової техніки, які можуть координувати один з одним за допомогою архітектурних роз'ємів (як передача повідомлень між модулями коду). Це означає, що наявні дослідження, кращі практики і принципи програмного забезпечення можуть використовуватися для моделювання, розробки, виконання та розвитку складних систем IoT, які задовольняють бажану функціональність, а також необхідну якість [2]. Проте є необхідність

вийти за рамки наявних досліджень для розробки архітектурних рішень на основі IoT, щоб підтримати виникаючі проблеми для програмно орієнтованих IoT [3–4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У поточному десятилітті спостерігається стійке зростання досліджень і розробок щодо архітектурних рішень для вирішення різних завдань, які варіюються від специфічних аспектів проектування, експлуатації, управління та безпеки для програмного забезпечення IoT [5].

В.Ш. Гіоргізова-Гай, А.О. Шеренковський [1] серйозно підійшли до розгляду питання використання шлюзів у системах IoT. Авторами виділено перелік головних функцій та основних характеристик шлюзів IoT і запропоновано критерії їх класифікації та порівняння. Виробників обладнання для реалізації системи IoT розкриває Л. О’Доннелл [2].

Короткий огляд апаратних платформ, типових архітектурних рішень і послуг для корпоративних інформаційних систем наведено на офіційному сайті компанії Hewlett Packard [3]. Огляд апаратних платформ включає опис усіх сфер застосування кожної окремої платформи, її технічні характеристики та переваги порівняно з аналогами.

Ю.М. Лисецький, Д.І. Калбазов [4] розглянули IoT-технології в контексті перспектив її розвитку в Україні. Вчені дійшли висновку, що незважаючи на те, що ця технологія добре зарекомендувала себе в США і розвинених європейських країнах,

в Україні механізми економічної аргументації для її широкого впровадження ще не відпрацьовані, а обсяг коштів, що виділяються на моніторинг екологічного стану на державному і на муніципальному рівні недостатній.

Із зарубіжних авторів варто відзначити роботи М. Beshley, М. Klymash [5], Ademir F.da Silva, Ricardo L.Ohta [6] та ін.

Незважаючи на масштабність наукових досліджень у сфері використання платформи Internet of Things на основі хмарних технологій, тема залишається вивченою не повною мірою та потребує подальших досліджень.

**Постановка завдання.** Цілі пропонованого дослідження зарубіжного досвіду платформи IoT на основі хмарних технологій використання полягають у тому, щоб:

(I) систематично дослідити специфічний для архітектури принцип, наявні рішення і кращі практики для програмного забезпечення IoT;

(II) проаналізувати сильні сторони, обмеження і тенденції, щоб точно визначити оптимальне рішення для архітектури програмного забезпечення IoT.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Масштаби використання платформи IoT на основі хмарних технологій поширюються на всі економічні сфери життя сучасної людини. IoT впроваджено у сфері охорони здоров’я, освітній сфері, промисловій сфері, логістиці, архітектурі, торгівлі (рис. 1). Системи IoT підтримують спроби використання інноваційних технологій та

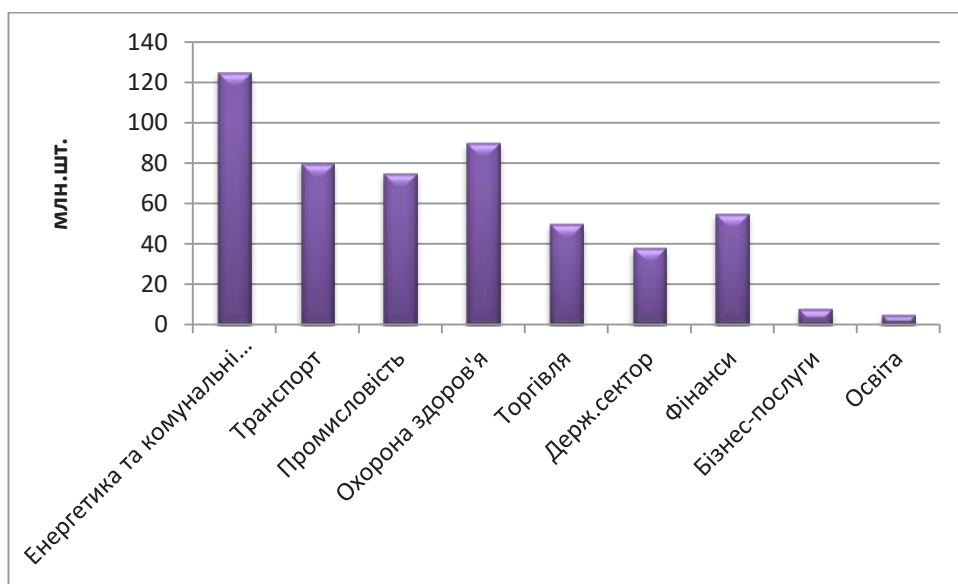


Рис. 1. Число пристроїв IoT за сферами економіки у світі, на 2019 рік

\* Ovum, Machina Research

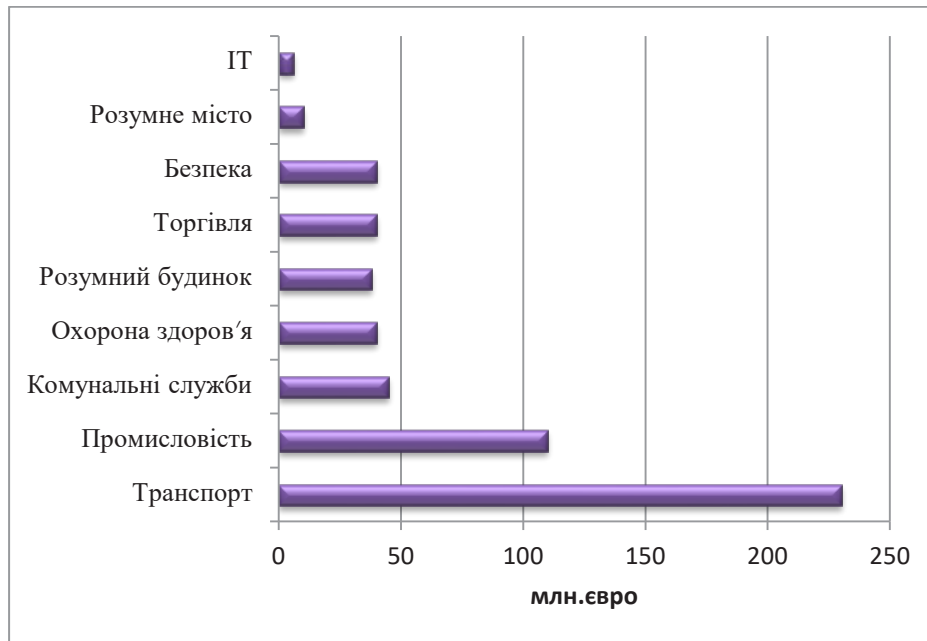


Рис. 2. Прогнозовані доходи ринку IoT за основними сферами економіки у світі на 2025 рік

\* Ovum, Machina Research

функціональності для підвищення продуктивності та ефективності, що може бути досягнуто за допомогою безперервного зв'язку між пристроями.

Оскільки компоненти та датчики IoT, а також програмне забезпечення повинні взаємодіяти, їм необхідно «місце» для обміну інформацією, її обробки та зберігання. Налаштування окремої системи обміну є непрактичним та дорогим (витрати на утримання, модернізацію та забезпечення системи). Тому сьогодні розроблені та активно використовуються хмарні сервіси.

Сьогодні впровадження зарубіжної практики в енергетиці та комунальних службах, а також у сфері охорони здоров'я є найбільш перспективним. IoT в рамках охорони здоров'я (IoTHeF) обробляє розташування загальних компонентів IoT і описує деякі з них стандартні налаштування для заданих сценаріїв додатків в рамках IoTHeF. На рис. 3 представлений типовий IoT і хмарні обчислення в топології охорони здоров'я, що містить три основні елементи [6].

Видавець являє собою мережу підключених датчиків або ручних пристроїв, що відповідають за запис життєвих показників пацієнта, і безперервне посилення значної кількості життєво важливої інформації, такої як електрокардіограма (ЕКГ), електроміограма (ЕМГ), температура тіла, рівень глюкози в крові (РГ) і обсяг повітря, що вдихається і видихається легеньми хворого. Далі здійснюється аналіз і збереження оброблених

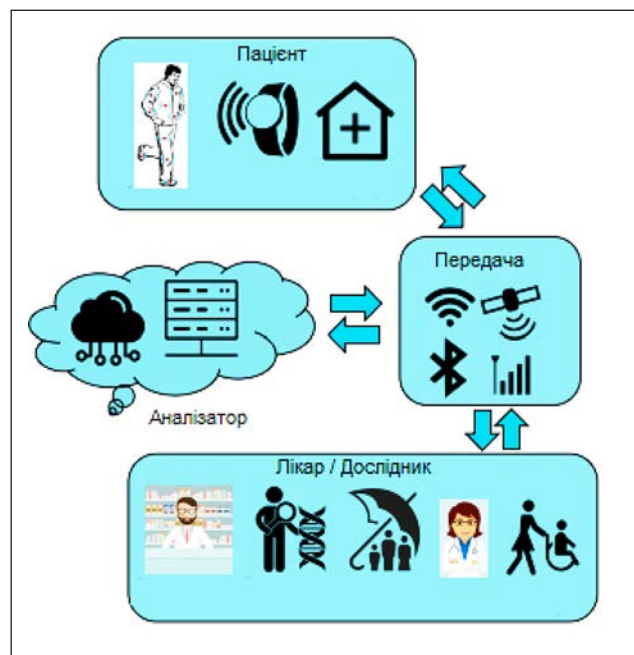


Рис. 3. Топологія для платформи IoT у сфері охорони здоров'я

\* Kyungbok Min and Hyeonjoon Moon

даних у хмарі. Лікар, який безпосередньо контролює пацієнтів, може отримати доступ до даних з будь-якого розташування та зреагувати негайно, коли відбуваються несподівані інциденти. IoTHeF включає окремі компоненти в гібридну обчислювальну сітку, де кожному компоненту служить



конкретна мета на IoT і хмарних обчисленнях в мережі охорони здоров'я.

Структура або архітектура IoTNeF говорить про розташування фізичних компонентів IoT та методів зв'язку між інтелектуальними пристроями. Базова структура для інтеграції IoT і хмарних обчислень у рішення smart health була запропонована у роботі [7] «Бездротові сенсорні мережі в біомедичних засобах: бездротові мережі у розвитку Європи та MENA в галузі інформаційних та комунікаційних технологій». У цій структурі сенсорні вузли використовувалися для спостереження за пацієнтами, збору даних, а потім всі зібрані дані передавалися в мережу вузлів-приймачів.

Кожен вузол системи був ідентифікований і доступний через IPv6. Усі вузли в мережі були фіксованими, а вузли-приймачі грали роль шлюзу шляхом підключення до локальних комп'ютерів через послідовні порти. Таким чином шлюз контролював доступ до Інтернету, діючи як пограничний маршрутизатор, і він також функціонував як фрагментація пакетів IPv6. Сервер Big data back-end був побудований для підтримки збору і розміщення даних. Він може бути розгорнутий на хмарі або віддаленому центрі обробки даних для постійного зберігання даних. Користувачі можуть отримувати доступ, змінювати і запитувати дані через Інтернет або пріоритетні канали, призначені для обробки та аналізу даних.

Додатки IoT в енергетиці і комунальному секторі поділяються на наступні сфери:

1) IoT у джерела отримання енергії:

Датчики IoT прикріплені до обладнання виробництва енергії в електростанціях. Вони допомагають підвищити ефективність і скоротити час простою і витрат на технічне обслуговування. Обладнання можна підтримувати на оптимальному рівні через безперервний контроль за допомогою датчиків. Підключення обладнання також дозволяє здійснювати децентралізацію виробництва енергії. Енергія, отримана з різних джерел (розподілена генерація), може бути врахована для розподілу.

2) IoT в розподілі енергії:

Енергія (електрика), що виробляється з різних джерел, розподіляється споживачам за допомогою мережі. Інтелектуальні мережі на основі інтернету речей можуть автоматично виявити збій у розподільній мережі і негайно передати розподілену електроенергію для обслуговування області, порушеної збоєм. Інтелектуальна сітка може визначити точні точки збою і забезпечити

більш швидке відновлення, не зачіпаючи клієнтів. Інтелектуальні мережі також можуть визначати потреби в електроенергії в реальному часі і запобігати втраті потужності, розподіляючи тільки необхідну кількість енергії через мережу.

3) IoT у споживанні енергії:

Використовуючи IoT для підключення пристроїв в будинку або офісі, споживачі можуть отримувати дані про споживання енергії і використовувати їх для налаштування своєї поведінки і економії енергії.

Інтелектуальні лічильники дозволяють споживачам зрозуміти свої моделі споживання енергії і скільки енергії споживають їх побутові або офісні пристрої. Вони можуть вжити відповідних заходів, коли пристрій споживає більше енергії, ніж це необхідно. Інтелектуальні лічильники також можуть контролювати час споживання разом з кількістю споживаної потужності. Це дозволяє комунальним компаніям пропонувати клієнтам стимули, такі як пікові і непікові часові ціни.

4) Розумне освітлення:

Одним з видів інтелектуального освітлення є підключена лампа розжарювання, яка підключена до інтернету і може управлятися додатком на мобільному телефоні користувача.

5) Інтелектуальна будівля

Інтелектуальна будівля поєднує основні системи великої будівлі, такі як опалення, освітлення, і забезпечує детальний огляд їх роботи. Це дозволяє менеджерам будівель приймати більш ефективні рішення. Таким чином, будівельні менеджери мають інструменти для роботи в напрямку зниження енергоспоживання будівлі.

Нормативно-правове підґрунтя використання IoT у зарубіжних країнах наведено у табл. 1.

Енергетичний сектор є одним з найбільших додатків IoT. Енергозбереження та енергоефективність у всьому енергетичному секторі є пріоритетом у всьому світі, і IoT є одним з основних чинників досягнення цієї ефективності.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** За проведеними дослідженнями зарубіжні науковці стверджують, що Інтернет речей є провідною технологією, яка вносить необротну трансформацію в організацію сучасних виробничих і бізнес-процесів. Перехід на концепцію IoT відбувається за рахунок формування крос-індустріальних відкритих (по горизонталі і вертикалі) виробничо-сервісних екосистем, які об'єднують безліч різних інформаційних систем управління різних підприємств і задіюють безліч різних пристроїв.



## Нормативно-правове підґрунтя використання IoT: зарубіжний досвід

№	Країна	Рік	Застосування	Документ
1	США	2017	Так	Fostering the Advancement of the Internet of Things. Available online: <a href="https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/iot_green_paper_01122017.pdf">https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/iot_green_paper_01122017.pdf</a>
2	Китай	2018	Так	Made in China 2025. Available online: <a href="http://isdpeu/content/uploads/2018/06/Made-in-ChinaBackgrounder.pdf">http://isdpeu/content/uploads/2018/06/Made-in-ChinaBackgrounder.pdf</a> China IoT in Healthcare White Paper. Available online: <a href="http://global.chinadaily.com.cn/a/201809/14/WS5b9bb789a31033b4f465629c.html">http://global.chinadaily.com.cn/a/201809/14/WS5b9bb789a31033b4f465629c.html</a>
3	Японія	2016	Так	General Framework for Secured IoT Systems. Available online: <a href="https://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/iot_framework2016.pdf">https://www.nisc.go.jp/active/kihon/pdf/iot_framework2016.pdf</a>
4	Південна Корея	2019	Ні	Розробка проекту
5	Росія	2016	Так	Российский рынок Интернета вещей . Доступный онлайн: <a href="https://iot.ru/upload/Russia%20Internet%20of%20Things%20market.документ.pdf">https://iot.ru/upload/Russia%20Internet%20of%20Things%20market.документ.pdf</a>
6	Індія	2019	Так	Digital India Program of the Government. Available online: <a href="https://www.digitalindia.gov.in/">https://www.digitalindia.gov.in/</a>
7	Данія	2018	Так	Digital Growth Strategy. Available online: <a href="https://eng.em.dk/media/10566/digital-growth-strategyreport_uk_web-2.pdf">https://eng.em.dk/media/10566/digital-growth-strategyreport_uk_web-2.pdf</a>
8	ЄС	2015	Так	Alliance for Internet of Things Innovation. Available online: <a href="https://aioti.eu/">https://aioti.eu/</a>

На основі зазначеного очевидно застосування складних бізнес-процесів, які дозволять в автоматичному режимі здійснювати оптимізаційне управління (наскрізний інжиніринг) різного роду ресурсами через весь ланцюжок поставок і створення вартості продукції – від розробки

ідеї, дизайну, проектування до виробництва, експлуатації і утилізації. Реалізація запропонованого механізму автоматизації можлива лише за повного впровадження в усі сектора сучасної економіки платформи IoT на основі хмарних технологій.

## Список літератури:

1. Гюргізова-Гай В.Ш., Шеренковський А.О. Шлюзи в системах IoT. *Системний аналіз та інформаційні технології SAIT 2018*: матеріали 20-ї Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 22 травня, 2018 р.). Київ, 2018. С. 217–218.
2. О'Доннелл Л. 15 наиболее продвинутых производителей оборудования Интернета вещей. 2017. URL: <http://www.pcweek.ua/themes/detail.php?ID=155790> (дата обращения: 20.10.2019)
3. Короткий огляд апаратних платформ, типових архітектурних рішень і послуг для корпоративних інформаційних систем. 2018. *Офіційний сайт компанії Hewlett Packard*. URL: <https://h20195.www2.hp.com/v2/GetPDF.aspx/c04771945.pdf> (дата звернення: 20.10.2019).
4. Лисецький Ю.М., Калбазов Д.І. Технологія Internet of Things. *Математичні машини і системи*. 2019. № 2. С. 43–50.
5. SOA quality management subsystem on the basis of load balancing method using fuzzy sets / M. Beshley, M. Klymash, B. Strykhalyuk, O. Shpur, B. Bugil, I. Kagalo. *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE)*. 2015. Vol. 4. Iss. 1. P. 10–21.
6. da Silva, A. F., Ohta, R. L., dos Santos, M. N., & Binotto, A. P. A cloud-based architecture for the internet of things targeting industrial devices remote monitoring and control. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Vol. 49(30). P. 108–113.
7. Abidi, B., Jilbab, A., & Haziti, M. E. Wireless sensor networks in biomedical: Wireless body area networks. *In Europe and MENA Cooperation Advances in Information and Communication Technologies*. Springer, Cham. 2017. P. 321–329.

### Bunke A.S. FOREIGN EXPERIENCE OF USING THE INTERNET OF THINGS PLATFORM BASED ON CLOUD TECHNOLOGIES

*The article examines the foreign experience of using the Internet of Things platform based on cloud technologies. Internet of Things systems is the most innovative solution to implement maximum functionality to improve performance and efficiency. The fundamental principle of the cloud-based Internet of Things platform*

*is to implement continuous communication between devices, components, and software. The quantitative and cost component of the use of the Internet of Things platform by sectors of the economy is determined. There are two main areas: health and energy and the public sector (energy sources, distribution and consumption of energy, intelligent lighting, intelligent building, city), on which the description of the architectural platform and the implementation of the principles of Internet of Things is carried out. Health IoT analyzes the location of common IOT components and provides a description of the default settings for the given scenarios of each individual application within IoTheF. The formation of data is carried out by collecting information from sensors, its switching and analysis, the last stage is the decoding of the results by the researcher. The topologies of IoT in healthcare are given and the main applications of IoT in the energy and utilities sector are defined. The economic efficiency of the IoT platform application in the energy and utilities sector is increased by reducing consumption and minimizing utility costs. The principles of automation of data collection on energy indicators in General are described in the article, which adapts the distribution of resources by sectors. The analysis of foreign experience in the use of IOT based on cloud technologies is summarized in the table, which reveals the year of implementation of the platform in different sectors and argues for the regulatory framework within the country.*

**Key words:** *Internet of things, cloud technologies, platform, computer software system, sensor, design, foreign access.*

**Говоровський С.В.**

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

**Базалій М.Ю.**

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

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗМІЩЕННЯ ТОВАРНИХ ПОЗИЦІЙ НА СКЛАДІ

*Розумні системи стають все дедалі популярними завдяки можливостям і ефективності використання. Вони дозволяють економити час, гроші та інші ресурси. Тобто, такі системи є значно ефективнішими за їх звичайні аналоги. Існує безліч завдань в різних галузях, де необхідне практичне вирішення з використанням інтелектуальних систем та машинного навчання. Це такі галузі як економіка, логістика, робототехніка. Розумні системи – це ключ до вирішення питань аналізу та обробки великих даних, вирішення задач різної складності за допомогою нейронних мереж та машинного навчання. Машинне навчання і штучний інтелект за останні кілька років стали дуже гарячими темами. В тих чи інших варіантах вони сьогодні є частиною величезної кількості продуктів, і мало хто не замислюється над їхнім запровадженням.*

*У статті описано роботу інтелектуальної системи розміщення товарних позицій на складі за допомогою нейронних мереж. Окрім того, буде розглянуто принцип роботи нейронної мережі та алгоритм, за допомогою якого можна навчити мережу влучно підбирати найбільш правильне місце на складі. Буде проведено аналіз можливих помилок роботи нейронної мережі та шляхи їх обробки і усунення. Буде розглянуто стек технологій, завдяки якому інтелектуальну систему можна реалізувати. Буде повністю оглянуто майбутню архітектуру проекту. Також, буде приділено увагу методам передачі даних між модулями системи, за допомогою яких буде можливим обмін важливою інформацією. Окрім того, буде описано процес навчання інтелектуальної системи розміщення товарних позицій на складі. Систему буде протестовано на коректність та правильність роботи, виконано перевірку на наявність помилок та недоліків. Загалом стаття має дати розгорнуту відповідь на питання доцільності використання нейронної мережі саме в такому випадку.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, нейрон, машинне навчання, інтелектуальна система, доповнена реальність.

**Постановка проблеми.** У світі дедалі більше розвивається сфера споживання. Кожного дня мільйони людей купують, передають і доставляють мільйони товарів. Ключовою ланкою в кожному з механізмів доставки товару до кінцевого користувача є місце, де цей товар якийсь час зберігається, тобто склад. Без складування не може відбуватися жодний логістичний процес, адже об'єкти перевезення потрібно тимчасово десь розміщувати та відвантажувати, для подальшої доставки до клієнта. Також за допомогою спеціалізованих складів дозволяється зберігати різну продукцію впродовж довгого терміну. Одним із основних етапів у роботі складів є процеси розвантаження і переміщення товару. Основною проблемою в роботі складу є правильне розміщення товарних позицій на полицях та в місцях, відведених для цього. Від ефективності використання площі залежить загальна

місткість складу та швидкість пошуку необхідної одиниці товару в ньому [3, с. 121].

Для вирішення цієї проблеми можна використовувати нейронну мережу, яка досконало знатиме інформацію про територію складу та в автоматичному режимі вирішуватиме, яке місце якнайкраще підходить для розміщення тієї чи іншої одиниці товару. Окрім того, вона матиме дані про затребуваність товару, відповідно алгоритм дозволить розмістити товар таким чином, щоб його можна було легко знайти і відвантажити.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Після аналізу ринку систем управління складом, було виявлено низку компаній, які проводять дослідження і розробки програмного та апаратного забезпечення у цій сфері.

Наприклад, компанія "SickSensorIntelligence" проводить розробку системи, яка дозволяє отримувати

основні параметри товарної одиниці, такі як довжину, ширину, висоту, обсяг. Особливість заключається у тому, що товар просто рухається по транспортувальному конвеєру і проїжджає без зупинки крізь рамку, яка автоматично проводить вимірювання згаданих вище параметрів. Це дозволяє миттєво отримувати габарити товару.

Також компанія із США “Infoplus Commerce” проводить розробку однойменного продукту, який дозволяє відслідковувати товар всередині складу, сканувати та змінювати дані про нього з мобільних девайсів, показувати зведену інформацію про стан та завантаженість.

Іншим достатньо зручним і функціональним аналогом цільової програми є система “Glaucus Maven”. Як і “Infoplus Commerce”, яка дозволяє відслідковувати всю інформацію по роботі складу. Окрім того, з переваг цієї системи є те, що вона орієнтована на хмару, і всі дані зберігаються на серверах Amazon, тому доступ до інформації можна отримати з будь-якої точки світу. До того ж, є можливість встановлення додатку на мобільні пристрої. Однак, у всіх наведених вище системах немає функціоналу для автоматичного визначення оптимального місця зберігання товару.

**Постановка завдання.** Інтелектуальна система розміщення товарних позицій на складі складатиметься з веб-додатка, який буде оброблювати інформацію про товар, що надходить на склад та виводитиме оптимальну локацію для його розміщення. Основна задача нейромережі – правильне визначення локації з урахуванням розмірів та частоти затребуваності товару. Окрім того, створити можливість сканувати працівником одиницю товару за допомогою смартфона та AR-кіту.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нейронна мережа є послідовністю пов'язаних нейронів. Нейрони – одиниці, які отримують і передають інформацію. Самі по собі вони не відіграють важливої ролі: нейрони мають значення тільки в вибудованих із них ланцюгах. До нейрона надходять вхідні сигнали, кожному з яких присвоєно певне значення [6, с. 42]. Сигнал множить на свою значимість, значення підсумовуються, і виходить єдине число, яке отримує активаційна функція. На виході вона приймає рішення, чи транслювати сигнал далі.

Щоб відобразити суть біологічних нейронних систем, визначення штучного нейрона дається наступним чином:

– Він отримує вхідні сигнали (вихідні дані або вихідні сигнали інших нейронів нейронної мережі) через кілька вхідних каналів. Кожен вхідний сигнал проходить через з'єднання, що має певну інтен-

сивність (або значимість); ця значимість відповідає синаптичній активності біологічного нейрона. З кожним нейроном пов'язане значне порогове значення. Обчислюється зважена сума входів, з неї віднімається граничне значення і в результаті виходить величина активації нейрона (вона також називається пост-синаптичним потенціалом нейрона – PSP).

– Сигнал активації перетворюється за допомогою функції активації (або передавальної функції), і в результаті виходить вихідний сигнал нейрона [1, с. 56].

Якщо при цьому використовувати ступінчасту функцію активації (тобто, вихід нейрона дорівнює нулю, якщо вхід негативний, і одиниці, якщо вхід нульовий або позитивний), то такий нейрон буде працювати точно так само, як описаний вище природний нейрон (відняти порогове значення зі зваженої суми і порівняти результат з нулем – це те ж саме, що порівняти зважену суму з граничним значенням). Насправді, порогові функції рідко використовуються в штучних нейронних мережах. Значення можуть бути негативними. Це означає, що синапс надає на нейрон не рушійний, а гальмівний вплив.

Це був опис окремого нейрона. Тепер виникає питання: як поєднувати нейрони один з одним? Якщо мережу передбачається для чогось використовувати, то у неї повинні бути входи (що приймають значення цікавлять нас змінних із зовнішнього світу) і виходи (прогнози або керуючі сигнали). Входи і виходи відповідають сенсорним і руховим нервам - наприклад, відповідно, йде від очей і в руки. Крім цього, в мережі може бути ще багато проміжних (прихованих) нейронів, що виконують внутрішні функції. Вхідні, приховані і вихідні нейрони повинні бути пов'язані між собою.

Ключове питання тут – зворотний зв'язок. Найпростіша мережа має структуру прямої передачі сигналу: сигнали проходять від входів через приховані елементи і в кінці кінців приходять на вихідні елементи. Така структура має стійку поведінку. Якщо ж мережа рекурентна (тобто містить зв'язку, провідні назад від більш далеких до більш ближнім нейронам), то вона може бути нестійкою і мати дуже складну динаміку поведінки [4, с. 35]. Рекурентні мережі становлять великий інтерес для дослідників в області нейронних мереж, однак при вирішенні практичних завдань досі найбільш корисними виявилися структури прямої передачі.

У процесі навчання мережа в певному порядку переглядає навчальну вибірку. Порядок перегляду може бути послідовним, випадковим і так далі. Деякі мережі переглядають вибірку тільки один раз. Інші, а також мережі, які навчаються з учителем, перегля-



дають вибірку безліч разів, при цьому один повний прохід по вибірці називається епохою навчання. При навчанні з учителем набір вихідних даних ділять на дві частини: власне навчальну вибірку і тестові дані; принцип поділу може бути довільним. Навчальні дані подаються мережі для навчання, а перевіірочні використовуються для розрахунку помилки мережі (перевіірочні дані ніколи для навчання мережі не застосовуються). Таким чином, якщо на перевіірочних даних помилка зменшується, то мережа дійсно виконує узагальнення. Якщо помилка на навчальних даних продовжує зменшуватися, а помилка на тестових даних збільшується, значить, мережа перестала виконувати узагальнення і просто «запам'ятовує» навчальні дані [5, с. 79]. Це явище називається перенавчанням мережі, або оверфітінгом. У таких випадках навчання зазвичай припиняють. У процесі навчання можуть проявитися інші проблеми, такі як параліч або потрапляння мережі в локальний мінімум поверхні помилок. Неможливо заздалегідь передбачити прояв тієї чи іншої проблеми, так само як і дати однозначні рекомендації щодо їх вирішення.

Все вище сказане відноситься тільки до ітераційних алгоритмів пошуку нейромережових рішень. Для них є можна нічого гарантувати і не можна повністю автоматизувати навчання нейронних мереж. Однак, поряд з ітераційними алгоритмами навчання, існують не ітераційні алгоритми, що володіють дуже високою стійкістю і дозволяють повністю автоматизувати процес навчання [2, с. 226].

У випадку з розробкою системи для складування товарів, навчання нейронної мережі буде відбуватися з певним набором тестових даних на певній моделі тестового складу. Тобто, мережа в автоматичному режимі буде шукати оптимальне, за її алгоритмами, місце та порівнювати його з тестовими даними до тієї пори, поки співпадінь не буде більше 85%. Окрім того, таких ітерацій повинно бути декілька. Тобто тестових моделей складів і готових даних по розміщенню тестових товарів. Це необхідно для уникнення помилкового (неправильного) навчання системи. Мається на увазі, що нейромережа може «завчити» правильне розміщення і після зміни вхідних даних влучність вибору буде мінімальна.

Система створена у вигляді веб-додатку. Це дозволяє зробити її кросплатформенною і зручною у використанні на будь-якому пристрої, в тому числі мобільному. Щодо стеку технологій, за допомогою якого реалізована інтелектуальна система, то він базується на мові програмування C#. Тобто розроблено та написано нейро-модуль, який обмінюється даними з веб-додатком, створеним за допомогою

технології ASP.NET [4, с. 19]. Архітектура системи схематично наведена на рис. 1.

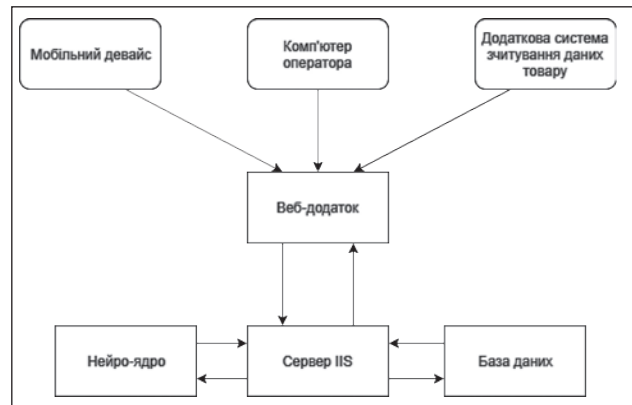


Рис. 1. Архітектура додатку

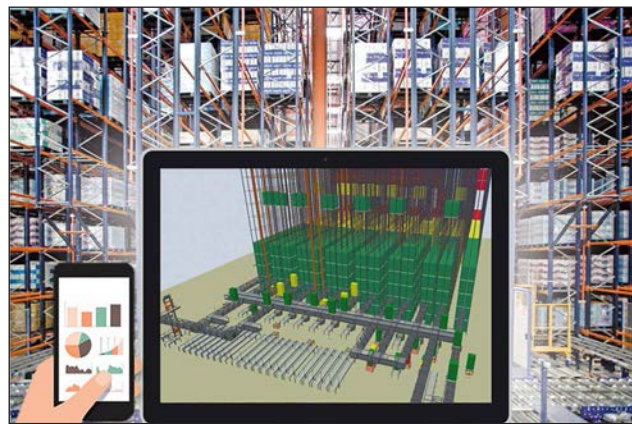


Рис. 2. Приклад роботи додатку

У веб-додаток додано автоматичний вимірювач розмірів товару, що надходить на склад. Відповідно ці дані відразу будуть відправлятися нейромережі, і користувач (працівник) відразу зможе отримати інформацію про оптимальне розміщення. Виміри проводяться за допомогою звичайної камери смартфона, за допомогою технології доповненої реальності AR. Камера аналізує навколишній простір, співставляє ці дані з даними гіроскопа, вбудованого у смартфон, про нахил та може з майже стовідсотковою точністю визначити фізичні розміри предмета [7, с. 129]. Приклад вимірювання показаний на рис. 3.



Рис. 3. Вимірювання об'єму та габаритів



Завершальним етапом створення системи стало вивчення і тестування нейромережі. Після реалізації тестових моделей різних складів та товарів, вдалося досягнути 95 відсоткової ефективності визначення правильного місця для товару. Графічне зображення роботи нейронної мережі показано на рис. 4.

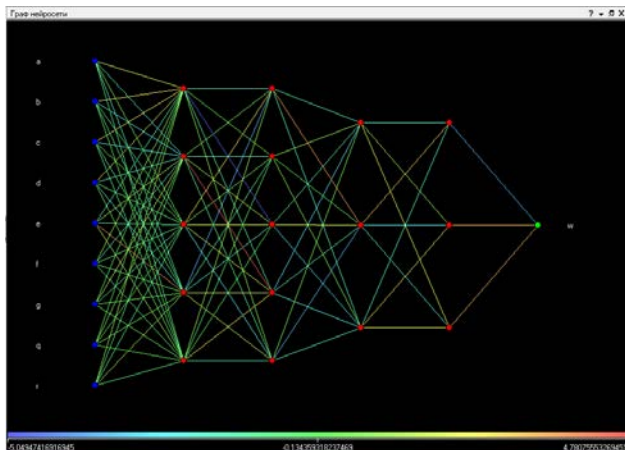


Рис. 4. Зображення роботи нейромережі

**Висновки.** Створення нейромережі для проблеми правильного розміщення товарних позицій на складі – це задача, що вимагає поглибленого вивчення галузі, аналізу технічних і математичних можливостей, вміння і навичок у виборі і обробці експериментальних даних. Крім того, необхідні

глибокі знання у галузі програмування, геометрії та інших сферах науки.

Використання нейронних мереж у розробці системи дозволяє прискорити процес обробки даних, отримувати точніші результати обрахунків. Крім того, нейромережа має властивість самонавчатися. Це означає, що у процесі користування системою результат обробки інформації буде ще точніший. Штучний інтелект дає змогу структурувати помилкові дані та похибки.

У результаті експерименту, що наведений у цій статті, можна побачити, що вдалося досягнути досить гарного результату. Імовірність правильного визначення локації для нової одиниці на складі складає близько 95%. Крім того, алгоритм можна вдосконалити за допомогою збільшення кількості вхідних даних, тестових даних та збільшивши кількість випробувань.

Інтелектуальна система може використовуватись переважно на великих складах, де важко вести облік наявних позицій товару та місця, де цей товар знаходиться. Крім того, система є універсальною. Тобто, потрібні тільки вхідні дані про схему приміщення та місця, де можна складувати одиниці. За допомогою такої системи логістика буде відбуватися швидше та дешевше, відповідно це відобразиться на остаточній ціні товару для споживача.

#### Список літератури:

1. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. Изд-во Вильямс. 2002. 287 с.
2. Кальченко Д.А. Нейронные сети на пороге будущего. КомпьютПресс, 2005. 369 с.
3. Warehouse Management – James Larminie, John Lowry, 11 Jul. 2012. 344 с.
4. ASP.NET Programming with C# & SQL Server. Don Gosselin, Cengage Learning, 27 Jul. 2009. 704 с.
5. Stephen I Gallant. Neural network learning and expert systems. MIT Press, 1993. 85с.
6. Kevin L Priddy. Artificial neural networks: an introduction. SPIE Press, 2005. 91с.
7. Alan B. Craig. Understanding Augmented Reality : Concepts and Applications. Elsevier Inc. 2013. 271 с.

#### **Hovorovskyi S.V., Bazalii M.Yu. INTELLIGENT SYSTEM OF PLACING ITEM POSITIONS IN A WAREHOUSE**

*Nowadays, smart systems are becoming more and more popular due to their capabilities and efficiency. They save time, money and other resources. It means, that such systems are much more efficient than their normal counterparts. There are many challenges in various fields that require practical solutions using intelligent systems and machine learning. These are industries such as economics, logistics, robotics, etc. Smart systems are the key to solving big data analysis and processing issues, solving problems of varying complexity using neural networks and machine learning.*

*Machine learning and artificial intelligence have become very hot topics over the last few years. In one way or another, they are now part of a huge number of products, and not so many people think about implementing them. This article describes the work of an intelligent system of placing items positions in a warehouse using neural networks. In addition, the principle of neural network operation and the algorithm by which the network can be trained to select the most correct place in the warehouse will be considered. Possible errors of the neural network operation and ways of their processing and elimination will be analyzed. It will also look at a stack of technologies to help implement an intelligent system.*

*The future architecture of the project will be fully explored. Also, attention will be paid to the methods of data transfer between the modules of the system, through which the exchange of important information will be possible. In addition, the process of learning the intelligent system of placing inventory in the warehouse will be described. After learning this system, it will be tested for correctness and correctness of work, will be checked for errors and defects. In general, the article should give a detailed answer to the question of the feasibility of using a neural network in this case.*

**Key words:** *neural networks, machine learning, neuron, intelligent system, augmented reality.*

**Голіков Н.А.**

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

**Корнага Я.І.**

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

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ВИДІВ ГРИБІВ

*Інтелектуальні системи стають все більш популярними завдяки своїм величезним можливостям використання. Існує велика кількість завдань, у яких ефективніше використовувати саме інтелектуальні системи, оскільки вони можуть набагато швидше та якісніше виконувати спеціалізовані задачі. Основними плюсами існуючих рішень є можливість автоматизації багатьох сфер діяльності при мінімізації участі при цьому людини та розширення сфер, де можна використовувати програмне забезпечення замість людської праці. Іншими словами інтелектуальна система – це штучний інтелект і наука про творчі системи та сама можливість створювати такі системи. Машинне навчання – це підрозділ штучного інтелекту, вивчаючий різні способи побудови алгоритмів, що навчаються. Під такими алгоритмами розуміються алгоритми, які змінюються (навчаються) якимось чином в залежності від вхідних даних. Машинне навчання – дуже велика область знань, однак, серед множини парадигм та підходів в машинному навчанні виділяється одна цікава область – штучні нейронні мережі.*

*У статті буде розкрито роботу інтелектуальної системи розпізнавання видів грибів за допомогою нейронних мереж. Нейронні мережі черпають свою силу із розпаралелювання обробки інформації та із можливості самонавчатись, тобто створювати узагальнення. Під терміном «узагальнення» розуміється можливість отримувати аргументований результат на основі даних, які не зустрічались в процесі навчання. Ці властивості дозволяють нейронним мережам вирішувати масштабні задачі, які на сьогоднішній день є важковирішуваними. Окрім можливості вирішувати певний клас задач, нейронні мережі мають ряд значних переваг. Всі плюси нейронних мереж є наслідком плюсів біологічних нейронних мереж, позаяк модель обробки інформації практично не змінювалась. Загалом стаття розкриває проблему отруєння грибами та один із способів її вирішення.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, машинне навчання, інтелектуальна система, морфологічні ознаки, «бот».

**Постановка проблеми.** Усім відомо, що в Україні існує проблема отруєння грибами. МОЗ України повідомляє, що останнім часом випадки отруєння грибами стали частішими, за статистикою в 2018 році отруїлось 174 людини, а також було зафіксовано 11 летальних випадків. Аналіз випадків отруєнь грибами свідчить, що більшість з них обумовлені вживанням пластинчастих отруйних грибів (у першу чергу блідої поганки), які помилково сприймаються за їстівні печериці та сиріжки. Нерідко отруюються грибами, які більшість досвідчених грибників спокійно кладуть до кошиків. Помилитися вони можуть, якщо збирають дуже молоді плодові тіла, коли ще не проявилися морфологічні ознаки. Наприклад, збирають сиріжки, а серед них може захватитися бліда поганка, яка ще не розкрилась і ззовні їх нагадує[1]. Тобто існує проблема, яка полягає в тому, що люди не

завжди можуть правильно розізнати та класифікувати той чи інший вид грибів.

Після вивчення проблематики отруєння грибами та аналізу можливих шляхів зменшення її рівня виникла ідея створення інтелектуальної системи, яка, використовуючи нейронну мережу, може класифікувати види грибів по фото для:

- своєчасного виявлення отруйних грибів;
- запобігання отруєння грибами;
- зменшення рівня летальних випадків;
- надання користувачам інформації щодо знайдених ними грибів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проаналізувавши ринок систем розпізнавання видів грибів, було виявлено велику кількість компаній, що займаються розробкою та вдосконаленням таких систем, проте більшість з них мають купу недоліків у роботі і не завжди надають корисну, а головне достовірну інформацію

для користувачів. Наприклад, додаток «Довідник грибника» містить інформацію про різні параметри гриба, місця його росту, період плодоношення, їстівність та інші корисні відомості, проте має суттєві недоліки:

- застаріла інформація про гриби;
- користувач має самостійно серед сотень зображень розпізнати і визначити вид знайденого ним гриба;
- багато часу на пошуки;
- не завжди якісне зображення грибів;
- деякі види грибів віднесені не до своєї категорії.

Ще один аналог: «Розпізнавання грибів по фото» має величезний недолік – це дуже низька точність розпізнавання грибів, вони неправильно класифікуються, а це може призвести до фатальних наслідків. У процесі експлуатації додатку «Гриби: велика енциклопедія» також було виявлено ряд недоліків:

- нестабільна робота, на одне й те ж саме фото видає різний результат;
- неправильний підсумок роботи додатку.

Тобто, розглянуті існуючі рішення виявились недостатньо точними та застарілими, також серед мінусів є те, що всі додатки не є кросплатформними.

**Постановка завдання.** Інтелектуальна система розпізнавання видів грибів складатиметься з так званого «бота» – програми, яка є інтегрованою з месенджером “Telegram”, який буде оброблювати вхідні дані: фото для сканування та виведення класифікації, видів грибів, зображених на них. Взаємодія з ботом виконується наступним чином:

– користувач надсилає боту повідомлення, в якому міститься фото гриба, що його цікавить;

- бот, використовуючи технологію Long Polling, отримує від сервера Telegram повідомлення користувача;
- бот генерує відповідь на повідомлення;
- бот відправляє серверу Telegram відповідь;
- сервер Telegram відправляє користувачу відповідь.

Фактично сервер Telegram є посередником між користувачами та ботом. Telegram ідентифікує бота, використовуючи унікальний токен, який необхідно отримати у бота, який керує ботами. Цей токен використовується у всіх запитах, що бот надсилає серверу.

Важливо, що користувач може виконувати наступні дії:

- надсилати запити боту для розпізнавання гриба;
- отримати класифікацію знайденого гриба;
- визначити їстівність гриба;
- отримати дані про практичне значення гриба;
- дізнатись довідкову інформацію щодо гриба.

Слід додати, що месенджер Telegram можна встановити як на операційну систему Android так і на систему ios, а також на ПК, що дає робить дане рішення кросплатформним.

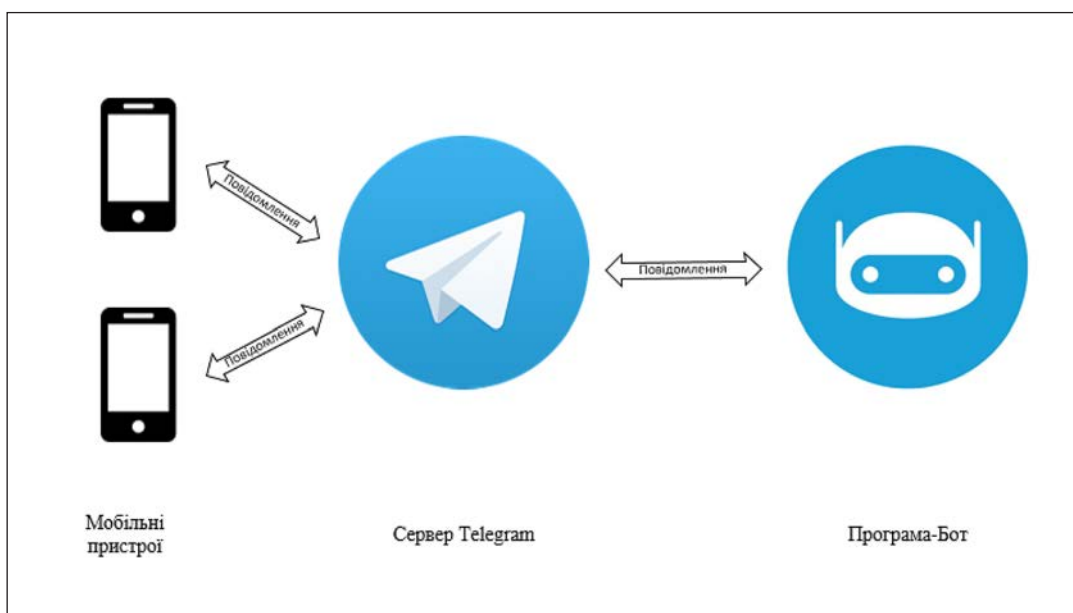


Рис. 1. Архітектура Telegram платформи



**Виклад основного матеріалу дослідження.**

У повсякденному житті ми називаємо грибами їх плодові тіла. У більшості їстівних грибів (за винятком трюфелів, сморжів та зморшків) плодове тіло утворено ніжкою і капелюшком, звідси й походить їх назва – шапинкові гриби. Тіло шапинкових грибів – це міцелій, або грибниця, що утворений гіфами (рис. 2). Гіфи – це система дуже довгих та розгалужених мікроскопічних ниток, що утворюється в ґрунті.



Рис. 2. Будова грибів

Ланцюжок видовжених безбарвних клітин утворюють гіфу, а гіфи – багатоклітинний міцелій. Якщо в тому місці, де знято гриб, злегка розрити ґрунт, можна виявити тонкі розгалужені білі нитки – грибницю. Грибниця – головна частина кожного гриба, вона у ґрунті з гіфами утворює величезну поверхню для вбирання необхідних речовин, а на поверхні ґрунту утворює плодові тіла. Капелюшок та ніжка складаються з щільно прилеглих один до одного ниток грибниці. У ніжці всі нитки однакові, а в капелюшку вони утворюють два шари – верхній, покритий шкіркою, пофарбованої різними пігментами, і нижній. У деяких грибів, таких як білий гриб, підберезник, нижній шар складається з численних трубочок, вони мають назву трубчасті, а в інших, наприклад, рижиків, нижній шар плодових тіл утворений численними пластинами, які розходяться від верхівки ніжки до краю шапинки, такі гриби називаються пластинчасті [2-3]. Серед шапинкових грибів існують як їстівні так і отруйні гриби, розрізнити їх можна за морфологічними ознаками їх плодового тіла. Наприклад, у найбільш відомих отруйних грибів є такі ознаки:

1. Бліда поганка:
  - тонка ніжка з «комірцем»;
  - бульбоподібне потовщення ніжки біля основи.

2. Несправжні опеньки:
  - жовто-сіра в центрі іржавого кольору ніжка;
  - без лусочок, жовтувато-зеленуваті пластини.
3. Жовчний гриб:
  - темний сітчастий малюнок на ніжці;
  - низ шапинки рожевий.
4. Мухомор:
  - червоний – має червону шапинку з білими плямами-лусочками, внизу ніжки потовщення, у верхній частині кільце;
  - пантерний – шапинка зеленувата або сіробура з маленькими білими лусочками, ніжка біла з кільцем у верхній частині та потовщенням внизу;
  - порфіровий – схожий на печерицю, але ніжка тонка, лусочок на шапинці часто немає.

Надання біологічної класифікації гриба (тобто правильне визначення роду та виду грибів) вимагає звернути увагу на широкий спектр особливостей, багато з яких помітні при звичайному огляді плодового тіла гриба, інші ж виявляються лише після мікроскопічного дослідження. У основі процесу розпізнавання образів – нейронна мережа (рис. 3). Це мережа простих елементів – нейронів, які отримують вхід, змінюють свій внутрішній стан відповідно до цього входу і виробляють вихід.

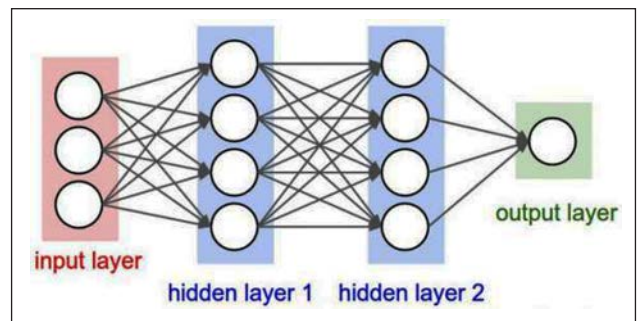


Рис. 3. Схема проста нейронної мережі, червоним позначено вхідні нейрони, синім приховані, зеленим вихідні

Основним складовими мережі є:

1. нейрони з міткою  $i$ , які отримують вхід  $k_i(t)$  від нейронів попередників, складаються із:
  - збудження  $\alpha_i(t)$ , що залежить від часу;
  - порогу  $\theta_i$ , залишається незмінним якщо не змінить функція навчання;
  - функції збудження, що обчислює нове збудження в певний час  $t + 1$  з  $\alpha_i(t)$  та мережевого входу  $k_i(t)$ , даючи в результаті відношення  $\alpha_i(t + 1) = f(\alpha_i(t), k_i(t), \theta_i)$ ;
  - функції виходу, яка обчислює вихід з активності (часто є тотожною функцією).



2. з'єднання та ваги – мережа складається із з'єднань, кожне з яких передає вихід  $i$  нейрону до входу  $j$  нейрону. Кожне таке з'єднання має свою вагу  $w_{ij}$ .

3. функція поширення, яка обчислює вхід до  $i$  нейрону з виходів нейронів-попередників і має вигляд

$$k_i(t) = \sum_j out_j(t) w_{ij}.$$

4. правило навчання – алгоритм, який змінює параметри нейронної мережі, щоб заданий вхід видавав потрібний вихід.

По своїй суті нейронна мережа – це математичний аналог головного мозку, що моделює роботу мільярдів нейронів, але є суттєві відмінності. Природний інтелект (тобто людина) покликаний вирішувати універсальні завдання, наприклад, не тільки розпізнавати, що бачить, а й приймати рішення, що з цим робити далі. У той час як штучний інтелект спеціалізований і його завдання чітко обмежене: якщо він розпізнає лише гриби, то ягоди для нього будуть невідомими. Ця спеціалізація дозволяє штучному інтелекту в деяких конкретних завданнях перевершити природний інтелект, наприклад, класифікувати декілька десятків тисяч фотографій за коротший проміжок часу, ніж це саме завдання робила б людина.

Для того щоб досягнути такої спеціалізованої ефективності нейронну мережу необхідно навчити конкретним навичкам. Проектування нейронної мережі виконувалось з використанням відкритої та популярної бібліотеки Tensorflow. Способом машинного навчання було обрано навчання з учителем – найбільш поширений випадок. Кожен прецедент являє собою пару «об'єкт, відповідь». Потрібно знайти функціональну залежність відповідей від описів об'єктів і побудувати алгоритм, який бере на вході опис об'єкта і видає на виході відповідь. Функціонал якості визначається як середня помилка відповідей, виданих алгоритмом, по всіх об'єктах вибірки[4–8].

Алгоритм побудови класифікатора на основі нейронної мережі:

1. Робота з даними:

– Скласти базу даних із прикладів, характерних для певної задачі – фотографій грибів;  
– Розбити всю сукупність на дві множини: навчальні і тестові.

2. Попередня обробка:

– Вибрати систему ознак, характерних для даної задачі (морфологічні ознаки грибів), і перетворити дані відповідним чином для подачі на вхід мережі;

– Вибрати систему кодувань вихідних значень.

3. Конструювання, навчання та оцінка якості мережі:

– вибір топології мережі;

– вибір функції активації нейронів;

– вибір алгоритму навчання мережі;

– оцінка якості мережі на основі тестової множини, оптимізація архітектури за рахунок зменшення ваги та інших показників;

– вибрати варіант мережі, який забезпечує найкращу здатність до узагальнення і оцінити якість на основі тестової множини.

4. Використання та діагностика:

– З'ясувати ступінь впливу різних чинників на прийняте рішення.

– Переконатися, що мережа дає необхідну точність класифікації.

– Практично використовувати мережу для вирішення завдання.

**Висновки.** Реалізація інтелектуальної системи, що здатна розпізнавати види грибів, це рішення досить складного технічного завдання, що потребує глибоких знань предметної галузі та аналізу. В її основі лежить спеціально навчена нейронна мережа. Для цього її вивчають на значній вибірці різних фотографій, на кожній з яких зображений гриб, про який заздалегідь і достовірно все відомо.

Машинне навчання – дуже захоплююча тема, що дозволяє машинам навчитися виконувати завдання, які людині були історично необхідні. Таким чином, можна зробити висновок, що завдяки штучним нейронним мережам можна розпізнавати види грибів, що може допомогти багатьом людям не тільки зберегти себе від отруєння, а й дізнатися багато цікавої інформації про гриби.

### Список літератури:

1. Українські національні новини. Статистика грибних отруєнь в Україні. Київ, 2018. URL: <https://www.unn.com.ua/uk/news/1753741-statistika-gribnikh-otruyen-v-ukrayini-u-moz-nazvali-kilkist-zhertv>.
2. Шапінкові гриби, будова та значення, будова клітини гіфи, характер живлення та розмноження, правила збирання грибів. Київ, 2015. URL: [http://8next.com/botan/5735-botan\\_708.html](http://8next.com/botan/5735-botan_708.html).
3. Шапінкові гриби. Київ, 2016. URL: <https://moyaosvita.com.ua/bibiologija/shapinkovi-gri/>.
4. Bhadeshia H.K. Neural Networks in Materials Science. ISIJ International, 1999. № 34 P: 966–979. DOI:10.2355/isijinternational.39.966.

5. Egmont-Petersen M., de Ridder D., Handels H. (2002). Image processing with neural networks – a review. *Pattern Recognition*, 2002. №39 P: 2279–2301. DOI:10.1016/S0031-3203(01)00178-9.
6. Siegelmann H.T., Sontag, Eduardo D. Analog computation via neural networks. *Theoretical Computer Science*, 1994. №131 P: 331–360. DOI:10.1016/0304-3975(94)90178-3.
7. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем. Финансы и статистика. ИНФРА-М, 2010. С. 432.
8. Смолин Д.В. Введение в искусственный интеллект: конспект лекций. ФИЗМАТЛИТ, 2003. С. 208.

#### **Holikov N.A., Kornaha Ya.I. ITELLECTUAL SYSTEM FOR RECOGNITION OF MUSHROOM TYPES**

*Intelligent systems are becoming more and more popular because of their enormous potential for use. There are many tasks where it is more efficient to use intelligent systems, because they can perform specialized tasks much faster and more efficiently. The main advantages of the solutions currently available are the ability to automate many areas of activity while minimizing human involvement and expanding areas where you can use software instead of human labor. In other words, the intellectual system is the artificial intelligence and science of creative systems and the ability to create such systems. Machine learning is a unit of artificial intelligence exploring different ways to build learning algorithms. Such algorithms are algorithms that change (learn) in some way depending on the input. Machine learning is a very large area of knowledge, however, among the many paradigms and approaches in machine learning, one interesting area stands out - artificial neural networks.*

*This article will reveal the work of an intelligent system for recognizing mushroom species using neural networks. Neural networks derive their power from the parallelization of information processing and the ability to learn, that is, to create generalizations. The term generalization refers to the possibility of obtaining a reasoned result based on data not encountered in the learning process. These properties allow neural networks to solve large-scale problems that are difficult to solve nowadays.*

*In addition to being able to solve a particular class of problems, neural networks have many significant advantages. All the benefits of neural networks are a consequence of the benefits of biological neural networks, since the model of information processing is virtually unchanged. In general, the article reveals the problem of mushroom poisoning and one way to solve it.*

**Key words:** *neural network, machine learning, intellectual system, morphological features, “bot”.*

**Головацький І.В.**

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

**Корнага Я.І.**

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

**ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ  
ЕЛЕМЕНТІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ**

*На сьогоднішній день інтелектуальні системи стають все більш популярними завдяки тому, що мають досить великий спектр свого застосування та є ефективними в багатьох галузях. Інтелектуальні системи дедалі більше стають надійними помічниками для людей та допомагають у процесі прийняття деяких рішень. В більшості випадків інтелектуальні системи приймають рішення на основі аналізу значної кількості даних швидше, ніж це б зробила людина. Вагоме місце інтелектуальні системи зайняли в автомобілях, де вже розроблено багато систем допомоги водіям, які допомагають останньому приймати рішення в режимі реального часу.*

*За даними Американської національної адміністрації безпеки автомобільних доріг, головна причина аварій транспортних засобів – це людська помилка. Серед усіх можливих типів помилок, які залежать від водія, найчастішими та критичнішими є помилки прийняття рішень в аварійній ситуації, маленька швидкість реакції в стресовій ситуації та проблеми з розпізнаванням елементів дорожнього руху. На основі цих даних можна зробити висновок, що людство потребує технології, які б могли в автоматичному режимі уникати аварій або ж надавати водію достатньо інформації, щоб попередити їх.*

*У статті буде розглянуто роботу інтелектуальної системи розпізнавання елементів дорожнього руху за допомогою алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж. Також буде проведено аналіз наявних проблем та складнощів в існуючих методах розпізнавання елементів та порівняння їхніх характеристик точності та швидкодії, переваг та недоліків. Загалом у статті буде розкрито питання призначення та доцільності використання нейронної мережі та представлена програмна реалізація системи за допомогою мови програмування C# та бібліотеки Accord.NET, основними вимогами якої є прийнятна точність розпізнавання, можливість використання відео потоку в якості вхідних даних, знайдені елементи повинні бути інтуїтивно виділені серед інших елементів, простота в налагодженні. Окремо було приділено увагу локальним результатам експериментів, що дають уявлення про характеристики запропонованої системи та зроблені висновки.*

**Ключові слова:** інтелектуальна система, нейронна мережа, машинне навчання, алгоритм, комп'ютерний зір, дорожній рух.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день автомобілі із вдосконаленими системами допомоги водіям є дуже поширеними. За останні два десятиліття було розроблено багато систем допомоги водіям. Наприклад, навігація по GPS (глобальній системі позиціонування) – це найпопулярніша технологія, яка існує з 1990-х років. Існують також інші системи допомоги водіям, які були розроблені в останні роки, включаючи адаптивний круїз-контроль, адаптивні фари ближнього світла з автоматичним регулюванням кута нахилу для уникання осліплення інших водіїв, автоматична система екстреного гальмування та інші. Мета цих систем – зробити дороги безпечнішим місцем для транспортних засобів та пішоходів. Однак ці сис-

теми практично не приділяють уваги чинникам які впливають на дії та рішення водія, а саме – дорожнім знакам та іншим елементам дорожнього руху. Дуже часто водії, рухаючись уже знайомими ділянками дороги не приділяють уваги дорожнім знакам, що може спричинити аварію у випадку зміни схеми руху. У випадку, якщо водій не помітив деякі дорожні знаки, це сильно впливає на його стиль водіння, що може призвести до аварії.

Зазвичай автомобілі з досконалими системами допомоги водіям є дуже дорогими, тому не кожна людина може дозволити собі їх купити. Ці обставини підкреслюють необхідність в інтелектуальних системах розпізнавання елементів дорожнього руху задля інформування водія.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розпізнавання дорожніх знаків складається з 2 етапів, перший – це виявлення дорожнього знаку на деякій вхідній картинці, що включає в себе виявлення області ймовірного розташування знаку та її розмірів. Другий етап – це процес розпізнавання дорожніх знаків, основна мета якого – класифікація, який саме дорожній знак було виявлено. Розпізнавання дорожніх знаків зазвичай базується на властивостях форми знаку та кольору (наприклад, інформаційні знаки є зазвичай синіми).

На другому етапі зазвичай використовують нейронні мережі або метод опорних векторів. Розпізнавання дорожніх знаків за допомогою кольору є найбільш простим методом [1-4]. Простір кольорів RGB є дуже чутливим до освітлення, тому в таких алгоритмах часто використовують алгоритми конверсії кольору, наприклад в роботі [5] було використано сегментування картини за складниками U та V в просторі кольору YUV та було досягнуто точності розпізнавання 82%. Для розпізнавання елементів дорожнього руху за допомогою форми часто використовують трансформацію Хафа. Так, у роботі [6] автори використовували трансформацію Хафа для кіл для розпізнавання круглих дорожніх знаків, а для розпізнавання трикутних знаків – трансформацію Хафа для розпізнавання прямих ліній.

**Постановка завдання.** Розробити інтелектуальну систему розпізнавання елементів дорожнього руху, що складатиметься з програмного додатка, який буде отримувати відео потік для розпізнавання та проводити класифікацію на ньому дорожніх знаків із прийнятною точністю. Головне завдання інтелектуальної мережі – розпізнавання елементів дорожнього руху на відео.

Розробка системи розпізнавання знаків дорожнього руху є складним завданням. Є дуже багато факторів, які можуть стати причиною низької точності та повноти системи розпізнавання знаків дорожнього руху. В загальному проблемі будь-якої системи розпізнавання об'єктів можна розділити на такі групи: недостатня освітленість об'єкту, деформовані або пошкоджені знаки та оптичні ефекти, розмитість та освітленість, що мають місце в поганих погодних умовах та можуть зменшувати точність то повноту алгоритму розпізнавання та ідентифікації.

Інтелектуальна система розпізнавання елементів дорожнього руху складається з двох послідовних етапів: фаза розпізнавання та фаза класифікації елементу. Запропонована інте-

лектуальна система розпізнавання елементів дорожнього руху використовує алгоритм HOG (Гістограма орієнтованих градієнтів) для розпізнавання елементів дорожнього руху на картинці. Характеристики алгоритму засновані на оцінці добре нормалізованих локальних гістограм орієнтацій градієнта зображення в щільній сітці. HOG алгоритм має високі показники швидкодії та точності, оскільки алгоритм не залежить від орієнтації об'єкту та більш ефективний при розпізнаванні погано освітлених об'єктів. Такі види характеристик мають відмінні показники порівняно з іншими алгоритмами. Авторі розділяють реалізацію алгоритму дескрипторів HOG на чотири різні етапи: нормалізацію зображення, розрахунок градієнта, встановлення орієнтації елемента та блоки нормалізації. На рис. 1 представлена схема реалізації алгоритму.

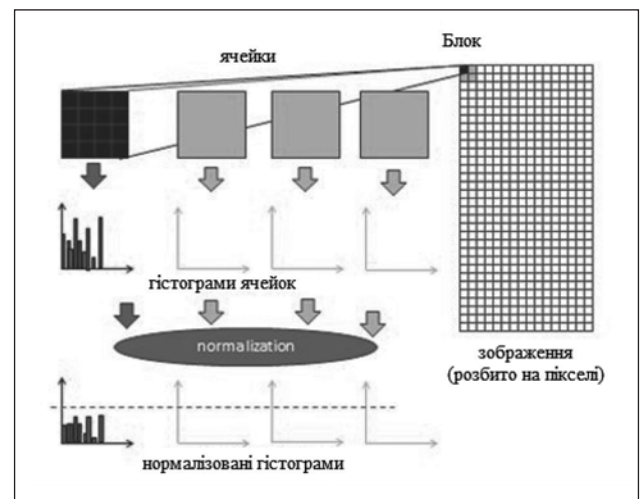


Рис. 1. Схема реалізації HOG алгоритму

Нормалізація приносить більше інваріантності змінам освітлення, затіненню та контрастності. Оскільки діапазон варіацій градієнта великий, ефективна локальна нормалізація контрасту є критичною для підвищення продуктивності системи. Запропонована схема нормалізації ґрунтується на групуванні комірок у більші блоки з наступним кроком нормалізації контрасту кожного блоку окремо. Після блокової нормалізації всі гістограми можуть бути об'єднані в один вектор, який використовується для подальшого розпізнавання елементу.

В інтелектуальній системі було використано метод опорних векторів (SVM). SVM – це дискримінаційна класифікація, формально визначена роздільною лінією. Тобто, для деякого навчального набору даних цей метод дає оптимальну лінію, яка розділяє різні класи елементів,



тим самим класифікуючи нові елементи. Цей метод класифікації є високоточним та надзвичайно швидким для значної кількості навчальних даних, що і обумовило вибір теми роботи. SVM – це бінарний класифікатор, який розділяє два різних класи елементів за допомогою підмножини зразків даних, які називаються опорними векторами. Приклад класифікації двох типів зразків у двовимірному просторі проілюстровано на рис. 2. Квадрати та кола представляють два різних типи зразків.

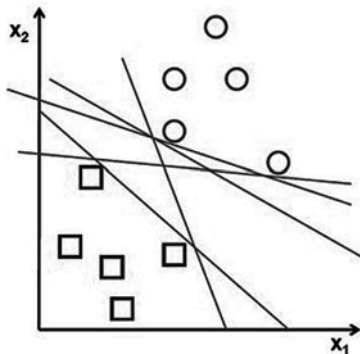


Рис. 2. Варіанти розподілу класів, в результаті SVM алгоритму

Приклад показує, як позитивні та негативні елементи розділені за декількома лініями поділу (або площинами, якщо розглядати у трьох вимірному просторі). Можна вибрати дві паралельні прямі, щоб розділити дані. Відстань між двома граничними прямими робиться максимально можливою. Ці прямі можна визначити наступним чином:

$$\bar{w} * \bar{x} + b = 1 \tag{1.1}$$

$$\bar{w} * \bar{x} + b = -1 \tag{1.2}$$

Для того, щоб максимально збільшити відстань між граничними лініями, слід мінімізувати  $\|\bar{w}\|$ . Також потрібно знайти лінію, що лежить посередині між двома визначеними граничними лініями. Якщо лінія проходить занадто близько до точок, вона буде чутливою до шуму, і це не буде вдалим вибором для класифікації двох класів. Тому наша мета – знайти лінію, яка є максимально далекою від усіх точок. Алгоритм SVM заснований на визначенні прямої, який дає найбільшу мінімальну відстань до навчальних даних. У теорії SVM ця відстань називається запасом.

Для розробки програмного забезпечення було використано бібліотеку Accord.NET Framework

з загальною реалізацією підходів до машинного навчання. Для розробки інтерфейсу користувача було використано Windows Forms технологію. Accord.NET Framework – це система машинного навчання NET, поєднана з бібліотеками обробки аудіо та зображень, повністю написаними на C #.

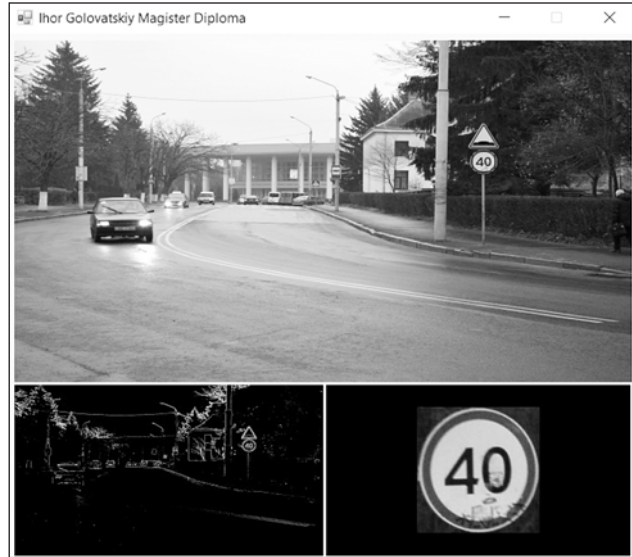


Рис. 3. Програмна реалізація інтелектуальної системи

Результати експериментів. Інтелектуальна система була протестована на 3 500 кадрах. Серед цих кадрів з'явилось 1806 знаків руху. Для обрахунку результатів експерименту було представлено два значення в табл. 1 та табл. 2, відсоток точності розпізнавання (DR) та FPPF (false positive per frame) – кількість неправильно визначених знаків відносно загальної кількості знаків, які визначенні наступною формулою:

$$DR = \frac{TP}{TP + FN} \tag{2}$$

$$FPPF = \frac{FP}{F} \tag{3}$$

Де TP – кількість правильно розпізнаних об'єктів (об'єкт був на картинці та був правильно розпізнаний), FN – кількість не розпізнаних об'єктів на картинці де не було об'єкту, FP – кількість нерозпізнаних об'єктів, коли об'єкт дійсно був присутній на картинці та F – кількість вхідних картинок.

Таблиця 1

**Результати точності розпізнавання та характеристик системи**

	DR	FPPF
Запропонована інтелектуальна система	0.96	0.01



Таблиця 2

**Сумарні результати розпізнавання**

Кількість знаків	1 806
Кількість правильно розпізнаних знаків	1 774
Кількість неправильно розпізнаних знаків	32

**Висновки.** Проведений аналіз існуючих алгоритмів, методів, підходів до розпізнавання елементів на картинці, на основі чого було запропоновано

інтелектуальну систему розпізнавання елементів дорожнього руху, яка дає точність розпізнавання 96% на тестовому наборі даних. Завдяки високій швидкодії системи забезпечується її робота в режимі реального часу. Збільшувати точність розпізнавання системи можна за рахунок більшого вхідного набору даних, який використовувався для навчання системи. Ця інтелектуальна система може використовуватись у сферах, пов'язаних з автомобільним транспортом.

**Список літератури:**

1. Soendoro W.D., Supriana I. Traffic sign recognition with Color-based Method, shape-arc estimation and SVM; Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics; Bandung, Indonesia. 17–19 July 2011.
2. Li H., Sun F., Liu L., Wang L. A novel traffic sign detection method via color segmentation and robust shape matching. Neurocomputing. 19 July 2013.
3. Bahlmann C., Zhu Y., Ramesh V., Pellkofer M., Koehler T. A system for traffic sign detection, tracking, and recognition using color, shape, and motion information; Proceedings of the 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium; Las Vegas, NV, USA. 6–8 June 2005.
4. Ardianto S., Chen C., Hang H. Real-time traffic sign recognition using color segmentation and SVM; Proceedings of the 2017 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP); Poznan, Poland. 22–24 May 2017.
5. Shaded W.G., Abu-Al-Nadi D.I., Mismar M.J. Road traffic sign detection in color images; Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems; Sharjah, UAE. 14–17 December 2003.
6. M.A. Garcia-Garrido, M.A. Sotelo, and E. Martin-Gorostiza, “Fast traffic sign detection and recognition under changing lighting conditions” in IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, pp. 811–816, 2006.

**Holovatsky I.V., Kornaha Ya.I. INTELLECTUAL SYSTEM OF RECOGNITION OF ROAD ELEMENTS**

*Intellectual systems are becoming more and more popular today, because they have a wide range of their usage and are effective in many industries and areas. Intelligent systems are becoming more and more reliable helpers for people and doing the great job in the decision making process to help people. In most cases, intelligent systems make decisions based on analyzing a large amount of data faster than a person would. Intelligent systems have taken a significant place in cars where many driver assistance systems already available in expensive cars as passive safety to help the driver make real-time decisions. According to the US National Highway Traffic Safety Administration, the main cause of vehicle crashes is human error.*

*Moreover, the most interesting point is that from all possible types driver's errors, the most common and critical are decision-making errors in an emergency, a low driver reaction in a stressful situation, and problems with recognizing traffic elements and objects. Based on this information, we can conclude that humanity needs technologies that could automatically avoid accidents or provide the driver with enough information to prevent an accident at least. This article is about the work of intelligent traffic recognition systems using machine learning algorithms and neural networks. It will also analyze the existing problems and complexities in existing methods of element recognition, and compare their accuracy and performance characteristics, advantages and disadvantages.*

*In general, the article will discuss the purpose and feasibility of using a neural network. The main goal is to introduce the software implementation of the system using the C # programming language, desktop application with ability to provide video stream as input and the Accord.NET library. The main requirements of which are: acceptable recognition accuracy, the ability to use video stream as input, found elements should be intuitively highlighted among other elements and easy to set up. Particular attention is for the local results of the experiments, which give an idea of the characteristics of the proposed system and conclusions.*

**Key words:** *intelligent system, neural network, machine learning, algorithm, computer vision, road traffic.*

UDC 520.6.05

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/10>**Dychka I.A.**

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

**Yerastova V.V.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”

**Oleshchenko L.M.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”

**Yurchyshyn V.Ya.**

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute”

## SOFTWARE METHOD OF SCIENTISTS CLUSTERING BASED ON AUTHORS ASSOCIATION WITH PUBLICATIONS KEYWORDS

*The article describes a software method that allows clustering authors based on their association with the keywords of scientific publications to search for potential like-minded colleagues and colleagues to develop collaborative research projects. The proposed work aims to demonstrate the potential and challenges facing working with Big Data. Big Data technologies make it possible to process a large amount of unstructured data, systematize them, analyze and determine patterns when the human brain will never notice them. The article describes the basic tools and methods that are used to process very large data sets. The MapReduce methodology implemented in Python and Apache Hadoop are used. For research a data set from a DBLP server is used. DBLP contained more than 1.2 million bibliographic records. The bibliographic records are contained in XML file2. The DBLP web server lists all known papers published by a person on her/his “person page”. This simple mapping becomes tricky, as soon as a person has several names (synonyms) or if there are several persons with the same name (homonyms). The main obstacles are the bad habit to abbreviate (given) names beyond recognition and spelling errors. On the AWS m5.xlarge instance and Ubuntu Server 18.04 LTS (HVM), SSD Volume Type, 64-bit x86 is used. For processing data MapReduce are running on five nodes. Mapping part consists of parsing xml dataset. Tags <author>, <journal> and <title> tags from each <article> block is extracted. Then non-ascii characters from every parsed tag is removed. Title is divided into keywords. It is made lowercase and then we remove nonsense words from it, so, it will be like thematic keywords. Reducer part is collecting information for every author, made it as id for reducing. The author’s name is compared in way that it written. As a result, the information for every author is collected about the journals where he was published and keywords in his works are collected too. The k-means algorithm is used for clustering. As a result of the analysis of these publications, the authors were divided into clusters depending on their keywords. The disadvantages and prospects of further use of the proposed method are given.*

**Key words:** Big Data, AWS, Hadoop, MapReduce, scientific publication, author, keywords, cluster analysis, k-means algorithm, Python.

**Introduction. Problem statement.** Methods and tools for working with structured data IT industry has created a long time ago, this is a relational data model and database management system. But the current trend is the need to process a large amount of unstructured data, and this is an area where previous approaches work poorly or do not work at all. This need requires a new method of handling data, and now the model for working with Big Data is becoming increasingly popular. Dealing with the problems of Big Data is the task of finding a software and technical solution that can easily integrate into the existing infrastructure and provide all three stages

of information processing: collection, its organization and analysis [1]. Big Data technology has interconnection with a network of publications. A regular person reads a page of text in about 2 minutes. So, reading 10 to 20 pages of a scientific paper will take approximately 20-40 minutes. How long will it take to read hundreds, thousands, or even millions of such papers? Not easy task, we can say that it is not even feasible task for one person or even group. But let’s imagine that group of people can do it in reasonable time, but the next task is to combine their acquired knowledge from these scientific publications and establish correlations between articles and terms of

interest, find common patterns related to a specific subject.

This is one of the major challenges now facing health professionals and researchers. It's estimated that around 2 million new scientific publications appear every year (with an exponential growth in the past decade), which brings the total to well over 50 million publications documented. Obviously, the advancement of science and society relies on researchers sharing the knowledge and results of their arduous work via scientific publications. However, when it comes to consuming and mining that vast amount of information, there's clearly room for improvement [2].

**Related research.** In paper [3] an unrelated approach, which integrates community detection method and author-topic (AT) model is proposed. Specifically, it consists of three steps: to detect overlapping academic communities with the clique percolation method, to discover underlying topics and research interests of each researcher with author-topic (AT) model, and to label research topics of each community with top n most frequent collaborative topics between members belonging to the community, where common topics between researchers are seen

as collaborative topics. The framework is composed of four parts: preprocessing data, detecting communities in scientific collaboration network, discovering collaborative topics between authors and to uncovering topics of academic communities (fig. 1).

The method integrates community detection model using  $k$ -clique-community algorithm and the author-topic model. The approach of  $k$ -clique-community algorithm is to detect overlapping communities in scientific collaboration network, while the approach of AT model is to discover topics and authors' topics. Authors use common topics of coauthored researchers as their collaborative topics. Finally, they count all collaborative topics and select the most frequent collaborated topics among authors as research topics of communities [4].

In paper [5] a principled framework that goes beyond regular temporal community detection and can capture sudden changes in network topologies in dynamic cases is proposed. In this framework, temporal communities are detected with the smoothness constraint that temporal expected node popularity preservation is enforced. They argue that although the observed network may change rapidly, its latent structure (e.g., node popularity) often evolves much more

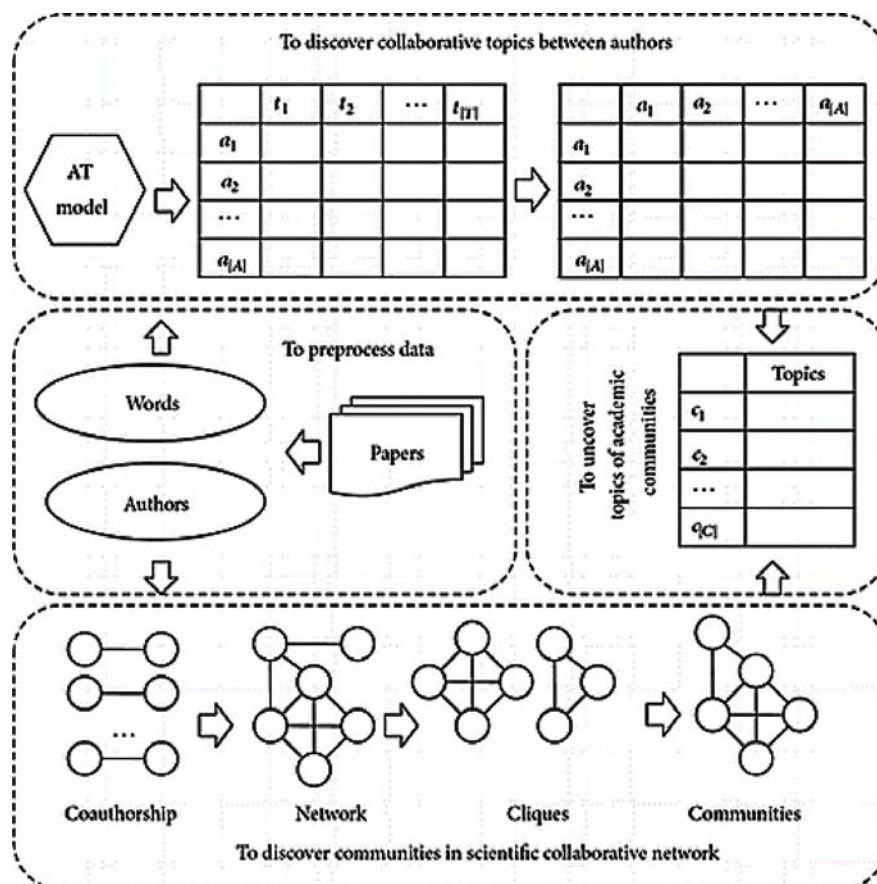


Fig. 1. Framework of the method [3]

slowly. For example, contact-based social networks might change from day to day because of people’s varying daily activities, but the popularity of the individual is much more stable. By identifying such latent time-persistent structure, they are able to uncover the fundamental continuous evolution of the forces that form the structure of networks. In most model formulations of existing methods, temporal communities are detected with the smoothness constraint that the communities that the nodes belonging to are stable, but this is not consistent with the evolving real-world networks. It often occurs that the left of the community hub nodes from one community would result in the movements of large number of nodes in that community. In this case, the community membership has a big change, and hence methods with the enforced community membership smoothness constraint will suffer from poor performance of community detection. To solve this problem, they introduce the community membership transition matrices in our model. The transition matrices are able to detect significant changes among detected communities and further reveal the movements of the inner nodes [5].

**The main goal of the article** is to solve problem of association and correlation analysis in scientific publications and given a set of keywords describing research area/topics:

1. define and discover associations between authors and keywords (taken from title and/or the abstract);
2. perform clustering of authors based on their association to keywords so as to recommend potential collaborators.

**Dataset and methodology of research.** Developed software allows to analyze and discover interesting collaborations among scientists and researchers. For this task dataset DBLP was used. DBLP contained more than 1.2 million bibliographic records. The bibliographic records are contained in XML file2. The DBLP web server lists all known papers published by a person on her/his “person page”. This simple mapping becomes tricky, as soon as a person has several names (synonyms) or if there are several persons with the same name (homonyms). The main obstacles are the bad habit to abbreviate (given) names beyond recognition and spelling errors. The DBLP data set is available from the location <http://dblp.uni-trier.de/xml/>

The file dblp.xml contains all bibliographic records which make DBLP. It is accompanied by the data type definition file dblp.dtd. dblp.xml has a simple layout:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!DOCTYPE dblp SYSTEM "dblp.dtd">
<dblp>
  record 1
  ...
  record n
</dblp>
```

The header line specifies ISO-8859-1 (“Latin-1”) as the encoding, but in fact the file only contains characters [5]. In this work MapReduce methodology implemented on Python programming language and Apache Hadoop is used. We use Hadoop distributed file system (HDFS), which is responsible for storing data on a Hadoop cluster and MapReduce system

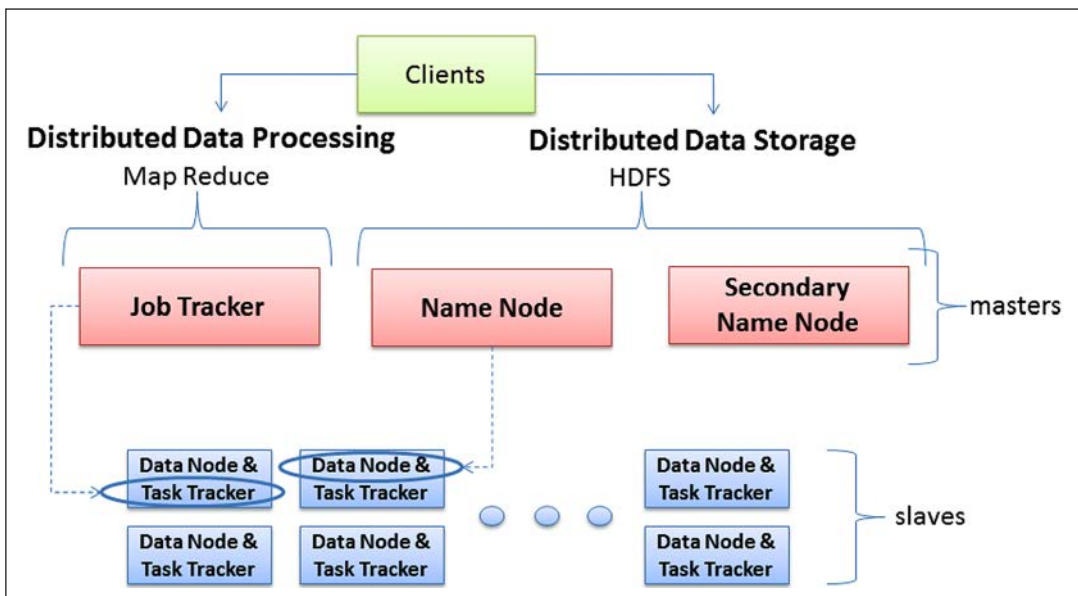


Fig. 2. Hadoop server roles [6]



designed for computing and processing large amounts of data on a cluster.

HDFS repeatedly copies data blocks and distributes these copies among the compute nodes of the cluster, thereby ensuring high reliability and speed of calculations. The Hadoop cluster configuration consists of one name server, one MapReduce wizard (JobTracker) and a set of working machines, each of which simultaneously runs a data server (DataNode) and a worker (TaskTracker) (fig. 2).

Each MapReduce runs in parallel and (if possible) locally on each data block. Instead of delivering terabytes of data to a program, a small, user-defined program is copied to the servers with data and does everything with them that does not require shuffling and data movement. On the AWS m5.xlarge instance and Ubuntu Server 18.04 LTS (HVM), SSD Volume Type, 64-bit x86 is used. For processing data

MapReduce are running on five nodes. Mapping part consists of parsing xml dataset. Tags <author>, <journal> and <title> tags from each <article> block is extracted. Then non-ascii characters from every parsed tag is removed. Title is divided into keywords. It is made lowercase and then we remove nonsense words from it, so, it will be like thematic keywords. Reducer part is collecting information for every author, made it as id for reducing. The author's name is compared in way that it written. As a result, the information for every author is collected about the journals where he was published and keywords in his works are collected too. The next step was to do a clustering among keywords that we have after the MapReduce part. Keyword clustering is the process of combining related and similar keywords into separate clusters (groups). This process can show us a distribution of keywords used by authors and gives a very useful information for a future work. In the research *k*-means algorithm is used.

Given a set of observations  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , where each observation is a *d*-dimensional real vector, *k*-means clustering aims to partition the *n* observations into *k* ( $\leq n$ ) sets  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$  so as to minimize the within-cluster sum of squares. This is equivalent to minimizing the pairwise squared deviations of points in the same cluster [7]. It splits the set of elements of a vector space into a previously known number of clusters *k*. The algorithm seeks to minimize the standard deviation at the points of each cluster. The basic idea is that at each iteration the center of mass is recalculated for each cluster obtained in the previous step, then the vectors are divided into clusters again, according to which the new centers was closer in the selected metric. The algorithm terminates when no cluster changes at any iteration.

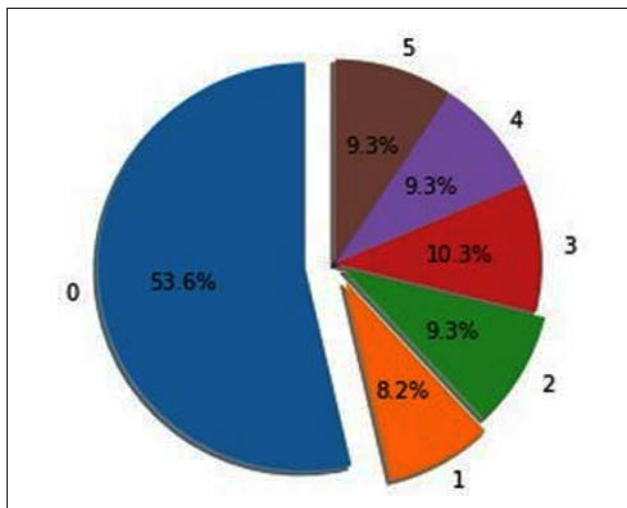


Fig. 3. Authors clustering (groups 0-5)

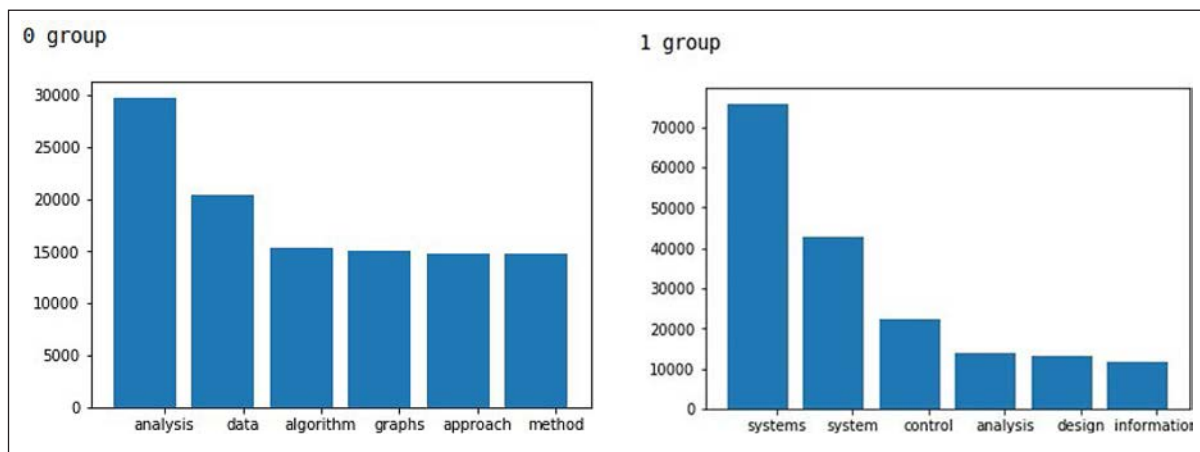
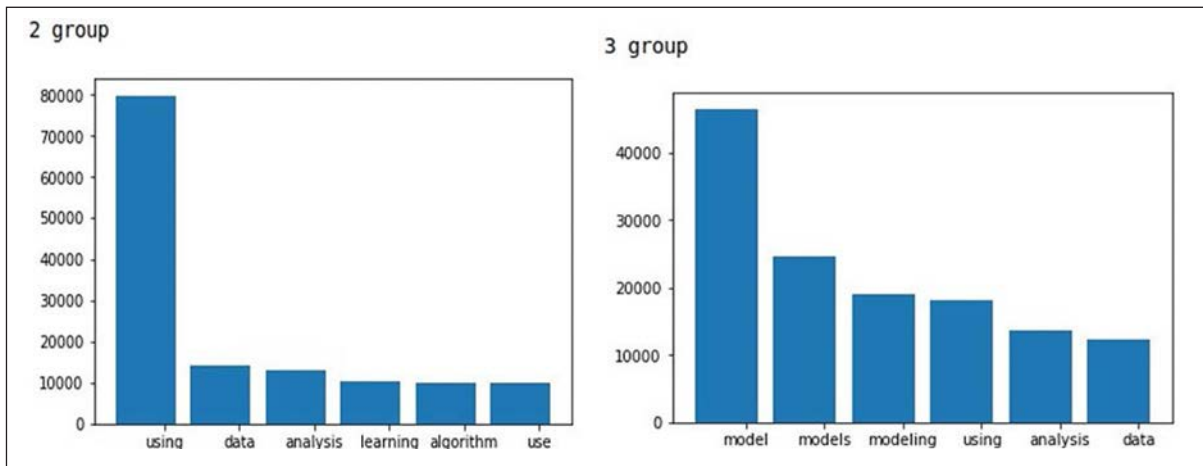
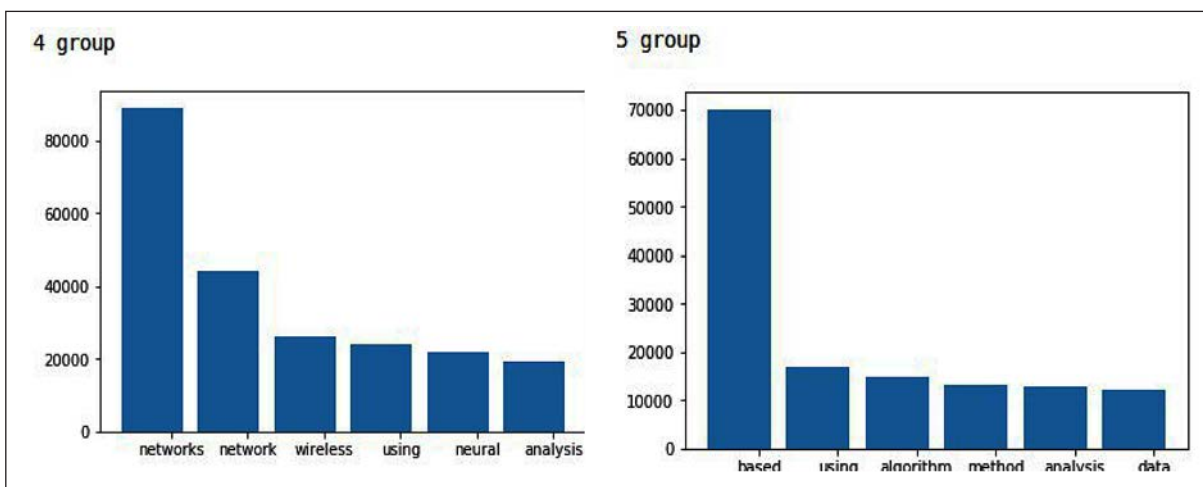


Fig. 4. Most common keywords of a. a. – 0 cluster; b. – 1 cluster





a. b.  
Fig. 5. Most common keywords of a. – 2 clusters; b. – 3 cluster



a. b.  
Fig. 6. Most common keywords of a. – 4 clusters; b. – 5 clusters

Given an initial set of  $k$  centers, the  $k$ -means algorithm alternates the two steps:

1. for each center we identify the subset of training points (its cluster) that is closer to it than any other center;

2. the means of each feature for the data points in each cluster are computed, and this mean vector becomes the new center for that cluster.

These two steps are iterated until the centers no longer move or the assignments no longer change. Then, a new point  $x$  can be assigned to the cluster of the closest prototype. Using Python for implementation of the  $k$ -means algorithm, we get analysis of publications dataset. Authors were divided into clusters which depends on their keywords (fig. 3).

Each cluster has its own most common keywords.

Journals for publishing were analyzed. The most frequent journals are shown on fig. 7.

**Conclusions and future work.** In this research the clustering of authors of scientific publications

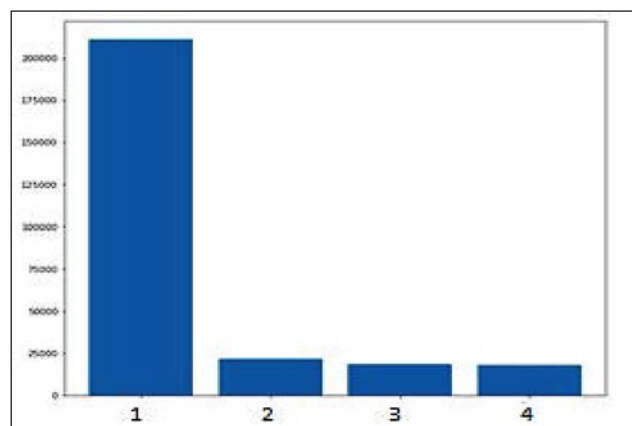


Fig. 7. Amount of publications in journals (1 – “CoRR”; 2 – “IEICE Transactions”; 3 – “Sensors”; 4 – “Applied Mathematics and Computation”)

based on their association with keywords using the  $k$ -means algorithm and Python is done. The selected algorithm has the following disadvantages for this

task. We must know in advance the number of clusters. The algorithm is very sensitive to the choice of initial cluster centers. The classic version implies a random selection of clusters, which very often was a source of error. As a solution, it is necessary to conduct the object studies to determine the centers of the initial clusters more accurately. Does not cope with the task when the object belongs to different clusters

equally or does not belong to one. So one of the tasks for a future work is to use a more powerful algorithm for the clustering. The work can be improved in several ways: tracking a popularity of journals for publication in different times, a recommendation system for choosing a journal depending on the main theme, using several big datasets with exclusion of the same records.

#### References:

1. Олещенко Л.М. Технології Big Data аналітики в розподілених системах обчислень. *Проблеми інформатизації та управління*. № 4(60). 2017. С. 57–63.
2. Arif E. Jinha, Article 50 million: an estimate of the number of scholarly articles in existence. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1087/20100308>.
3. Han H. Uncovering Research Topics of Academic Communities of Scientific Collaboration Network. URL: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1155/2014/>.
4. Yuan L. Tracking and Detecting Dynamic Communities with Node Popularity Preservation. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8371994>.
5. Ley M. DBLP — Some Lessons Learned. URL: <https://dblp.uni-trier.de/xml/docu/dblp.xml.pdf>.
6. Hedlund B. Understanding Hadoop Clusters and the Network. <http://bradhedlund.com/2011/09/10/understanding-hadoop-clusters>.
7. Vettigli G. K-Means Clustering with Scipy. URL: <https://dzone.com/articles/k-means-clustering-scipy>.

### Дичка І.А., Єрастова В.В., Олещенко Л.М., Юрчишин В.Я. ПРОГРАМНИЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ НАУКОВЦІВ НА ОСНОВІ АСОЦІАЦІЇ АВТОРІВ З КЛЮЧОВИМИ СЛОВАМИ ПУБЛІКАЦІЙ

У статті описано програмний метод, який дозволяє згрупувати авторів на основі їх асоціації з ключовими словами наукових публікацій для пошуку потенційних однодумців та колег для розробки спільних науково-дослідних проектів. Запропонована робота має на меті продемонструвати потенціал та проблеми Big Data. Технології великих даних дають можливість обробляти велику кількість неструктурованих даних, систематизувати їх, аналізувати та визначати закономірності, коли людський мозок їх ніколи не помітить. У статті описані основні інструменти та методи, які використовуються для обробки дуже великих наборів даних. Використовується методологія MapReduce, реалізована в Python та Apache Hadoop. Для дослідження використовується набір даних з сервера DBLP. DBLP містить понад 1,2 мільйона бібліографічних записів. Бібліографічні записи містяться у файлі XML file2. Веб-сервер DBLP перераховує всі відомі документи, опубліковані людиною на її «особі». Це просте відображення стає складним, як тільки у людини є кілька імен (синонімів) або якщо є кілька осіб з однаковим іменем (омоніми). Головними перешкодами є погана звичка скорочувати (задані) імена, що зумовлює помилки під час розпізнавання та написання. Для екземпляра AWS m5.xlarge та Ubuntu Server 18.04 LTS (HVM) використовується SSD, 64-розрядний x86. Для обробки даних MapReduce працює на n'яти вузлах. Частина картографування складається з аналізу даних XML. Теги <author>, <journal> і <title> теги витягаються з кожного блоку <article>. Потім символи, що не належать до об'єктів, видаляються з кожного проаналізованого тегу. Заголовок поділяється на ключові слова. Він утворюється з малих літер, а потім видаляються недоречні слова, тож залишаються тільки тематичні ключові слова. Частина редуктора – це збирання інформації для кожного автора, що робить її ідентифікатором для скорочення. Ім'я автора порівнюється з тим, як воно написано. Як результат збирається інформація для кожного автора про журнали, де він був опублікований, а також збираються ключові слова у його роботах. Алгоритм k-means використовується для кластеризації. В результаті аналізу цих публікацій автори були розділені на кластери залежно від їх ключових слів. Наведено недоліки та перспективи подальшого використання запропонованого способу.

**Ключові слова:** Big Data, AWS, Hadoop, MapReduce, наукова публікація, автор, ключові слова, кластерний аналіз, k-means алгоритм, Python.

**Кирийчук Д.Л.**

Херсонський національний технічний університет

## ВИКОРИСТАННЯ ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИХ МЕТОДІВ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИ ПОБУДОВІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ АВТОМАТИЗОВАНИХ РІЧТРАКІВ

У роботі запропоновано методологію розроблення інформаційної системи для діагностики автоматизованих річтраків. Для проектування інформаційної системи було обрано CASE-засіб *Enterprise Architect*, перевагами застосування якого є підтримка нотації UML 2.0, підтримка мов програмування C++ та Java, доступність для завантаження UML-профілів, що дозволяють створювати вузькоспеціалізовані моделі інформаційної системи, підтримка шаблонів проектування, генерація документації у форматах HTML і RTF, можливість автоматизації інтерфейсу та підтримка макросів.

Для розроблення діаграм класів, кооперації, діяльності, компонентів та розгортання було використано методологію об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування та мову UML, що дозволило автоматизувати процес розроблення інформаційної системи діагностики автоматизованих річтраків.

Архітектура інформаційної системи представлена такими класами: Клас «Аналіз даних», Клас «Устаткування», Клас «Пристрій», Клас «Перелік устаткування» та Клас «Звіт». Клас «Аналіз даних» виконує аналіз даних, підготовку даних для побудови графіка та розрахунок оцінки стану обладнання. Виводить користувачу оцінку стану обладнання, а також у вигляді графіка відображає середньоквадратичне відхилення графіка роботи обладнання. Клас «Устаткування» є таблицею бази даних. Містить перелік ідентифікаторів обладнання та дані його місцезнаходження. Клас «Пристрій» є таблицею бази даних. Містить перелік датчиків діагностування обладнання та показників його роботи. Клас «Звіт» є таблицею бази даних. Містить дату та результати діагностування обладнання. Клас «Перелік» також є таблицею бази даних. Містить дані про кількість здійснених вимірювань під час діагностування обладнання. Розроблена інформаційна система дозволить здійснювати діагностику автоматизованих річтраків та своєчасно виявляти ряд недоліків у їх роботі.

**Ключові слова:** об'єктно-орієнтовані методи, програмне забезпечення, інформаційна система, CASE-засоби, автоматизовані річтраки.

**Постановка проблеми.** Останнім часом для розробки інформаційних систем (ІС) застосовується уніфікована мова моделювання UML, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи, яка називається UML-моделлю. UML є невід'ємною частиною уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення (ПЗ).

В останні роки розроблено велику кількість простих і універсальних програмних інструментальних засобів, що реалізують дружній інтерфейс мови UML, а також зручних засобів автоматизованого перетворення з моделі в програмний шаблонний код (CASE-засоби). Найбільш відомою є система IBM Rational Rose від розробника Rational Software.

Серед функціональних можливостей IBM Rational Rose є такі [1]:

- проектування систем будь-якої складності;
- підтримка мови UML;

– можливості автоматичного контролю, у тому числі перевірки відповідності двох моделей;

– надання розгорнутої інформації про проєкт (сумісно із засобами документування, зокрема SoDA);

– кодогенерування (стандартний список модулів включає C++, ADA, CORBA, Visual Basic, XML, COM, Oracle);

– зворотне проектування наявних систем.

Існують й інші виробники, які пропонують свої аналоги засобів підтримки UML, наприклад, Power Designer від компанії Sybase, Oracle Designer від компанії Oracle, ERwin від компанії CA Technologies та інші. Для побудови інформаційної системи автоматизованих річтраків в роботі буде використовуватися CASE-засіб *Enterprise Architect* від компанії Sparx System.

До переваг застосування *Enterprise Architect* можна віднести такі [2]:

- використання нотації UML 2.0 з підтримкою всіх видів діаграм;
- підтримку C++, Java, C#, VB, PHP;
- моделювання баз даних (БД), пряме проектування в DDL і зворотне проектування з ODBC;
- доступні для завантаження UML-профілі, що дозволяють створювати вузькоспеціалізовані моделі;
- підтримку шаблонів проектування;
- генерацію документації у форматах HTML і RTF;
- автоматизацію інтерфейсу, підтримку макросів.

Далі автор описує об'єктно-орієнтований підхід розробки та життєвий цикл інформаційної системи для діагностики автоматизованих річтраків із використанням UML у рамках процесу розробки ПЗ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботі [2] розглядаються можливості застосування пакету для UML-проективання Sparx Enterprise Architect на прикладі системи обліку багажу в аеропортах та досліджено роль процесу моделювання інформаційних систем в ньому.

У роботі [3] розглядається діаграма прецедентів інформаційної системи для аналізу ринку праці IT-фахівців, яка створена за допомогою середовища Enterprise Architect з використанням уніфікованої мови моделювання UML. Обґрунтовується доцільність використання діаграми прецедентів при проектуванні інформаційної системи, описується призначення основних вузлів розробленої діаграми, подається загальна характеристика мови UML.

У роботі [4] розроблено програмний засіб для керування мережевим плануванням реінжинірингу програмного проекту. Моделювання системної архітектури програмного забезпечення в роботі виконується у рамках методології UML із використанням CASE-інструментарію Enterprise Architect.

У роботі [5] розглядається використання візуальних нотацій UML і P-схем в процесі навчання об'єктно-орієнтованих методів програмування. Пропонується новий наскрізний підхід до вивчення та використання техніки візуального моделювання програмних систем.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є побудова інформаційної системи для діагностики автоматизованих річтраків із використанням об'єктно-орієнтованих методів розроблення програмного забезпечення та уніфікованої мови моделювання UML.

**Виклад основного матеріалу.** Річтрак – штабелер з висувною щоглою, призначений для обслуговування висотних (від 6 м) стелажних систем [6]. Річтрак – найскладніший і високопродуктивний вид складської техніки, що поєднує в собі кращі якості штабелера і класичного вилочного навантажувача. На них встановлюється найсучасніше обладнання для обробки вантажів, включаючи преселектори висоти, камери на вилах, що дозволяють працювати на великих висотах. За технічним призначенням річтрак можна віднести до гібриду вилочного навантажувача і високопідйомного штабелера з висувним пристроєм вантажопідйомника на відстань від 600 до 1200 мм.

Основними відмінними особливостями такого симбіозу у річтраках є дуже висока продуктивність (швидкості пересування техніки та підйому вантажу практично в два рази перевищують аналогічні параметри штабелерів), економічність, відмінна маневреність і можливість оснащення колосальною кількістю додаткових опцій [6].

Основним кроком до побудови інформаційної системи для діагностики автоматизованих річтраків із використанням об'єктно-орієнтованих методів розроблення програмного забезпечення та уніфікованої мови моделювання UML є розробка діаграми класів. Діаграма класів є основним логічним поданням моделі і містить детальну інформацію про архітектуру об'єктно-орієнтованої програмної системи [1].

Архітектура об'єктно-орієнтованої програмної системи для діагностики автоматизованих річтраків представлена наступними класами: Клас «Аналіз даних», Клас «Устаткування», Клас «Пристрій», Клас «Перелік устаткування» та Клас «Звіт» (рис. 1).

Автор розглядає більш докладно класи системи. Так, Клас «Аналіз даних» виконує аналіз даних, підготовку даних для побудови графіка та розрахунок оцінки стану обладнання. Виводить користувачу оцінку стану обладнання, а також у вигляді графіка відображає середньоквадратичне відхилення графіка роботи обладнання. Клас «Устаткування» є таблицею бази даних. Містить перелік ідентифікаторів обладнання та дані його місцезнаходження. Клас «Пристрій» є таблицею бази даних. Містить перелік датчиків діагностування обладнання та показників його роботи. Клас «Звіт» є таблицею бази даних. Містить дату та результати діагностування обладнання. Клас «Перелік» також є таблицею бази даних. Містить дані про кількість здійснених вимірювань під час діагностування обладнання.



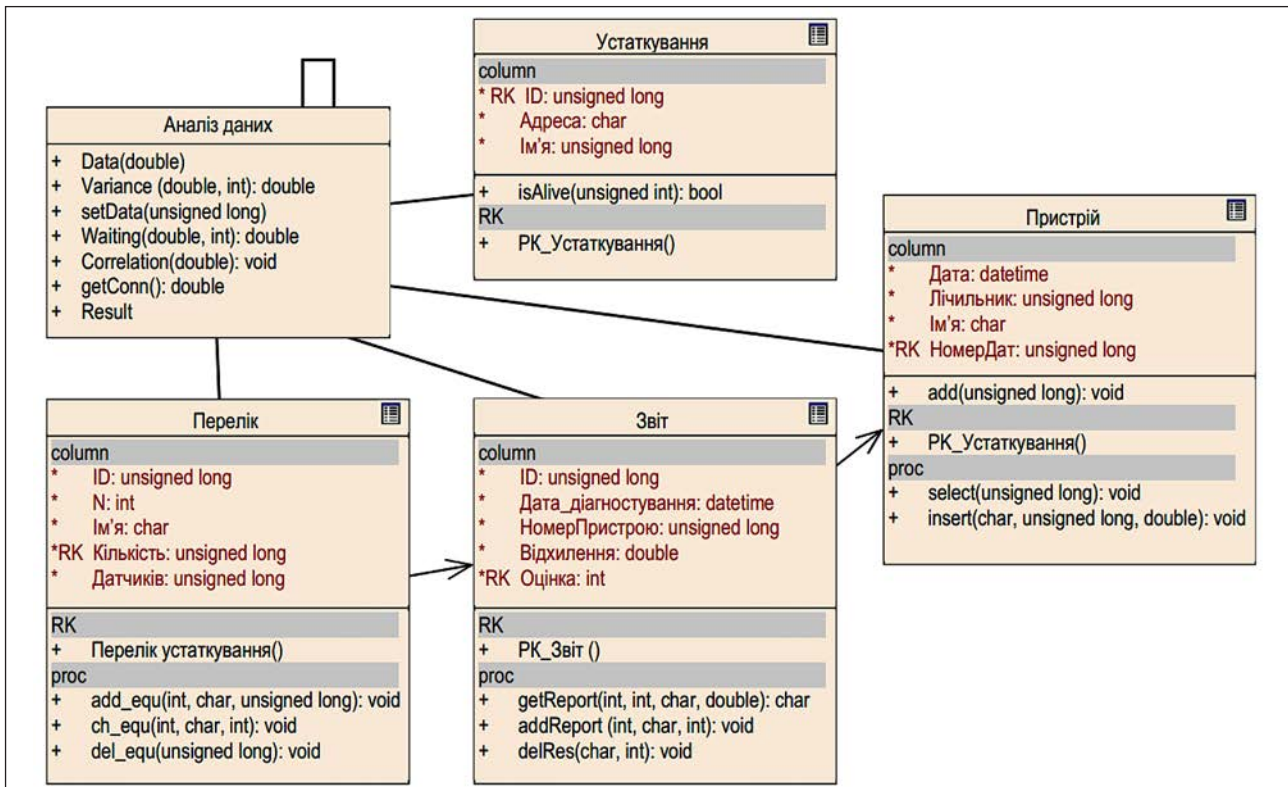


Рис. 1. Діаграма класів ІС

Діаграма послідовності дій показує послідовність дій об'єктів і класів системи в часі. За допомогою діаграми послідовності можна уявити взаємодію елементів моделі всієї сукупності об'єктів, пов'язаних між собою. На діаграмі послідовності дій зображуються тільки ті об'єкти, які безпосередньо беруть участь у взаємодії [1, 7–10].

В UML кожна взаємодія описується сукупністю повідомлень, якими ті об'єкти, що беруть участь у ньому обмінюються між собою. Повідомлення є закінченим фрагментом інформації, який відправляється одним об'єктом іншому. Прийм повідомлення ініціює виконання певних дій, спрямованих на вирішення окремого завдання тим об'єктом, якому це повідомлення відправлено.

Лінія життя об'єкта зображується пунктирною вертикальною лінією, асоційованою з єдиним об'єктом на діаграмі послідовності. Лінія життя служить для позначення періоду часу, протягом якого об'єкт існує в системі і, отже, може потенційно брати участь у всіх її взаємодіях. Якщо об'єкт існує в системі постійно, то і його лінія життя повинна продовжуватися по всій площині діаграми послідовності від самої верхньої її частини до самої нижньої [7]. Діаграма послідовності дій зображена на рис. 2.

На діаграмі зображено взаємодію файлу «Програма\_діагностики» з таблицями «Устаткування», «Пристрій», «Результати\_діагностики», «Перелік», а також взаємодію з користувачем: здійснення запити на перевірку зв'язку з обладнанням; передачу даних, що свідчить про наявність зв'язку і здійснює передачу даних до програми; запис отриманих даних в таблицю пристрою; завдання кількості вироблених вимірів датчиком; вибірку даних для проведення аналізу таблиці «Пристрій»; проведення математичного аналізу над даними; запис результатів діагностування обладнання в таблицю «Результати\_діагностики»; відображення користувачу результатів діагностики.

Наступним логічним етапом є побудова діаграми кооперацій (рис. 3), що описує поведінку системи на рівні окремих об'єктів, які обмінюються між собою повідомленнями при реалізації деякого варіанту використання [8].

Автор розглядає повідомлення, якими обмінюються між собою об'єкти під час роботи системи: здійснення запити на перевірку зв'язку з обладнанням, додавання запису до таблиці пристрою, встановлення номера датчика та кількості вироблених вимірів датчиком, вибірка даних із таблиці «Пристрій», повернення вибраних даних



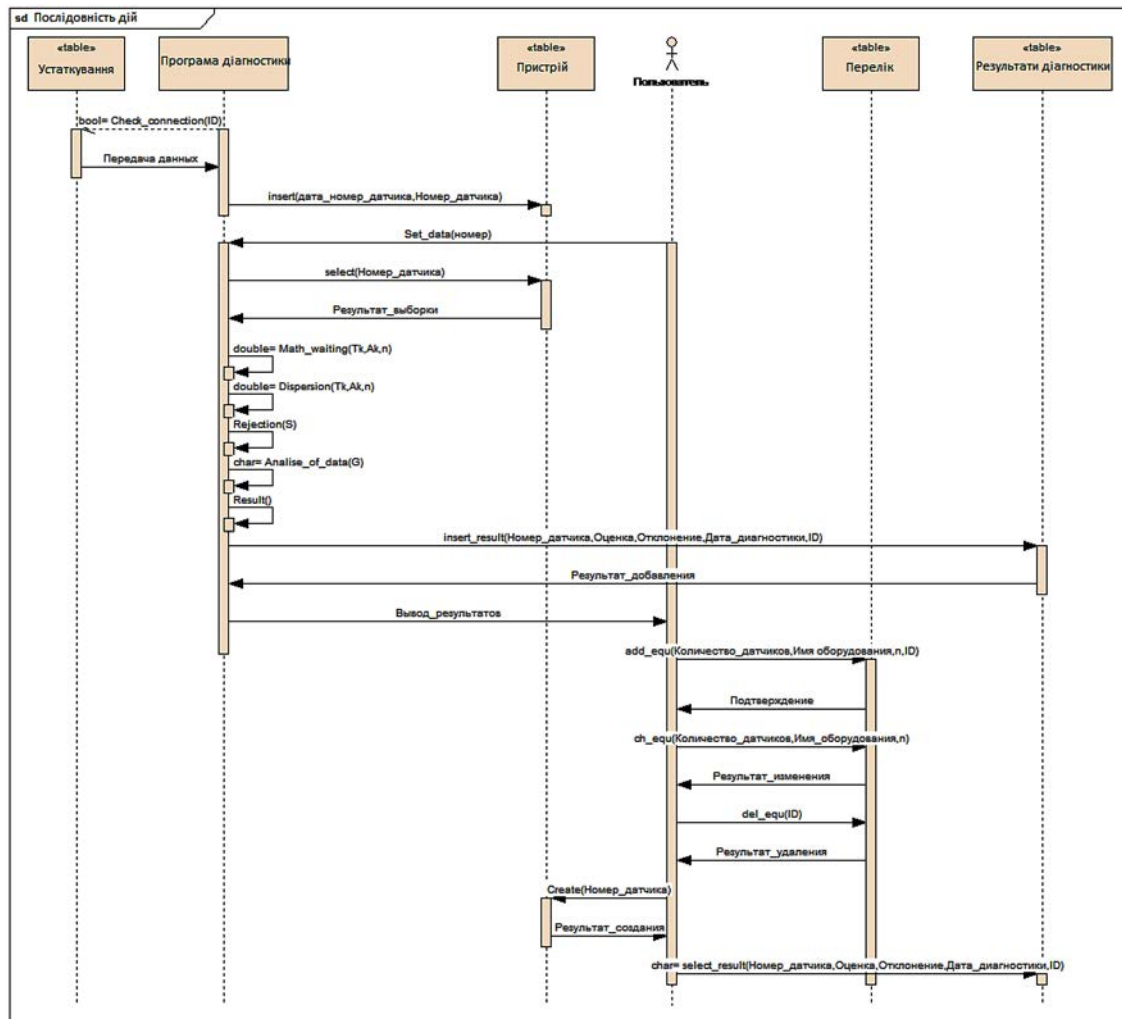


Рис. 2. Діаграма послідовності дій ІС

програмою, проведення аналізу даних, підготовка результатів виведення, запис даних в таблицю «Результати діагностики», відображення користувачеві результатів діагностики, додавання запису в таблицю «Перелік», зміна запису в таблиці «Перелік», видалення запису з таблиці «Перелік», додавання запису в таблицю «Пристрій», вибірка даних з таблиці «Результати діагностики».

Діаграма діяльності дозволяє моделювати послідовності дій, реалізованих методами класів. Діаграми діяльності є аналогом блок-схеми будь-якого алгоритму. Вони, як і діаграми станів та переходів, відображаються у вигляді орієнтованого графу, вершинами якого є дії, а ребра – переходи між діями. Кожний стан на діаграмі діяльності відповідає виконанню деякої елементарної операції, а перехід в наступний стан виконується тільки після завершення цієї операції [7–9].

Основним напрямом використання діаграми діяльності є візуалізація особливостей реалізації

операцій класів, коли необхідно надати алгоритми їх виконання. Діаграма діяльності зображена на рис. 4.

Діаграма компонентів відрізняється від раніше описаних діаграм тим, що описує особливості фізичного подання системи. Діаграма компонентів відображає залежності між компонентами програмного забезпечення, включаючи компоненти вихідних кодів, бінарні компоненти, та компоненти, що можуть виконуватись. Модуль програмного забезпечення може бути представлено як компоненту. Деякі компоненти існують під час компіляції, деякі – під час компонування, інші – під час роботи програми [7]. Діаграму компонентів подано на рис. 5.

Основними елементами інформаційної системи є файл, що виконується, база даних і звіт. Компонент «Програма» має стереотип «Executable», що означає, що цей компонент є таким, який буде виконано.

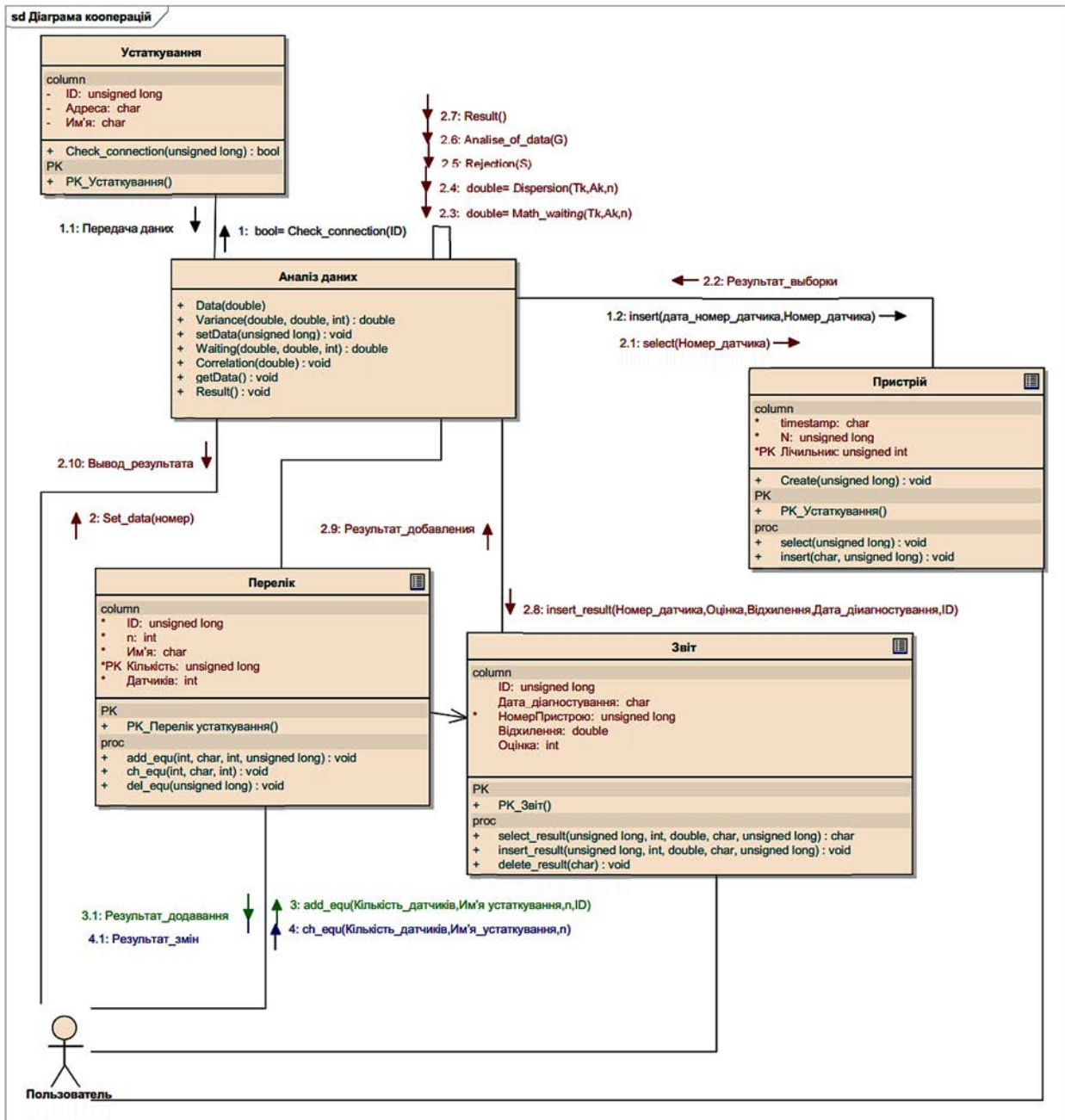


Рис. 3. Діаграма кооперації ІС

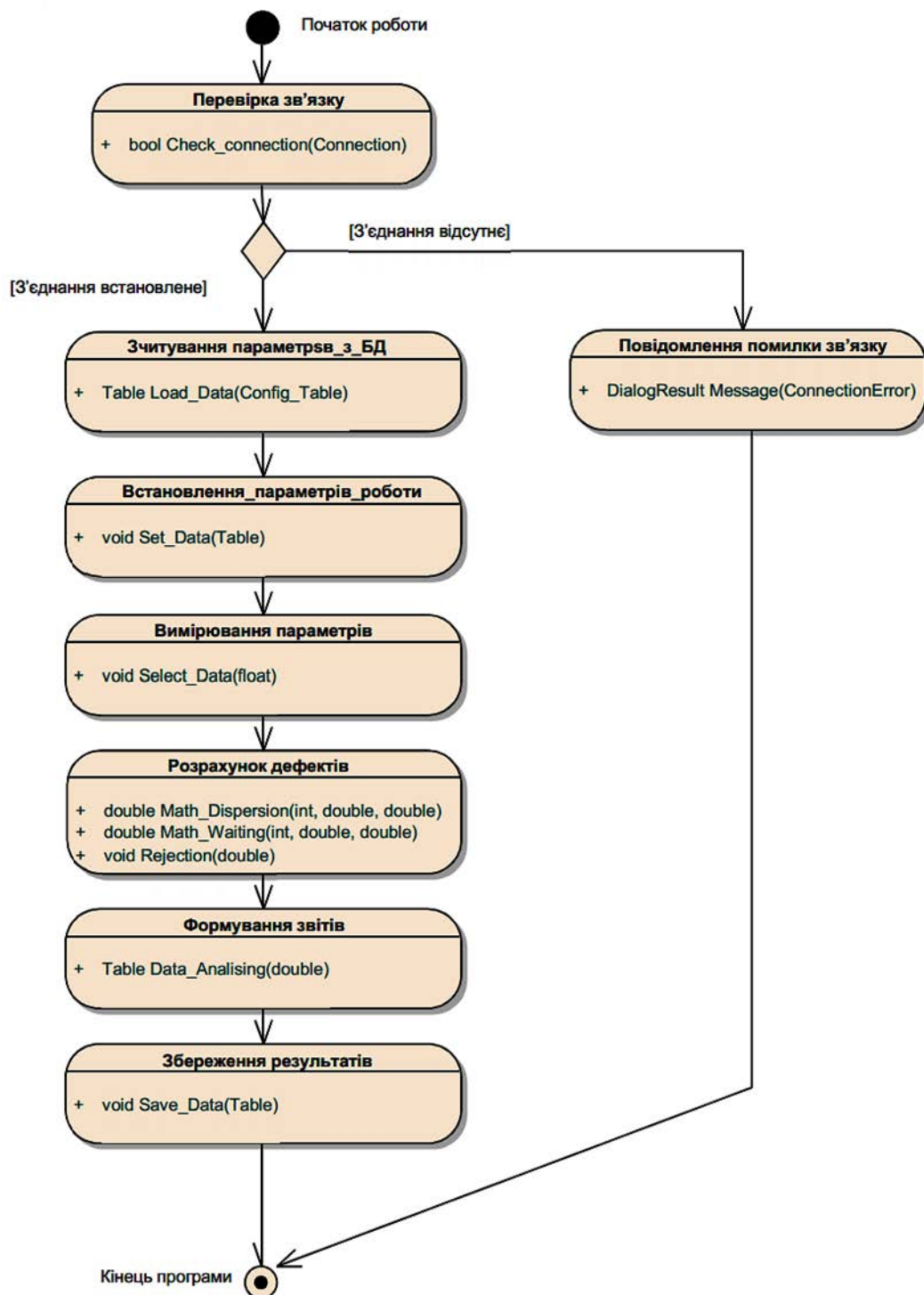


Рис. 4. Діаграма діяльності ІС

Діаграма розгортання призначена для візуалізації елементів і компонентів програми, які існують тільки на етапі її виконання (run-time). При цьому наведено тільки ті компоненти системи, які є виконуваними файлами або динамічними бібліотеками [1, 7, 9]. Діаграму розгортання ІС зображено на рис. 6.

Компоненти, які не використовуються на етапі виконання, на діаграмі розгортання не відображаються. Діаграма розгортання дозволяє проаналізувати апаратну частину системи, виділити обчислювальні ресурси, пристрої, які використовуються ними і з'єднання між ними, а також спроектувати розташування цих частин. Діаграма призначена

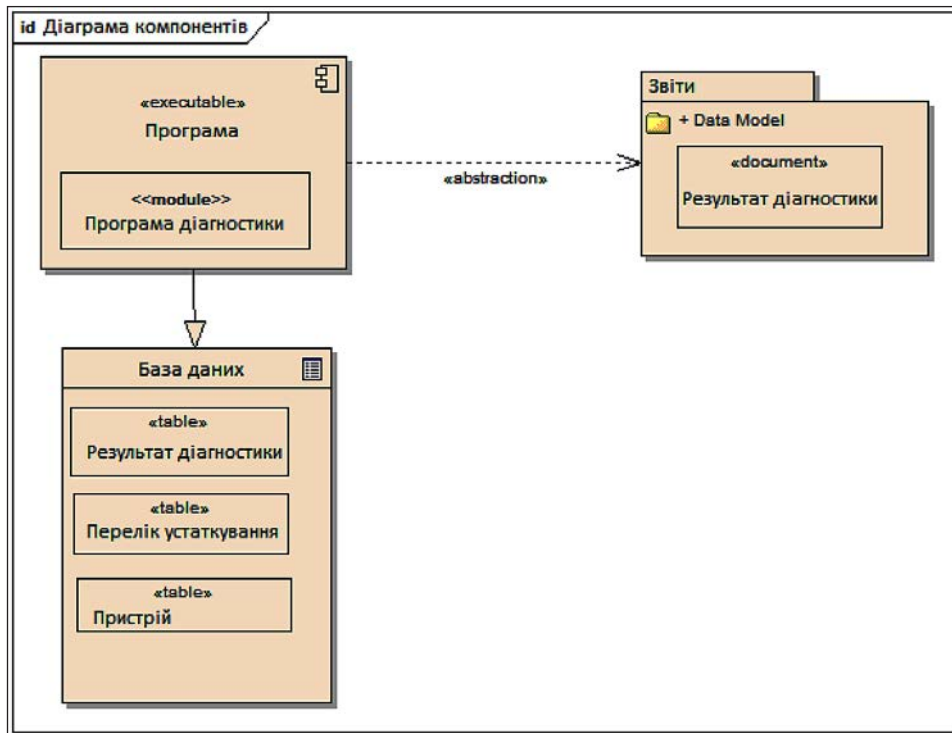


Рис. 5. Діаграма компонентів ІС

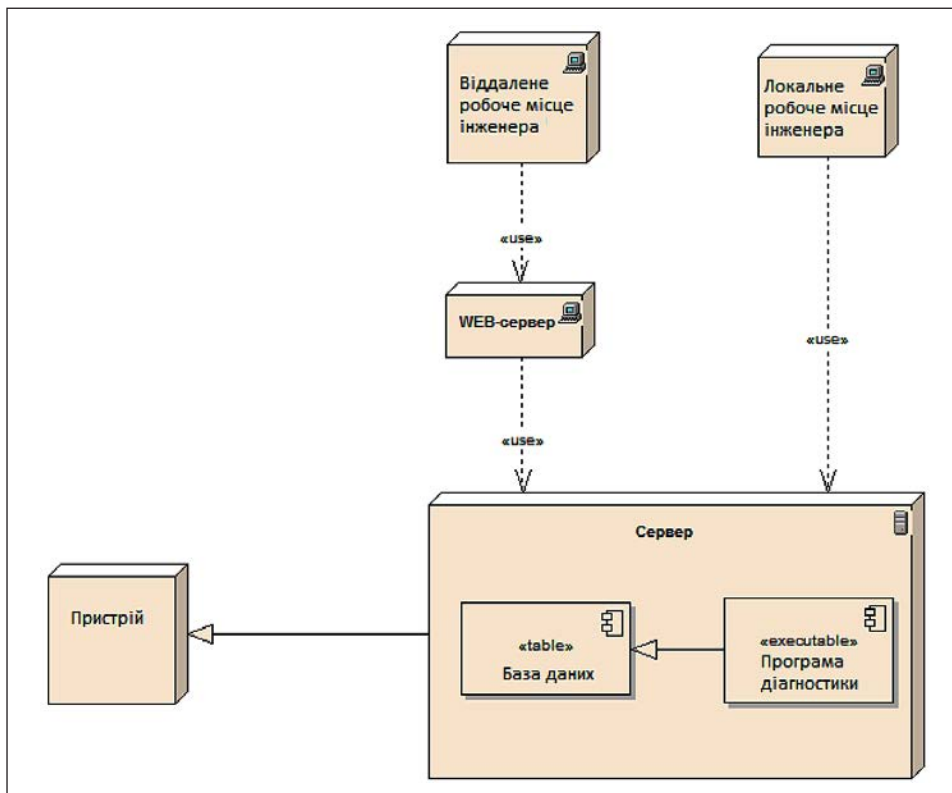


Рис. 6. Діаграма розгортання ІС

для візуалізації елементів і компонентів програми, що існують лише на етапі її виконання (runtime).

**Висновки.** В роботі розроблено діаграми класів, кооперації, діяльності компонентів та роз-

гортання системи діагностики автоматизованих річтраків із використанням методології об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування та мови UML.

**Список літератури:**

1. Боггс У., Боггс М. UML и Rational Rose. Изд-во Лори, 2001. 299 с.
2. Боровик В.М., Андрушук О.В. Моделювання системи обліку багажу в аеропортах. *Проблеми інформатизації та управління*. 2013. Вип. 2(42). С. 14–18.
3. Шаров С.В., Шарова Т.М. (2018) Проектування діаграми прецедентів інформаційної системи для аналізу ринку праці IT-фахівців. *Сучасні проблеми моделювання : зб. наук. пр. (11)*. 2018. С. 170–175.
4. Великодний С.С., Бурлаченко Ж.В., Зайцева-Великодна С.С. Розробка архітектури програмного засобу для управління мережевими плануванням реінжинірингу програмного проекту. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості*. 2019. № 2 (8). С. 25–35.
5. Дробушевич Л.Ф., Совместное использование нотаций UML и Р-схем в процессе обучения методам разработки программных систем, MEDIAS-2010, Кипр, с. 73–77.
6. Александров М.П., Колобов Л.Н., Лобов Н.А. и др. Грузоподъемные машины : Учебник для вузов. М. : Машиностроение, 1986, 400 с.
7. Леоненков А. Самоучитель UML. Петербург : БХВ, 2004.
8. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя 2-е изд.: Пер. с англ. Мухин Н.М. ДМК Пресс, 2006.
9. Кватрани Т. Визуальное моделирование с помощью IBM Rational Software Architect и UML. М.: Кудиц-образ. 2007.
10. Ларман К. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования. Практическое руководство. М. : Диалектика/Вильямс, 2013.

**Kyryichuk D.L. USING OBJECT-ORIENTED SOFTWARE DEVELOPMENT METHODS TO BUILD AN INFORMATION SYSTEM FOR REACH TRUCK DIAGNOSIS**

*A methodology for developing an information system for the diagnosis of Reach Truck has been proposed. The Enterprise Architect CASE tool was chosen to design the information system. The benefits of Enterprise Architect include the support for UML 2.0 notation, C ++ and Java programming languages, the ability to download UML profiles to create highly specialized information system models, support for design templates, HTML and RTF documentation generation, interface automation, and macro support.*

*Object-oriented analysis and design methodology and the UML language were used to develop class diagram, cooperation's diagram, activities diagram, components diagram, and deployments diagram, which made it possible to automate the process of designing automated Reach Truck diagnostics.*

*The following classes represent the information system architecture: Data Analysis Class, Equipment Class, Device Class, Equipment List Class, and Report Class. The Data Analysis class performs data analysis, preparation of data for graphing, and calculation of equipment condition assessment. Outputs to the user an estimate of the condition of the equipment, and also in the form of a graph displays the standard deviation of the schedule of the equipment.*

*The Equipment class is a database table. Provides a list of equipment IDs and location data. The Device class is a database table. Provides a list of sensors to diagnose the equipment and its performance. The Report class is a database table. Provides date and results of equipment diagnostics. The List class is also a database table. Provides information on the number of measurements made during equipment diagnosis. The developed information system will allow to diagnose automated Reach Truck and to identify a number of shortcomings in their work in a timely manner.*

**Key words:** *object-oriented methods, software, information system, CASE-tools, automated Reach Truck.*



УДК 004.021

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/12>**Кисіль В.В.**

Хмельницький національний університет

**Драч І.В.**

Хмельницький національний університет

**Кисіль Т.М.**

Хмельницький національний університет

## МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ СКЛАДАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ЗА УМОВИ ЗАДОВОЛЕННЯ ОБ'ЄКТИВНИХ ТА СУБ'ЄКТИВНИХ ВИМОГ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

*Добре розроблений розклад може стати основою для реалізації науково-педагогічного потенціалу навчальних курсів і для кращої засвоюваності матеріалу студентами. Задачі розподілу навчальної роботи між співробітниками кафедри, розробки навчального розкладу в значній мірі визначають ефективність організації освітнього процесу. Правильно й точно складений розклад забезпечує рівномірне завантаження студентських груп і професорсько-викладацького складу. Від вдало складеного розкладу залежить ефективність роботи викладачів, засвоєння навчального матеріалу студентами, раціональне використання інтелектуальної й матеріальної баз вузу. Таким чином, дослідження, спрямовані на розробку алгоритмів автоматизації побудови навчального розкладу, є актуальними.*

*Цілями роботи є дослідження математичних, інформаційних і алгоритмічних моделей, а також методів, алгоритмів для розв'язку задачі автоматичної побудови розкладів навчальних занять і на основі аналізу результатів цього дослідження розробка алгоритму, який надає можливість створювати розклад за умови задоволення об'єктивних та суб'єктивних вимог навчального закладу. Для розробки алгоритму виділені вимоги до розкладу занять. В основу алгоритму покладена ідея оцінки волі (цінності) розташування занять у розкладі. Оптимізація відбувається за принципом Парето – поки не можна буде переставити чи змінити елементи так, щоб не зменшити цінність жодного із них. Серед переваг побудованого алгоритму можна відзначити можливість генерації прийнятних варіантів розкладу вже з першої ітерації. В алгоритмі передбачена можливість значного поліпшення розкладу завдяки додаванню додаткових критеріїв оцінки волі і якості розташування занять у розкладі.*

**Ключові слова:** розклад навчальних занять вnz, об'єктивні та суб'єктивні вимоги до розкладу, структурна схема алгоритму складання навчального розкладу, функція для визначення цінності розташування елемента розкладу, оптимальний розв'язок, Парето-оптимізація.

**Постановка проблеми.** Якість підготовки фахівців у вузах і особливо ефективність використання науково-педагогічного потенціалу залежать деякою мірою від рівня організації навчального процесу. Одна з основних складових цього процесу – розклад занять – регламентує трудовий ритм, впливає на творчу віддачу викладачів, тому його можна розглядати як фактор оптимізації використання обмежених ресурсів – викладацького складу й аудиторного фонду [1]. Проблему складання розкладу слід сприймати не тільки як трудомісткий процес, об'єкт автоматизації з використанням ЕОМ, але і як акцію оптимального керування. Оскільки всі фактори, що впливають на розклад, практично неможливо врахувати, а інтереси учасників навчального процесу різно-

манітні, завдання складання розкладу є багато-критеріальною задачею з множиною нечітких факторів. Розв'язання таких завдань, як правило, здійснюється у два етапи: одержання оптимального (з погляду використовуваних критеріїв) варіанта і його наступна доробка людиною (диспетчером) з метою максимального врахування неформалізованих факторів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільший внесок у розвиток теорії розкладів внесли: Р. Акоф, Р. Беллман, М. Данциг, М. Кун, Т. Сааті, Р. Чермен, А. Кофман, Р. Форд й інші. Існуюча теорія розкладів застосовна при складанні розкладів роботи устаткування у цехах, і в той самий час має істотні обмеження щодо застосування для складання розкладу занять у ВНЗ [1]. Проблеми

складання розкладу занять у вищій школі присвячені дослідження В.В. Балашова, Ю.В. Берегових, С.П. Дмитрієва, Д.А. Зоріна, В.О. Костенка, М.Г. Маслова, С.М. Нестеренкова, М.Т. Jensen, Н. Larget, R. Lewis, M. Marte, С. Mihaila.

Задача складання навчального розкладу належить до класу слабо формалізованих, багатокритеріальних задач векторної оптимізації. Для її опису доводиться враховувати велику кількість параметрів і обмежень. Не дивлячись на велику кількість робіт, присвячених цій задачі, оптимального розв'язку для автоматизації процесу складання розкладу дотепер не знайдено [2]. Існує багато постановок цієї задачі, що різняться строгістю математичної формалізації, запропоновані різні методи й алгоритми її розв'язку [3 – 5]. У кожній з них є свої переваги й недоліки, однак загальноновизнаних і незаперечних моделей, методів і алгоритмів немає.

У відомих алгоритмах складання розкладу використовуються методи теорії графів, сітьового планування, дослідження операцій. Усі підходи до побудови алгоритмів можна умовно розбити на три групи.

1. Повний або частковий перебір варіантів, їх кількісний аналіз і вибір найкращого варіанта.
2. Моделювання (формалізація) дій диспетчера, що складає розклад.
3. Покрокове конструювання розкладу на основі обраних критеріїв оптимізації.

Алгоритми першого виду використовуються для навчальних закладів з малою кількістю груп. Однак для вищих навчальних закладів із кількістю груп більшою за 100 їх застосування неприйнятне через експонентний ріст числа варіантів. Основним недоліком більшості алгоритмів при частковому переборі або заснованих на методі гілок і меж є зміна вже зроблених призначень і повторення деяких кроків у випадку непридатності одержуваного варіанта розкладу. Це обумовлене впливом готового розкладу груп на складання нового. Тут потрібна корекція або повна зміна раніше складених розкладів, що пов'язано зі зміною бази даних. У випадку відсутності варіанта повного розміщення заявок по ресурсах може знадобитися повний перебір усіх варіантів, що при великій розмірності рівносильне зацикленню алгоритму і робить їх неприйнятними через величезні часові витрати.

Алгоритми другого виду належать до класу евристичних. Вони мають істотний недолік, що полягає в неможливості оцінити ступінь якості призначення заняття на можливість виконання наступних призначень.

Найбільш привабливими є алгоритми третього виду. Основою алгоритмів є підхід, що має назву «метод покрокового конструювання» або «метод спрямованого пошуку» [6]. Мета застосування такого підходу - виключити або зменшити перебір варіантів і забезпечити прийнятну якість складеного розкладу.

Сучасні технічні засоби дозволяють організувати й планувати навчальний процес із використанням моделей, методів і алгоритмів штучного інтелекту. У системі якості освіти одним з основних критеріїв виступає оптимальність розкладів занять і інших складових навчального процесу. Для можливості застосування моделей, методів і алгоритмів систем штучного інтелекту необхідно формалізувати навчальний процес. Для розв'язку задачі складання розкладу застосовується ще один новий підхід – нейронні мережі (М. Пилинський, Д. Рутковська). Найважливішим недоліком застосування цього підходу є складність вибору початкового стану нейронної мережі.

В останні роки особливого поширення одержали дослідження методів еволюційного пошуку (В.П. Єрунов, І.І. Морковін, І.Л. Каширіна, Г.Ф. Нізамова). Застосування методів еволюційного пошуку приводить до одержання гарних результатів, однак має місце висока обчислювальна трудомісткість і відносна неефективність на заключних етапах еволюції. У роботі Г.Ф. Нізамової використовуються методи системного аналізу, що дозволяє спростити розв'язувану задачу, але це приводить до жорсткої прив'язки складеного розкладу до викладацького складу.

**Формулювання цілей статті.** У цій роботі запропонований розв'язок першого етапу проблеми – розробка алгоритму одержання максимально оптимального розкладу. Для розробки алгоритму в першу чергу виділені вимоги до розкладу занять. В основу алгоритму покладена ідея оцінки волі розташування занять у розкладі, після чого розроблена структурна схема алгоритму, і описані всі етапи його роботи. Внаслідок неможливості оптимізувати розклад повністю через різні підоснови критеріїв та систем оцінки розкладу абсолютна оптимізація буде теоретично недосяжною, проте прийнятною для зазначених критеріїв.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** При складанні розкладу виникає проблема оптимального керування ресурсами: викладацьким складом і аудиторним фондом. У процесі розв'язку завдання необхідно враховувати обов'язкові обмеження, а також додаткові вимоги,

які можуть порушуватися в деяких випадках. До обов'язкових обмежень належать: місткість аудиторій повинна бути достатньою для груп, які в ній займаються, специфічне устаткування аудиторій (комп'ютерний клас або лабораторія, лекційна аудиторія з мультимедійним устаткуванням, тощо); теоретичні заняття для дисциплін за спеціальністю планувати на першу половину навчального дня. До додаткових вимог належать: навантаження для кожної групи повинне бути рівномірним, щоб уникнути перевтоми студентів; у заняттях студентів і викладачів не повинно з'являтися вікон (для розкладу викладача остання вимога є нестрогою); по можливості викладачам повинні надаватися дні, вільні від проведення занять у ВНЗ; додаткові побажання викладача щодо проведення занять (наприклад, у п'ятницю кількість занять повинна бути меншою, ніж в інші дні тижня; першим заняттям у понеділок повинен бути відносно простий предмет, інакше успішність студентів може суттєво знизитися та інші).

У результаті аналізу вимог до розкладу занять було ухвалене рішення про необхідність у розробці алгоритму закладення можливості щодо розширення списку вимог до розкладу занять, а також можливості регулювання пріоритетів виконання окремих вимог при складанні розкладу.

Кожну пару автори оцінюють за числовою функцією, яка приймає на вхід наявний розклад, дані про пару та позицію, куди необхідно поставити заняття та видає певне числове значення. Для початкового створення розкладу достатньо використати звичайний жадібний алгоритм, який на кожному кроці обирає заняття, що мають найбільше обмежень, та розставляє їх по позиціях, що найкраще їм підходять. Такий підхід дозволить розставити заняття з найбільшою кількістю обмежень без особливих проблем і поступово заповнити вільні проміжки часу заняттями, що мають найменші обмеження за проміжками часу розміщення. Для оптимізації можна використати той самий жадібний алгоритм, що буде обмінювати заняття (пари) за принципом Парето – жодна з пар не повинна зменшити вартість після обміну, що достатньо сильно збільшить збіжність алгоритму до одного з локальних мінімумів. Також таку оптимізацію можна перезапускати довільну кількість разів, що дозволяє робити незначні зміни та оптимізувати розклад. Внаслідок того, що для такого алгоритму не створюється додаткових таблиць ваги, графів та копій розкладу в вигляді «популяцій», цей алгоритм не буде використовувати багато ресурсів.

Автори наводять у скороченому вигляді математичну модель розкладу у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1

**Модель елемента розкладу з прив'язкою до часу**

День	Пара	Чис/ знам	Група	Пред- мет	Викла- дач	Ауди- торія
...	...	...	...	...	...	...

Розклад – заповнена таблиця, де кожний рядок – елемент розкладу.

Функція для визначення цінності розташування елемента розкладу має вигляд:

$$F(e, r, E, t) = \omega(Z^e, e) \omega(Z^G, e) \omega(Z^T, e) (a_i^T a^T(E, e, t) + a_g w(E, G, t) + c_i^e c(E, e, t)),$$

$$e = [G, T, C, L], \quad r = [Z^G, Z^T, Z^e],$$

де  $t$  – час, на якому розміщений елемент розкладу (день, пара, чисельник/знаменник),  $e$  – елемент розкладу,  $E$  – масив елементів розкладу, прив'язаних до часу,  $G$  – групи студентів,  $T$  – викладач,  $C$  – аудиторія,  $L$  – предмет, який буде викладатись,  $r$  – обмеження розташування елементів розкладу,  $Z^G$  – обмеження, що накладаються групою студентів,  $Z^T$  – обмеження, що накладаються викладачем,  $Z^e$  – обмеження, що накладаються іншими елементами розкладу, які вже прив'язані до часу,  $a_i^T$  – числовий ваговий коефіцієнт, що відображає побажання викладача проводити пару в час  $t$ ,  $a^T(E, e, t)$  – функція, що визначає ваговий коефіцієнт побажання викладача проводити пару з певної дисципліни, в певній групі, в певній аудиторії, в певний момент часу  $t$ ,  $a_g$  – ваговий коефіцієнт пари, що міститься у «вікні» між іншими парами,  $c_i^e$  – числовий ваговий коефіцієнт, що збільшує цінність розташування декількох елементів  $e$  підряд,  $c(E, e, t)$  – функція, що визначає, чи збільшувати цінність однакових елементів розкладу, які стоять в послідовні проміжки часу

$$c(E, e, t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо кількість послідовних подібних елементів менша за доцільну;} \\ 0, & \text{якщо немає подібних послідовних елементів;} \\ -1, & \text{якщо кількість послідовних подібних елементів більша за доцільну;} \end{cases}$$

$w(E, G, t)$  – функція що визначає наявність проміжку між елементами розкладу групи  $G$  в певний день у проміжок часу  $t$ :

$$w(E, G, t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо проміжок наявний;} \\ 0, & \text{якщо проміжку немає;} \end{cases}$$

$\omega(Z, e, t)$  – функція, що визначає допустимість розташування елемента розкладу  $e$  у вказаний проміжок часу  $t$  із врахуванням обмеження  $Z$ :

$$\omega(Z, e, t) = \begin{cases} 1, & \text{якщо обмеження } Z \text{ виконується;} \\ 0, & \text{якщо розташування недопустиме.} \end{cases}$$

Функція визначення цінності розташування елемента розкладу  $F(e, r, E, t)$  набуває найбільших значень для тих проміжків часу, коли викладачі бажають проводити заняття; декілька однотипних елементів розкладу розташовуються по декілька підряд (для кращого засвоєння матеріалу студентами), тощо; і набуває нульового значення для часових проміжків, в яких вимоги студентів або викладачів не задовольняються.

Функціонування алгоритму побудови та оптимізації розкладу занять показано на рисунку 1.



Рис. 1. Алгоритм побудови та оптимізації розкладу занять

Початковий варіант розкладу створюється покроковим додаванням елементів розкладу до існуючого розкладу в позиції з найбільшою цінністю. Оскільки початковий варіант розкладу може мати елементи, цінність яких можна покращити, то після побудови першого варіанта здійснюється оптимізація. Оптимізація відбувається наступним чином: вибирається елемент розкладу з найменшою цінністю, змінюється час розташування або елемент обмінюється розташуванням в часі з іншим елементом розкладу таким чином, щоб результуюча цінність вибраного елемента зросла найбільше. Оптимізація відбувається за принципом Парето – поки не можна буде переставити чи змінити елементи так, щоб не зменшити цінність жодного із них.

Алгоритм працює за принципом від більшого до меншого: спочатку обираються елементи розкладу з найбільшою кількістю обмежень і розставляються, далі обирається група, в якій є ще непроставлені години, і ці години перетворюються в елементи розкладу і проставляються, так повторюється до тих пір поки є непроставлені години для вибраних груп.

Після того, як створений первинний варіант розкладу, відбувається оптимізація – порівняння пар в кожній групі і переставляються пари для збільшення їх цінності за принципом Парето (якщо цінність будь-якої пари в результаті нижча, то варіант відкидається) [7, 8].

Автори описують формули для початкового розставлення елементів розкладу і оптимізації розкладу, які закладені в алгоритми побудови розкладу занять ВНЗ.

Формула (1) – початкове розставлення елементів розкладу:

Цінність [елементу розкладу] в певний [час проведення] в [аудиторії] визначається так: [вага елемента розкладу] = ([можливість викладання викладачем в вказаний час] \* [побажання викладання викладача для даної аудиторії в даний час] + [близькість до середини розкладу] + [вага спеціалізації вибраної аудиторії] + [вага наявності вікна у студентів]) \* [кількість пар підряд в елементі розкладу]

Формула (2) – оптимізація розкладу:

Цінність [елементу розкладу] в певний [час проведення] в [аудиторії] визначається так:

[вага елемента розкладу] = [можливість викладання викладачем в вказаний час] \* [побажання викладання викладача для даної аудиторії в даний час] + [вага спеціалізації вибраної аудиторії] + [вага наявності вікна у студентів].

Кроки алгоритму першого розставлення:

1. Вибрати пари для проставлення, що мають найбільше обмежень – переважно, це пари, що є спільними для декількох груп.
2. Вибрати блок спільних пар, що включає найбільшу кількість груп.
3. Вибрати найкращу аудиторію та найкращий час для проставлення пар за формулою ваги (1).
4. Поставити блок занять у вибрану аудиторію на вибраний час.
5. Якщо є ще блоки пар з обмеженнями для проставлення – повернутись до п. 2.
6. Вибрати непроставлені пари для вказаних груп, що не є спільними для декількох груп.
7. Вибрати групу для проставлення пар.
8. Вибрати пару для проставлення з наявних занять в цій групі.



9. Обрати найкращу аудиторію та час для пари за формулою (1).

10. Проставити пару в вибрану аудиторію на вибраний час.

11. Якщо ще є пари для проставлення повернутись в п. 7.

12. Якщо є ще обрані групи з непроставленими парами, то повернутись в п. 6.

13. Кінець алгоритму початкового розставлення розкладу.

Алгоритм оптимізації працює за принципом найкращого місця та переміщення за парето – вибрати найкраще місце за формулою (1) та, якщо пара не зменшує свою цінність і не зменшується цінність інших пар, переставити її на це місце, перемістивши відповідно інші пари.

Кроки алгоритму оптимізації:

1. Вибрати групу для оптимізації.
2. Вибрати набір елементів розкладу для оптимізації.
3. Вибрати елемент розкладу для оптимізації.
4. Вибрати місце, з якого і на яке найкраще розташувати елемент для збільшення цінності

розкладу за формулою (2), використовуючи принцип парето (жодна з пар, що переставиться в результаті обміну після вибору місця не повинна зменшити свою цінність).

5. Перемістити на обране місце чи обміняти з елементами на обраному місці.

6. Якщо залишилися елементи для оптимізації – перейти до п. 2.

7. Якщо ще залишилися групи для оптимізації то перейти до п. 1.

У результаті роботи алгоритму буде побудовано розклад, що відповідає наявним суб'єктивним обмеженням, вказаним як вхідні дані на момент створення алгоритму.

**Висновки.** Запропонований алгоритм може бути використаний для складання розкладу занять в окремому ВНЗ. Серед переваг можна зазначити можливість генерації прийнятних варіантів розкладу вже з першої ітерації. В алгоритмі передбачена можливість значного поліпшення розкладу завдяки додаванню додаткових критеріїв оцінки волі і якості розташування занять у розкладі.

#### Список літератури:

1. Береговых Ю.В. Алгоритм составления расписания занятий. *Искусственный интеллект*, 2009. № 2. Б2. С. 50–56.
2. Нестеренков С.Н. Планирование образовательного процесса в учреждениях высшего образования на основе сетевых моделей и генетических алгоритмов: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Минск, 2016. 22 с.
3. Абухания Амер Ю.А. Модели, алгоритмы и программные средства обработки информации и принятия решений при составлении расписаний занятий на основе эволюционных методов: автореф. дисс. .... канд. тех. наук. Новочеркасск, 2016. 19 с.
4. Бельский А.С. Применение моделей и методов теории расписаний в задачах оптимального планирования на грузовом транспорте. *Автоматика и телемеханика*. 2014. № 1. С. 3–77.
5. Воробович О.Н. Информационная система формирования расписания занятий в высшем учебном заведении. *Вестник СибГТУ*, № 1. СибГТУ, Красноярск, 2013. С. 120–125.
6. Симоненко В.П., Симоненко С.И. Метод пошагового конструирования для составления расписания занятий в учебных заведениях. *Системні дослідження та інформаційні технології*, 2008, № 4. С. 77–85.
7. Шишканова Т.А. Алгоритм Оптимизации расписания в вузе [електронний ресурс]. *Корольовський інститут менеджменту та технологій*. – 2015. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/v/algorithm-optimizatsii-uchebnogo-raspisaniya-v-vuze>.
8. Гуляницький Л.Ф. Прикладні методи комбінаторної оптимізації. Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2016. 142 с.

#### **Kysil V.V., Drach I.V., Kysil T.M. TASK OF CREATION AND OPTIMIZATION OF LEARNING SCHEDULE THAT SUPPLEMENTS STRICT AND VOLATILE REQUIREMENTS MODEL**

*Nowadays modern universities have an urgent need to create a computerized system that allows you to create and optimize plans and schedules, since the quality of training of specialists in universities and especially the efficiency of use of scientific and pedagogical potential depend to some extent on the level of organization of the educational process. One of the main components of this process is the class schedule.*

*The schedule balances the work rhythm of teachers, so it can be seen as a factor in optimizing the use of limited teaching staff resources. Since the interests of participants in the educational process are diverse, the task of scheduling is multicriteria with many fuzzy factors and belongs to the class Np-complete. As a rule, such tasks are carried out in two stages: obtaining the optimal (in terms of the criteria used) option and its subsequent refinement by the person (the dispatcher) in order to maximize the consideration of unformalized*

*factors. In this paper, the solution of the first stage of the problem is proposed - the development of an algorithm for obtaining the most optimal schedule, provided that the objective and subjective requirements of the educational institution are met. As a result of the analysis of the requirements for the schedule of classes, a decision was made on the need to develop an algorithm for laying down the possibility of expanding the list of requirements for the schedule of classes, as well as the possibility of regulating the priorities of meeting individual requirements when scheduling.*

*The algorithm is based on the idea of evaluating the will (value) of the arrangement of classes in the schedule. Optimization occurs on the Pareto principle – until it is possible to rearrange or modify the elements so as not to diminish the value of any of them. Among the advantages of the built algorithm is the possibility of generating acceptable variants of the schedule from the first iteration. The algorithm provides the opportunity to significantly improve the schedule by adding additional criteria for evaluating the will and quality of the location of classes in the schedule.*

**Key words:** *university schedule, volatile scheduling requirements, strict scheduling requirements, scheduling process, university scheduling process structure, schedule evaluation, schedule optimization, Pareto optimization.*

**Козел В.М.**

Херсонський національний технічний університет

## МІСЦЕ ТА РОЛЬ СИСТЕМИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННІ ВИЩІМ НАВЧАЛЬНИМ ЗАКЛАДОМ

*У статті досліджуються інновації в управлінні вищим навчальним закладом на базі інформаційних технологій, ключовий механізм якого дозволить підвищити рівень і якість освіти, а також конкурентоспроможність навчального закладу. Розглянуто проектування системи управління вищим навчальним закладом та відповідних інформаційних технологій які визначають і виконують аналіз інформаційних потоків, що циркулюють у процесі функціонування системи. Розглянуті сучасні підходи побудови ефективних систем управління вузом, а також реформування системи.*

*Проведені дослідження переслідували наступну мету. Це насамперед побудова інформаційної моделі вищого навчального закладу, що відображає вплив зовнішніх впливів на вуз на рівні інформаційних потоків і їх вплив на якість управління а також місце і роль системи інформаційної взаємодії в автоматизованих системах управління вищим навчальним закладом.*

*Виявлено, що організаційна структура відображає ступінь підпорядкованості, але не несе ніяких даних про потоки інформації й координуючих функцій. Запропоновано взяти за основу організаційну структуру вищого навчального закладу й виконав її синтез з інформаційними потоками, у такий спосіб виконати реінжиніринг системи управління, що дозволяє підвищити ефективність роботи вузу без істотних матеріальних витрат.*

*Проаналізовані сучасні системи інформаційної взаємодії та зроблені висновки, що об'єднання підсистем в одну єдину систему управління вузом відбувається за рахунок імпорту й експорту даних з однієї бази даних в іншу, що спричиняє появу помилок внаслідок старіння інформації і її неактуальності. Запропонована система інформаційного обслуговування дозволяє усунути суттєві недоліки існуючих систем управління вищим навчальним закладом. Таким чином, представлена інформаційна модель вузу, дозволяє підвищити ефективність управління вузу, у тому числі і якості освіти, за рахунок створення системи інформаційного забезпечення, що враховує зовнішні фактори й зворотний зв'язок.*

**Ключові слова:** вищий навчальний заклад, система управління, система інформаційної взаємодії, інформаційний потік.

**Постановка проблеми.** Інновації в управлінні вищим навчальним закладом (ВУЗ) на базі інформаційних технологій є ключовим механізмом, який дозволить підвищити рівень і якість освіти, а також конкурентоспроможність навчального закладу. Проектування інформаційних систем управління й удосконалювання їх (реінжиніринг) завжди пов'язане з аналізом інформаційних потоків, які циркулюють у системі й зовнішньому середовищі. Для проектування системи управління й відповідних інформаційних технологій необхідно визначити й виконати аналіз інформаційних потоків, які циркулюють у процесі функціонування системи.

Вищий навчальний заклад – освітня установа, що діє на підставі законодавства про освіту, що має статус юридичної особи й реалізує відповідно до ліцензії освітні програми вищої освіти. У процесі функціонування вузи корегують стратегічні цілі своєї діяльності та вносять необхідні зміни в структуру системи управління, у тому

числі й організаційну структуру вузу. Поява нових завдань і відповідно служб найчастіше відбувається стихійно, нові підрозділи спочатку виходять великогаговими, слабо структурованими.

Однією з основних умов ефективного функціонування системи управління є постійний аналіз інформаційних потоків, що забезпечують взаємодію із зовнішнім середовищем, а також внутрішніми підрозділами, встановлення раціональних зв'язків між джерелами й приймачами інформації й шляхів її циркуляції. Зазначені аспекти є передумовами для реінжинірингу нової інформаційної технології, метою якої є вдосконалювання, з метою підвищення ефективності діяльності вищого навчального закладу, у тому числі і якості освіти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання побудови ефективних систем управління вузом, а також реформування системи освіти в останні роки піднімалися в роботах В. Андрущенко, В.С. Ходаков, Ю. Жука, Н.А. Соколовой, Ю. Якусевича й інші [1, 2, 3, 4]

У суспільстві й серед фахівців вітчизняної освіти, на думку Ю. Жука, відсутній взаємозв'язок системи освіти й економіки країни, регіону, ринкової системи [2]. Проблеми підтримки розвитку системи освіти є соціальними й ставляться до пріоритетних завдань розвитку суспільства й держави, система освіти безпосередньо пов'язана з національними інтересами й національною безпекою, виходячи з визначень В. Андрущенко [1].

До побудови моделей управління вузом існують різні підходи, наприклад класичний підхід М. Вебера, який вивчав модель діяльності вузу з позиції бюрократичної організації, Т. Веблен розглядає вуз як капіталістичну організацію й модель вузу Т. Парсонса, який розглядає вуз із позиції соціальної системи.

Т.Г. Уварова [6] підкреслює, що конкурентоспроможна модель управління вузом повинна ґрунтуватися на принципах стратегічного управління, менеджменту якості, бюджетування й інформаційної інтеграції процесів.

**Постановка завдання.** Структура вузу повинна бути життєздатною, гнучкою й динамічною, що дозволяє вирішувати завдання розвитку економіки країни. У цьому зв'язку актуальна розробка науково обґрунтованої системи управління освітнім процесом, управління підрозділами, відділами, що ефективно функціонують в умовах відкритого інформаційно-освітнього простору, яка забезпечує легкість доступу до досліджуваної інформації, що стимулює генерацію нових і насамперед фундаментальних знань, та забезпечує конкурентоспроможність випускників на ринку праці [6].

Узагальнивши вище сказане, можна визначити основні умови для побудови моделі управління вищим навчальним закладом на основі інформаційних технологій:

- 1) Визначення впливу зовнішнього середовища на основну функцію вузу.
- 2) Реінжиніринг інформаційної моделі вузу на основі аналізу інформаційних потоків.
- 3) Створення єдиного інформаційного середовища вузу.

Проведені дослідження переслідували наступну мету. Це насамперед побудова інформаційної моделі вищого навчального закладу, що відображає вплив зовнішніх впливів на вуз на рівні інформаційних потоків і їх вплив на якість управління.

Для досягнення поставленої мети необхідно було розв'язати наступні завдання:

- 1) визначити перелік основних зовнішніх факторів, що впливають на діяльність вузу;

- 2) побудувати узагальнену інформаційну модель діяльності вузу;

- 3) визначити роль і розташування моделі руху інформаційних потоків у загальній моделі функціонування вищого навчального закладу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** ВУЗ – це складна організаційно-технічна й соціально-економічна система, зв'язана специфічними відносинами з багатьма об'єктами й зовнішнім середовищем [8]. Вузу властиві наступні особливості, які характеризують її як складну антропогенну динамічну систему:

1. Структура вузу нестаціонарна. Її зміни відбуваються як у результаті внутрішнього розвитку, так і регулярних і випадкових впливів зовнішнього середовища.

2. Більша частина параметрів стану є нестаціонарним.

3. Наявність великої кількості нелінійних залежностей.

4. Безліч зворотних зв'язків.

Будь-який навчальний заклад взаємодіє із зовнішнім середовищем, у зв'язку з цим необхідно пристосовуватися до змін для нормального функціонування. В силу цього вуз розглядатися як «відкрита система». Під «відкритою системою» раніше розуміли систему, здатну вдосконалюватися, тобто розбудуватися. Відкрита система залежить від енергії, інформації, абітурієнтів, наказів МОНу, які надходять із зовнішнього середовища. Будь-який вуз має зв'язок із зовнішнім середовищем і залежить від неї. Таким чином, вплив зовнішніх факторів на діяльність вузу безпосередньо впливає. Ці фактори повинні враховуватися при побудові інформаційної моделі вузу. У якості внутрішньої складової вузу виступає організаційна структура, яка безпосередньо впливає на ефективність діяльності вузу.

Основними характеристиками організаційної структури є поділ на окремі структури (факультети, кафедри), які також характеризуються підзвітністю й підпорядкованістю. При цьому, діяльність і функціонування окремих структур обов'язково повинна бути скоординована. У вузі функції координації виконує керівник – ректор, реалізуючи координаційне управління. Типова організаційна структура представлена на рис. 1.

Як видно зі структури, вона відображає ступінь підпорядкованості, але не несе ніяких даних про потоки інформації й координуючих функцій. На рис. 2 наведена схема інформаційної взаємодії робочих місць у відділі кадрів і з 8 робочих місць. Взв'язавши за основу організаційну структуру



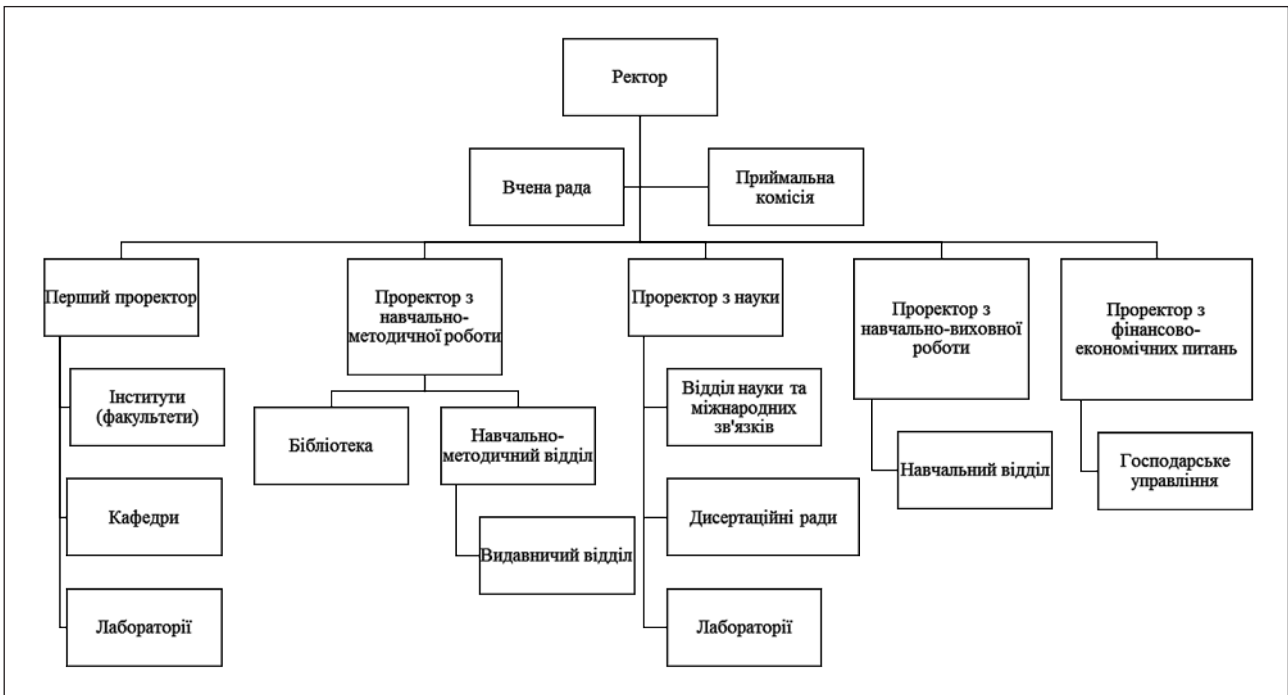


Рис. 1. Типова організаційна структура вузу

вузу й виконавши її синтез із інформаційними потоками, у такий спосіб автор зробить реінжиніринг системи управління, що дозволяє підвищити ефективність роботи вузу без істотних матеріальних витрат.

Виконавши аналіз взаємозв'язку організаційної структури вузу й систем управління, а також впливу зовнішнього середовища на вуз, можна зробити висновки про те, що організаційна структура вузу безпосередньо впливає на ефективність управління вузом, у тому числі й на якість освіти в цілому.

Однією з основних умов ефективного функціонування системи управління є постійний аналіз інформаційних потоків, які забезпечують взаємодію підрозділів, установлення раціональних зв'язків між джерелами й приймачами інформації й шляхів її циркуляції. Зазначені аспекти є предметом комплексного аналізу системи управління організації, метою якого є підвищення ефективності проектування або модернізації інформаційної системи управління. Оскільки в якості одного з параметрів формальної моделі вузу виступає інформаційне обслуговування, автор розглядає її вплив на систему управління вузу. З погляду автоматизованих систем управління, автор визначить тип АСУ і її місце на загальній інформаційній системі вузу.

В АСУ вузу можна виділити комплекс завдань адміністративного управління й прийняття рішень

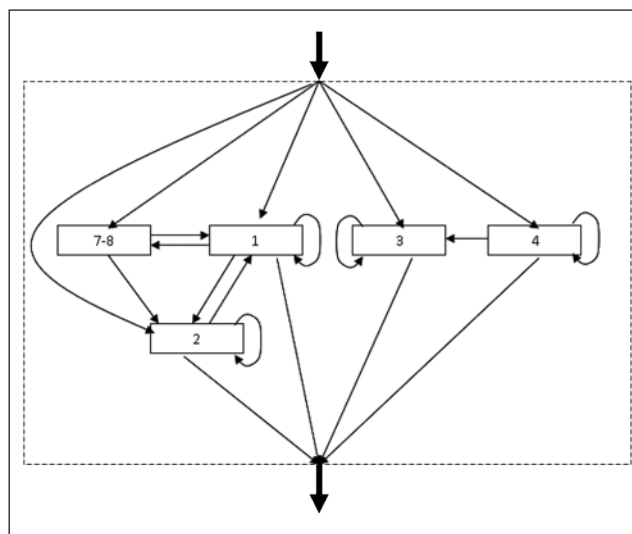


Рис. 2. Схема інформаційної взаємодії відділ кадрів

управління, які мало пов'язані з навчальним процесом. Такі системи одержали назву систем інформаційного обслуговування (СІО). Система інформаційного обслуговування може функціонувати як у вигляді самостійної системи, так і у вигляді підсистеми.

СІО як самостійна система застосовується для підвищення ефективності діяльності апарату управління вузу в цілому, динамічності у вирішенні проблем планування й координації робіт управлінських підрозділів. Основні завдання, які розв'язуються при створенні СІО: розробка основ

теорії синтезу структур СІО, методів інтеграції СІО й інших систем і типових СІО. Завданням СІО вузу є точне, доступне та своєчасне забезпечення користувачів інформацією для ефективного управління. Під СІО розуміються сукупність програмно-апаратних засобів збору й обробки інформації для спілкування користувачів із системою.

Оскільки вуз не належить до технологічних процесів, а система інформаційного забезпечення виступає сполучною ланкою між користувачами й іншими підсистемами, можна зробити висновок, що одним зі складників інформаційної системи вузу повинна бути підсистема інформаційного обслуговування. Виходячи з побудованої інформаційної моделі [10, 11] автор визначив вплив і місце розташування блоку системи інформаційного забезпечення в загальній системі управління вузом. Оскільки СІО поєднує зовнішнє й внутрішнє середовище вузу, була запропонована схема, наведена на рис. 3.

Користувачів СІО можна розділити на дві підмножини: внутрішні й зовнішні. До множини внутрішніх користувачів відносяться: студенти, викладачі персонал, що управляє. До зовнішніх – міністерство (звіти, укази), абітурієнти

(інформація про спеціальності, напрями, іспити), WEB ресурси (зв'язок із суспільством). Кожний тип користувачів повинен мати свій набір прав доступу до інформації, а також виконувати наповнення бази даних залежно від роду своєї діяльності.

У такий спосіб система інформаційного обслуговування виступає сполучною ланкою між зовнішнім середовищем і вузом, а також між внутрішніми підсистемами (відділами) вузу.

На сьогоднішній день, більшість інформаційних систем забезпечення побудовані по модульному принципу. Кожна підсистема формується окремо й має власну базу даних. Таким чином, об'єднання підсистем в одну систему управління вузом відбувається за рахунок імпорту й експорту даних з однієї бази даних в іншу, що спричиняє появу помилок внаслідок старіння інформації і її неактуальності.

При формуванні СІО по модульному принципу із власними базами даних властиві наступні недоліки:

- 1) збільшений обсяг даних за рахунок дублювання інформації;
- 2) відсутність гнучкості при впливі зовнішніх факторів;

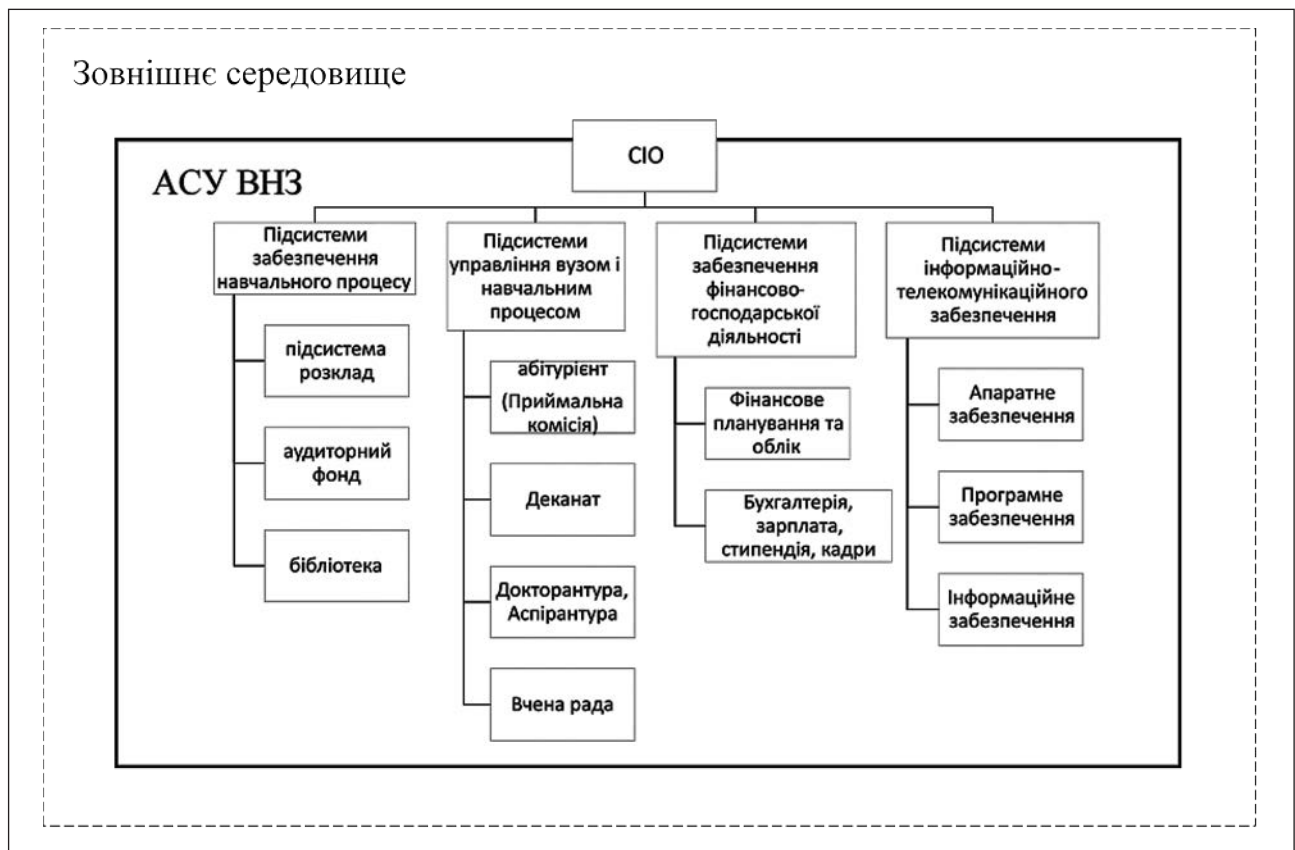


Рис. 3. Функціонально-організаційна структура АСУ вузу

3) запізнення системи на час імпорту експорту, детермінована система обміну інформації;

4) поява помилок внаслідок відсутності первинності інформації;

5) неможливість одержати всі дані в реальному часі.

Для усунення цих недоліків пропонується розробляти СІО на підставі єдиної бази даних. Запропонований алгоритм у роботі [10, 11] дозволяє:

1) впорядкувати інформаційні потоки, виявити дублювання інформації, позбудеться циклів і петель;

2) інформаційна модель представлена в графічному виді, що спрощує її візуальне сприйняття;

3) виконати оптимізацію інформаційної моделі інформаційних потоків, ґрунтуючись на показниках.

**Висновки.** Проведені дослідження зовнішніх факторів, аналізу існуючих інформаційних моделей вузів дозволило побудувати інформаційну модель, яка визначає основні зовнішні потоки і їх взаємозв'язок з підсистемами вузу. Функціонально-організаційна структура дозволяє зробити висновки про місце СІО в АСУ вузу, а також обґрунтувати необхідність у розробці СІО в загальній структурі вузу. Запропонована система інформаційного обслуговування дозволяє усунути суттєві недоліки існуючих систем управління вищим навчальним закладом. Таким чином, наведена інформаційна модель вузу дозволяє підвищити ефективність управління вузом, у тому числі і якістю освіти, за рахунок створення системи інформаційного забезпечення, що враховує зовнішні фактори й зворотний зв'язок.

#### Список літератури:

1. Андрущенко В.П. Основні тенденції розвитку вищої освіти на рубежі століть. *Вища освіта України*. 2001. № 1. С. 5–9.
2. Жук Ю. Треба вміти дивитись у вічі: або в Болонський процес слід входити з українським досвідом, враховуючи реалії. *Освіта*. 2005. 16-23 бер. № 12. С. 4–5.
3. Соколова Н.А., Боскин О.О. Имитационная модель процесса дистанционного обучения. *Автоматика. Автоматизация. Электротехн. комплексы и системы*. 2004. № 1. С. 13–20.
4. Якусевич Ю.Г. Аналіз проблем реформування освіти та побудова формалізованих моделей внз. *Проблеми інформаційних технологій*. 2015. № 1. С. 100–109.
5. Вульфсон Б.Л. Мировое образовательное пространство в зеркале сравнительной педагогики. *Отечественная и зарубежная педагогика*. 2012. №1 (4).
6. Уварова Т.Г. Трансформация управления ВУЗом на принципах менеджмента знаний. *Проблемы современной экономики*. 2007. № 4(24). С. 349–352.
7. Ахмедова Х.Г. Использование информационных технологий для повышения университетского образования. *Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2015. № 1. С. 124–130.
8. Hubalovsky S. System approach, modeling, simulation as educational technologies in algorithm development and programming. *Procedia-Social and behavioral sciences* 2015. Vol. 191. Pp. 2226–2230. DOI:10.1016/j.sbspro.2015.04.267.
9. Surej P.J. The integration of information technology in higher education: A study of faculty's attitude towards IT adoption in the teaching process. *Contaduría y Administración*. 2015. № 60. Pp. 230–252. DOI:10.1016/j.cya.2015.08.004.
10. Viktor Hodakov, Viktor Kozel, Andrey Sokolov Analysis of information technology of the management system of the higher educational institution. *Technology audit and production reserves*. 2017. Vol. 4, № 2(36). P. 4–12. DOI : 10.15587/2312-8372.2017.109117.
11. В.Е. Ходаков, В.Н. Козел, А.Е. Соколов. Математическая модель представления информационных потоков в виде ориентированных графов и их преобразования. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 2. С. 73–83.

#### **Kozel V.M. THE LOCATION AND ROLE OF THE INFORMATION INTERACTION SYSTEM IN THE HIGHER EDUCATION MANAGEMENT SYSTEM**

*The scientific article investigates innovations in the management of a higher education institution based on information technologies, the key mechanism of which will allow to improve the level and quality of education, as well as the competitiveness of the educational institution. The design of the higher education institution management system and corresponding information technologies that define and perform the analysis of information flows that are circulating in the system functioning are considered. The modern approaches to the construction of effective higher education management systems, as well as the reform of the system are considered.*

*The conducted research pursued the following purpose. This is first of all the construction of an information model of a higher education institution, which reflects the influence of external influences on the university at the level of information flows and their influence on the quality of management, as well as the place and role of the system of information interaction in the automated systems of higher education institution management. The organizational structure was found to reflect a degree of subordination but did not carry any data on information flows and coordinating functions.*

*It is proposed to take as a basis the organizational structure of a higher educational institution and perform its synthesis with information flows, in this way to perform a reengineering of the management system, which allows to increase the efficiency of work of the university, without significant material costs. The modern systems of information interaction are analyzed and it is concluded that the unification of subsystems into one unified management system of higher education is due to the import and export of data from one database to another, which causes errors due to the aging of information and its relevance. The proposed information service system eliminates the significant shortcomings of the existing higher education institution management systems.*

*Thus, the information model of the university is presented, which allows to increase the efficiency of management of the university, including the quality of education, by creating an information system that takes into account external factors and feedback.*

**Key words:** *higher education institution, management system, system of information interaction, information flow.*



**Комлева Н.О.**

Одеський національний політехнічний університет

**Зіноватна С.Л.**

Одеський національний політехнічний університет

**Марулін С.Ю.**

Одеський національний політехнічний університет

**Онщенко Т.В.**

Одеський національний політехнічний університет

## ПОБУДОВА МОДЕЛІ АТРИБУТІВ ЯКОСТІ ФОРМАЛЬНИХ ГРАМАТИК ТА МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

*Роботи в області теорії трансляції можуть носити як комерційний, так і науково-дослідний характер і потребують вирішення ряду проблем. Одна проблема полягає в необхідності розробки транслятора, що дозволяє переводити програму, написану мовою високого рівня, на машинну мову. Це вимагає чіткого розуміння принципів роботи кожного етапу транслятора: лексичний аналіз, синтаксичний аналіз, семантичний аналіз, оптимізація, генерація коду. Інша проблема, пов'язана з мовою програмування, це проблема вирішення нетривіального завдання синтаксису мови програмування. При цьому традиційно для опису синтаксису мови використовують контекстно-вільну граматику, у вигляді якої можна формалізувати більшу частину правил, призначених для опису синтаксичної структури.*

*Метою роботи є підвищення якості процесу розробки формальних граматик та мов шляхом формалізації множини атрибутів якості та їх використання при розробці власних трансляторів або їх окремих блоків. Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання: проведено огляд етапів процесу трансляції та визначено вимоги до них; формалізовано склад атрибутів якості для лексичного та синтаксичного етапів розробки трансляторів; виконано аналіз атрибутів якості формальних граматик та мов; побудовано модель атрибутів якості формальних граматик та мов з використанням логіки предикатів з визначенням вимог до словника граматики, лексем, правил та систем правил.*

*Розроблено методичку з побудови граматик та відповідну програмну систему, що дозволяє користувачеві конструювати формальні граматики та аналізувати результати їх побудови. Програмна система оцінює атрибути якості відповідно до формалізованої моделі якості та видає зворотний зв'язок користувачеві. Застосування програми дозволило виявляти та деталізувати приблизно 78% усіх помилок при створенні граматик.*

**Ключові слова:** атрибути якості, побудова моделі, формальна граматика, транслятор, мова програмування.

**Постановка проблеми.** Визначаючи мову програмування, потрібно, як мінімум, формалізувати наступні поняття: множину символів, які можна використовувати для запису правильних програм; множину правильних програм; «сенса» кожної правильної програми. Визначення множини допустимих символів потрібно для роботи першої частини транслятора – лексичного аналізатора. При завданні мови програмування визначається клас допустимих програм за допомогою граматичних правил. При цьому більшу частину правил, призначених для опису синтаксичної структури, можна формалізувати

у вигляді контекстно-вільної граматики. Більш того, контекстно-вільна граматика забезпечує опис, достатній для того, щоб його можна було використовувати як частину визначення самого компілятора.

Для можливості формального опису нової вхідної мови необхідна розробка граматичних правил граматики, яка повинна виконуватись з забезпеченням заданих атрибутів якості формальних граматик та мов. Для атрибутів якості необхідно вказати певні значення, дотримання яких забезпечить коректність граматики, а також описати можливі помилки і способи їх усунення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На даний час доступна велика кількість сучасних інструментів для розробки компіляторів, які заслуговують детального вивчення і широкого використання. Серед цих інструментів є такі, які автоматизують розробку лексичних і синтаксичних аналізаторів з використанням сучасних методів, наприклад ANTLR, CoCo/R, SableCC, bison [1, с. 51; 2, с. 96]. Найбільшу популярність має генератор низхідних аналізаторів для формальних мов ANTLR, що перетворює контекстно-вільну граматику у вигляді розширеної форми Бекуса-Наура в програму на C++, Java, C#, JavaScript, Go, Swift, Python [3, с. 1]. Також широко відомий bison – генератор LR-парсерів для мови C, аналогії якого існують для дуже багатьох мов [4, с. 1].

Опис мов програмування у цих інструментах спирається на теорію формальних мов, що є фундаментом для організації синтаксичного аналізу [5, с. 514; 6, с. 261]. Відповідно до теорії формальних мов, мова – це множина ланцюжків кінцевої довжини на заданому алфавіті. Механізм породження дозволяє описати мову за допомогою граматики – системи правил, та ланцюжки мови будуються відповідно до цих правил [7, с. 190; 8, с. 408]. Гідність визначення мови за допомогою граматики в тому, що операції в ході синтаксичного аналізу можна формалізувати і спростити їх виконання.

Для того, щоб стало можливим визначати мову за допомогою граматики, правила цієї граматики повинні відповідати певним вимогам. Недотримання цих вимог призводить до проблем при роботі основних етапів транслятора [9, с. 73]. Коректно побудована синтаксична структура речення допомагає зрозуміти взаємини між різними його частинами. Для побудови точних і недвозначних описів застосовують метод абстракцій, який передбачає виділення найбільш істотних властивостей даного об'єкту і опускання властивостей, менш значущих для певного випадку [10, с. 17; 11, с. 105]. Наприклад, при побудові моделі вхідних мов можна розглядати вихідний текст як послідовність символів, побудовану за певними правилами.

Як показав аналіз, недоліком багатьох інструментів розробки є слабка інформаційна підтримка користувача у ході розробки формальних граматики та мов за певним описом. Для формування системи інформаційної підтримки потрібно розробити методику з побудови граматики та відповідне програмне забезпечення.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення якості процесу розробки формальних граматики

та мов шляхом формалізації множини атрибутів якості та їх використання при розробці власних трансляторів або їх окремих блоків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Систематизація атрибутів якості формальних граматики та мов дозволила згрупувати їх за наступними критеріями якості:

- стосовно символів граматики;
- стосовно лексем граматики;
- стосовно початкового символу граматики;
- відповідно до правил граматики [12, с. 110].

Формалізація вимог за цими критеріями дозволила створити відповідну модель атрибутів якості [13, с. 106; 14, с. 147]. Модель атрибутів якості M формальних граматики та мов виглядає наступним чином:

$$M = (D, Lex, R, SR),$$

де D, Lex, R та SB – узагальнені атрибути якості для словника граматики, лексем, правил та систем правил граматики відповідно. Автори розглядають кожний із них більш детально.

*Коректність словника граматики D* визначається трійкою вимог:

$$D = \{D_T, D_N, D_S\},$$

де  $D_T$  – вимоги щодо термінальних символів:

- 1)  $V_T = \{k_1, k_2, k_n\} \neq \emptyset$ ;
- 2) потужність множини  $n = |V_T|$  визначається предметною областю;
- 3)  $\forall (k_i \in V_T, k_j \in V_T) \text{ Name}(k_i) \neq \text{Name}(k_j)$ .

$D_N$  – вимоги щодо нетермінальних символів:

- 1)  $V_N = \{p_1, p_2, p_m\} \neq \emptyset$ ;
- 2) потужність множини  $m = |V_N| \geq 1$ ;
- 3)  $\forall (p_i \in V_N, p_j \in V_N) \text{ Name}(p_i) \neq \text{Name}(p_j)$ ;
- 4)  $V_T \cap V_N = \text{***}$ .

$D_S$  – вимоги щодо початкового символу S граматики:  $S \in V_N$ .

*Коректність лексем граматики Lex* визначається четвіркою вимог:

- 1)  $Lex = \{Lex_1, Lex_2, Lex_r\} \neq \emptyset$ ;
- 2) якщо довжина лексеми обмежена, то кількість їх варіантів також обмежена, тобто  $r = \text{const}$ , інакше  $r \rightarrow \infty$ ;
- 3)  $\forall (Lex_i \in Lex, Lex_j \in Lex) \text{ Name}(Lex_i) \neq \text{Name}(Lex_j)$ ;

4) повинна бути можливість однозначного виділення окремих лексем з речення.

*Коректність правил граматики R* визначається трійкою вимог:

- 1) виведення речень є направленим: запис виду  $\alpha \rightarrow \beta$  означає, що ланцюжок  $\alpha$  породжує ланцюжок  $\beta$ ;
- 2) для випадку контекстно-вільних граматики:  $\forall \alpha \in V_N (\alpha) \neq \emptyset, V_T (\alpha) = \emptyset$ ,

$\forall \beta V_N(\beta) \cup V_T(\beta) \neq \emptyset$ ;

3) кількість нескінченних рекурсій у правилах  $Rec = 0$ .

Коректність системи правил граматики SR визначається двійкою вимог:

1) для мови  $L(G) = \{f_1, f_2, f_h\}$ ,

де  $f_i, i=1, h$  – речення мови,  $h=const$  для кінцевих мов,  $h \rightarrow \infty$  для нескінченних мов (цей випадок є більш перспективним);

2) якщо  $W$  – система правил граматики з  $t \geq 1$

$$W = \begin{cases} W_0 \rightarrow W_1 \\ \dots \\ W_{t-1} \rightarrow W_t \end{cases},$$

то  $W_0 = S$  – початковий символ граматики, при цьому  $W_t \in L(G) = \{f_1, f_2, f_h\}; \forall (W_i, W_j), i \neq j, W_i \neq W_j$ .

Неухильне дотримання всіх перерахованих критеріїв є обов’язковою умовою для побудови граматики, призначеної для трансляції програми або перекладу речень природної мови. Відхилення від вимог знижує якість початкових даних і, як наслідок цього, якість побудованої граматики і відповідної їй мови [15, с. 91].

Відповідно до розробленої моделі створено методику розробки формальних граматик, що є досить об’ємною. В якості її фрагменту автори наводять базові принципи відображення структури ланцюжків у правила граматики:

– ланцюжку, що складається із заданих символів  $abc$ , відповідає правило  $V \rightarrow abc$ ;

– ланцюжку, що починається з заданого символу  $a$ , відповідає правило  $V \rightarrow a B$ ;

– ланцюжку, що закінчується заданим символом  $a$ , відповідає правило  $V \rightarrow B a$ ;

– ланцюжку, що починається і закінчується заданими символами  $a$  та  $b$  відповідає правило  $V \rightarrow a B b$ ;

– ланцюжку, що містить в середині символ  $a$ , відповідає правило  $V \rightarrow A a B$ ;

– ланцюжку заданої довжини  $1 = 2$  відповідають правила:  $A \rightarrow a B$  та  $B \rightarrow a$ ;

– ланцюжку, що складається з повторюваних символів  $a$ , відповідають правила  $A \rightarrow a A$  та  $A \rightarrow a$ ;

– ланцюжку, що складається з символів  $a$  і  $b$ , які чергуються, відповідають правила:  $A \rightarrow a B$  та  $B \rightarrow b A$ .

На базі побудованої моделі атрибутів якості та методики створено відповідну програмну систему, що дозволяє користувачеві конструювати формальні граматики (рис. 1).

Дуже коротко автори описують принципи користування системою. Кожне правило починається з нового рядка, завершувати правило спеціальним символом не потрібно. Якщо нажата кнопка «ABC – перевірка рекурсивності правил» та кнопка «Ошибки», то при наявності помилок вони будуть відображені у нижній частині

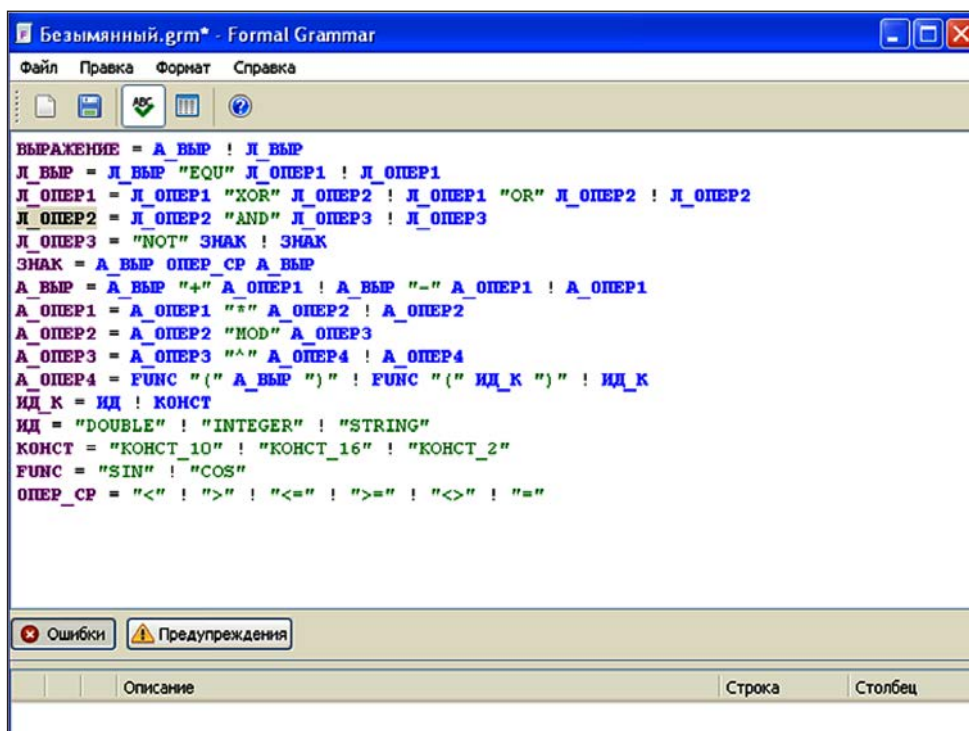


Рис. 1. Вікно з правилами формальної граматики

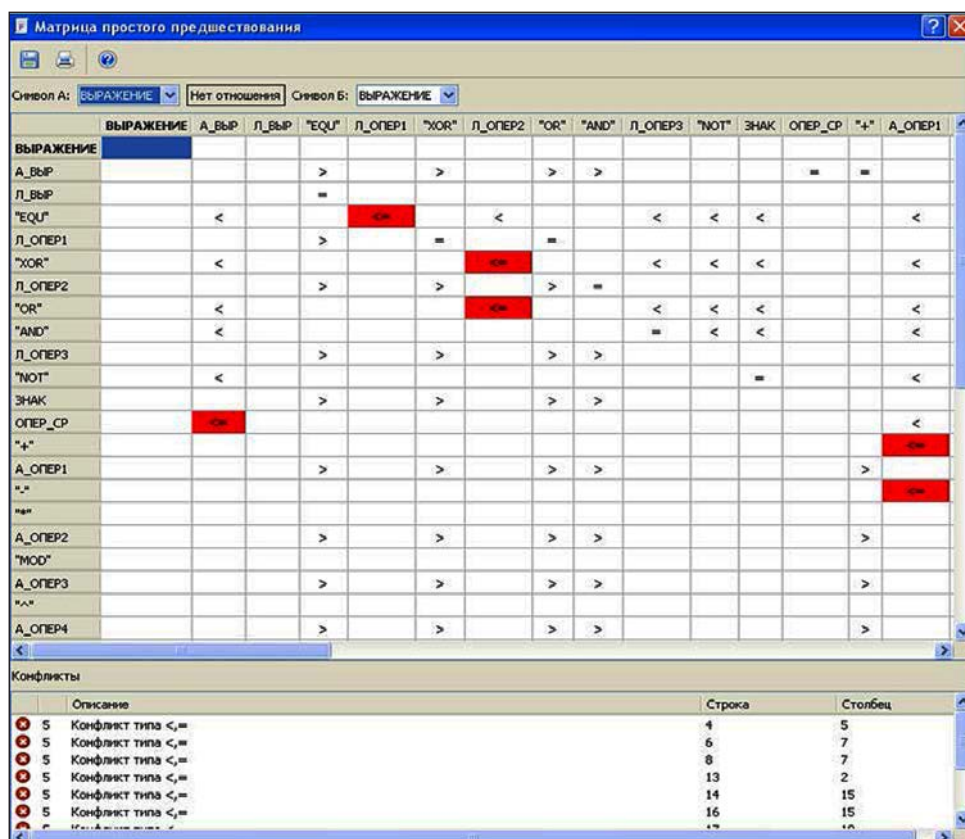


Рис. 2. Вікно з матрицею передування

вікна. Кнопка «Предупреждения» попереджає про дублювання термінальних символів у правих частинах правил. Вибір відповідної команди або натискання піктограми дозволяє відобразити побудовану матрицю передування. На рисунку 2 показана матриця простого передування для вказаної граматики.

Вікно матриці простого передування дозволяє зручно переглядати відношення між парами символів. Якщо граMATика має велику кількість термінальних і нетермінальних символів, то відношення між ними краще переглядати за допомогою двох списків «Символ А» і «Символ Б». Відповідна комірка матриці буде підсвічена, а саме відношення буде показано між списками, що випадають. У вікні також можна переглянути список конфліктів, що є неприпустимими. Вибір елемента зі списку конфліктів підсвітить відповідну комірку в матриці. Матрицю можна зберегти у форматі HTML та роздрукувати.

**Висновки.** У роботі проведено огляд етапів процесу трансляції та визначено вимоги до них; формалізовано склад атрибутів якості для лексичного та синтаксичного етапів розробки трансляторів; виконано аналіз атрибутів якості формальних граматики та мов; побудовано модель атрибутів якості формальних граматики та мов з використанням логіки предикатів з визначенням вимог до словника граматики, лексем, правил та систем правил. Розроблено методику з побудови граматики, що містить рекомендації користувачеві та механізми перевірки коректності побудованої граматики.

Наведений підхід реалізовано при проектуванні програмної системи для аналізу та оцінювання атрибутів якості формальних граматики та мов. Застосування розробленої моделі якості на базі логіки предикатів дозволило виявляти та деталізувати приблизно 78% всіх помилок при створенні граматики.

**Список літератури:**

1. Safonov V.O. Trustworthy Compilers. *Wiley Interscience. John Wiley & Sons.* 2010. 320 p.
2. Левушкин А.В., Турчанинов М.К., Жиганов А.А., Ермолаева В.В. Основные современные языки программирования. *Молодой ученый.* 2018. № 25. С. 96–98.



3. ANTLR [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <https://www.antlr.org/>, режим з екрану. Активне посилання – 12.11.2019.
4. Bison – GNU Project [Електронний ресурс] Режим доступу: URL: <http://www.gnu.org/software/bison/>, режим з екрану. Активне посилання – 12.11.2019.
5. Keith D. Cooper, Linda Torczon. Engineering a compiler. *Rice University, Houston, Texas*. 2012. 787 p.
6. Ахо А., Сети Р., Лам М., Ульман Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий. ООО «Вильямс». 2008. 1184 с.
7. Соколов А.П. Системы программирования: теория, методы, алгоритмы. *Финансы и статистика*. 2014. 330 с.
8. Хопкрофт Д., Мотвани Р., Ульман Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. ООО «Вильямс». 2012. 528 с.
9. Сельнев П.Б. Разработка интерпретаторов и компиляторов. Использование Bison, Ясс, Zubr. ООО Преміум-СБ. 2011. 314 с.
10. Meduna I. Elements of Compiler Design. *CRC Press*. 2017. 119 p.
11. Lewis P. M. Compiler Design Theory. *Addison-Wesley*. 2006. 423 p.
12. Komleva N.O., Popov S.S. Quality attributes of formal grammars and languages in translator engineering. *XII Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні технології і автоматизація»*. 2019. С. 110–112.
13. Komleva N.O. Some aspects of analyzing and diagnosing complex systems. *International Multidisciplinary Conference «Science and Technology of the Present Time: Priority Development Directions of Ukraine and Poland»*. Wolomin: Izdevnieciba «Baltija Publishing». 2018. V. 3. P. 106–109.
14. Komleva N.O. Comparative characteristics of the Metrics Project Design Tools. *Abstracts of the XII International Conference «Modern information and communication technologies on a transport, in industry and education»*. Dnipro. 2018. P. 147.
15. Крисилов В.А., Комлевая Н.О. Анализ и оценка компетентности источников информации в задачах интеллектуальной обработки данных. *Международная научно-практическая конференция «Электротехнические и компьютерные системы: теория и практика» ELTECS-2019. Problemele energeticii regionale*. Вып. 1–1 (40). 2019. С. 91–104.

#### **Komleva N.O., Zinovatna S.L., Marulin S.U., Onishchenko T.V. CONSTRUCTION OF MODEL OF QUALITY ATTRIBUTES FOR FORMAL GRAMMARS AND PROGRAMMING LANGUAGES**

*Works in the field of translation theory can be both commercial and research in nature, and require solving a number of problems. One problem is the need to develop a translator that allows you to translate a program written in a high-level language into a machine language. This requires a clear understanding of the principles of operation of each stage of the translator: lexical analysis, parsing, semantic analysis, optimization, code generation. Another problem related to programming language is the problem of solving a non-trivial task of programming language syntax.*

*Traditionally, context-free grammar is used to describe language syntax, in which most of the rules designed to describe syntactic structure can be formalized. The aim of the work is to improve the quality of the process of developing formal grammars and languages by formalizing the set of quality attributes and using them in the development of own translators or their separate blocks. To achieve this aim, the following tasks were solved: a review of the stages of the translation process was carried out and requirements for them were determined; the composition of quality attributes for the lexical and syntactic stages of translator development is formalized; the quality attributes of formal grammars and languages were analyzed; a model of quality attributes of formal grammars and languages which included requirements for grammar, lexemes, rules and rule systems was constructed using predicate logic.*

*The methodology for grammar construction and the appropriate software system, that allow the user to construct formal grammars and analyze the results of their construction, have been developed. The software system evaluates the quality attributes according to the formalized quality model and gives feedback to the user. Using of the program allowed identifying and detailing about 78% of all errors during creating grammars.*

**Key words:** quality attributes, model building, formal grammar, translator, programming language.

**Кострикiна Д.А.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РІВНЯ ДОСТУПНОСТІ ВЕБ-ДОДАТКІВ

*Мобільні пристрої стали основним методом спілкування та пошуку інформації для людей у сучасному світі. Для значного відсотка людей, які живуть з обмеженими можливостями, важливо, щоб ці пристрої та програмне забезпечення, були доступними у використанні для всіх. Хоча існують стандарти для забезпечення доступності в інтернеті, для вітчизняних мобільних додатків досить рідко застосовуються будь-які з них. На сьогодні розробники поступаються доступністю задля збільшення функціональності додатків, які у своїй більшості орієнтовані на користувачів, що не мають фізичних обмежень. Такий компроміс не повинен існувати, але в частіше за все він викликаний нестачею ресурсів та програмних інструментів, які доступні розробникам. Для людей з обмеженими можливостями, такими як проблеми зі слухом, зором, руховими навичками і когнітивними процесами, використання смартфонів може бути складним завданням. Слідуючи рекомендаціям щодо забезпечення доступності і розробці додатків з урахуванням цих груп користувачів, додатки можна модифікувати, щоб зробити їх більш доступними. Проте, хоча мобільні додатки в основному охоплюються тими ж стандартами доступності, що і веб-додатки, форм-фактор і методи взаємодії, використовувані мобільними пристроями, створюють нові проблеми, які розробники повинні вирішувати під час розробки.*

*У цій статті буде детально описано поточний стан сфери доступності мобільних додатків та ресурси, які допомагають розробникам та дизайнерам реалізовувати доступні веб-додатки, проаналізовано основні недоліки існуючих рішень та приведено етапи й вимоги до розроблюваної системи тестування доступності. Також буде описано проблему розповсюдження таких інструментів та впровадження таких інструментів розробки на сучасні мобільні додатки. Загалом стаття повинна розкрити необхідність створення програмного забезпечення для тестування доступності з відкритим кодом.*

**Ключові слова:** веб-додатки, доступність, тестування, алгоритм, користувацький інтерфейс.

**Постановка проблеми.** Насамперед люди з обмеженими можливостями обмежені у свої взаємодії з комп'ютерами та мобільними пристроями в цілому. Для того, щоб забезпечити безперешкодне використання пристрої та програмного забезпечення людям з різними вадами, усі додатки мають бути «доступними». Доступність програмного забезпечення передбачає реалізацію конкретних функцій, які допомагають людям у використанні технологій, що часто призводить до поліпшення зручності використання для всіх користувачів, у тому числі людей з обмеженими можливостями. Відповідно до статистичними даними Благодійного фонду допомоги інвалідам України за 2013 рік, 2,8 мільйона українців (6,1% населення України) мають певний тип інвалідності, за оцінками, у 1,3 мільйона (%) діагностували важку інвалідність [1]. Google, використовуючи дані та CDC Ukraine [2], виявив, що Україні є країною з найменшою кількістю людей з обмеженими можливостями в Європі (3,3% мають проблеми із зором та 0,7% людей з проблемами зі слухом), але не зважаючи на це Україна має одні з найменших показників «без бар'єрного середовища»: мега-

поліси мало забезпечені спеціальними світлофорами для людей з порушеннями зору чи / та слуху, не всі підземні переходи мають ескалатори для інвалідів, що вже казати про мобільні пристрої. З огляду на поширеність мобільних технологій та смартфонів у сучасному суспільстві, можна зробити висновок, що доступність цих пристроїв має першорядне значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробники дотримуються Рекомендації щодо забезпечення доступності веб-контенту (WCAG) 2.0 від Консорціуму Всесвітнього павутиння (W3C), щоб забезпечити широкий спектр доступних функцій в межах свого програмного забезпечення [3]. Цей стандарт робить реалізацію доступності в додатках чіткішою й більш цілеспрямованою, присвоюючи рівні доступності та критерії успіху кожній рекомендації, яку він надає. Рекомендації WCAG 2.0 були прийняті урядами та організаціями по всьому світу, щоб допомогти створити доступні веб-сайти. Однак, оскільки ці вказівки були створені для інтернету, вони недостатньо охоплюють усі аспекти мобільних додатків та інших веб-ресурсів. Робочі групи з W3C склали карту

WCAG 2.0 до мобільної екосистеми та запропонували нові рекомендації щодо сенсорних екранів, але не створили згуртованих настанов, таких як WCAG 2.0 для мобільних пристроїв. Таким чином, не існує узгодженого стандарту для створення власних мобільних додатків, доступних для інтернету.

Хоча мобільна доступність надзвичайно важлива, інструментів і середовищ тестування для розробки доступних додатків по суті не вистачає. Підручники і керівництва фрагментовані, бібліотеки для доступної розробки складні у використанні, а тестування доступності в реальних умовах практично відсутня. Оскільки бар'єр для входу занадто високий, розробники часто уникають завдання щодо забезпечення доступності додатків. Час і знання, необхідні для створення доступного додатку, є стримуючим фактором для більшості розробників додатків. Більш того, багато інфраструктури тестування спеціальних можливостей пов'язані з проблемами статичної доступності (проблемами зі статичними знітками екранів додатків, такими як колірні контрасти і мітки програм читання з екрану), а також з проблемами динамічної доступності (проблемами з динамічним поведінкою додатку, такими як навігація) і відповідь користувача звертаються рідше.

Було проведено мало досліджень по розробці інструментів тестування доступності, за винятком формалізації різних вимог до дизайну мобільного додатка, які повинні бути доступні для користувачів з різними обмеженнями [4, с. 384–389]. Що стосується бібліотек і структур, які розробники використовують для тестування доступних додатків, то функціональність низькорівневого і простого тестування забезпечується операційною системою Android, а деякі інструменти, такі як Google Accessibility Scanner, забезпечують тестування проблем статичної доступності. Однак ці інструменти складні у використанні, часто не універсальні для обробки певних типів додатків і не виявляють багато проблем доступності, які існують у додатках.

**Постановка завдання.** Розробити середу для тестування динамічної та статичної доступності на мобільних пристроях в цілому, яка визначала б зміни в контексті виключно за допомогою інформації про користувальницький інтерфейс, а також матиме автоматичну навігацію по додатку практично без участі розробника. Середина матиме алгоритм автоматичної генерації і скорочення простору станів призначеного для користувача інтерфейсу в контексті конкретного аналізу та

процес тестування проблем динамічної доступності, таких як клавіатурна навігація і спонтанні зміни в контексті програми, шляхом створення кінцевого автомата, що представляє додаток.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Коли компанія або фізична особа створює додаток, який використовуватимуть споживачі на мобільних пристроях, зазвичай існують два шляхи: вони можуть створити веб-сайт, який працюватиме на мобільних інтерфейсах, або вони можуть створити власний мобільний додаток. Мобільний додаток – це додаток, розроблений для певної мобільної платформи, найчастіше за допомогою інструментів, наданих засновниками цієї платформи. Наприклад, акт створення нативної програми для Android досягається за допомогою використання Android Studio [5]. Створення власних мобільних додатків важливо тим, що засоби розробки, що надаються потрібною мобільною платформою, зазвичай більше підходять для використання на цьому пристрої, ніж інструменти, доступні під час, скажімо, розробки веб-додатку, побудованого для телефону з використанням такої сервісу, як PhoneGap [6]. Оскільки до програми додаються більш складні функції, включаючи функції доступності, стає важче реалізувати програмне забезпечення для мобільної платформи, використовуючи лише веб-технології та універсальні платформи мобільного розвитку. Тому мобільний розвиток, порівняно з мобільним Інтернетом або гібридним розвитком, є переважачим у виборі розробки [7]. Компанії, що розробляють мобільні операційні системи, такі як Apple, Google та Microsoft, взяли під контроль власну мобільну доступність, побудувавши власні функції доступу до своїх мобільних операційних систем [8]. Незважаючи на те, що вони відрізняються на кожній платформі, ці вбудовані функції доступності в кінцевому підсумку сприяли створенню екосистеми мобільних додатків в цілому до більш інклюзивного середовища для людей з обмеженими можливостями. Кожна з цих операційних систем пропонує API та інструменти для реалізації доступних функцій

Одним із ключових кроків розробки доступного мобільного додатку є пошук стандарту для оцінки доступності вашої програми. Стандарт або настанова доступності допомагає розробнику, пояснюючи, як зробити певні компоненти доступними для користувача інвалідної групи. Сьогодні існує багато стандартів та загальних посібників для створення доступного програмного забезпечення.

Перший, найвідоміший із них, це WCAG 2.0. Ініціатива W3C щодо доступу до Інтернету (WAI) є провідною силою щодо поліпшення доступності всесвітньої мережі Інтернет для людей з обмеженими можливостями. Різні робочі групи, що складаються з провідних фахівців галузі та дослідників, створюють керівні принципи, технічні звіти, навчальні матеріали та інші документи, пов'язані з різними аспектами доступності в Інтернеті, наприклад, Правилами доступності веб-вмісту (WCAG 2.0). WCAG 2.0 – це документ, спрямований на надання рекомендацій та порад щодо впровадження доступного веб-контенту, будь то зображення, текст, відео та звук. Він має 12 керівних принципів, розбитих на 4 ключові (сприйнятливий, функціонуючий, зрозумілий та надійний), кожен з яких відрізняється рівнем критеріїв успіху (А, АА та ААА). Загалом цей документ стверджує, що чим доступнішими розробник робитиме кожен компонент програми, тим вище рівень критеріїв успіху [9].

Крім WCAG 2.0, існують й інші стандарти та вказівки, які містять поради та правила для створення доступних веб-сайтів, програмного забезпечення та програм. Наприклад, у документах із рекомендаціями щодо доступності агента користувача (UAAG) пояснюється, як зробити доступними агенти користувачів. Користувацькі агенти включають веб-переглядачі, розширення браузера, медіаплеєри, читачі та інші додатки, включаючи нативні мобільні додатки. Інший стандарт, ISO 9241, частина 171, говорить про доступність програмного забезпечення, використовуючи WCAG 2.0 в якості основи, але вивчаємо набагато більше деталей для не-веб-контенту. Європейські стандарти доступності, EN 301-549, містять вказівки щодо доступності, які є окремими для веб-документів. Незважаючи на те, що вона позичається значно у WCAG 2.0, EN 301-549 ефективно вимагає, щоб мобільні операційні системи мали API доступу. Він також заохочує розробників додатків підтримувати цей API, інакше розробник повинен відповідати довгим списком інших спеціальних функцій доступності. Крім того, приватні компанії, такі як IBM та BBC [10], мають власні стандарти доступу до програмного забезпечення, що не належить до Інтернету.

Через проблеми, пов'язані з адаптацією існуючих стандартів до рідного простору мобільної доступності, були сформовані робочі групи та доручено створити нові стандарти, які змінюють або адаптують існуючі вказівки до цього нового ландшафту. Наприклад, Робоча група W3C з

Настанов щодо доступності (AGWG), створена в грудні 2016 року, готувала узагальнену та розширену версію WCAG 2.0. За інформацією AGWG, «мета проекту» полягає в тому, щоб провести істотну редакцію стандарту WCAG та в рамках оновлення включити вимоги до користувацьких агентів та інструментів для створення авторських прав за необхідності.

Також Альянс з якості додатків (AQuA) розробив набір критеріїв тестування доступності для власних мобільних додатків для кожної мобільної операційної системи. Їх вказівки призначені для використання у перевірці доступності програми для користувачів із порушеннями в одній або декількох категоріях зору, сприйняття кольорів, слуху, мови, спритності та пізнання.

Мобільні додатки програмуються на різних мовах і вкрай залежать від мобільних рамок, що надаються їх хост-операційними системами. Дві основні мобільні операційні системи, iOS та Android, надають API доступності, які дозволяють розробникам отримувати доступ до вбудованих функцій доступності.

Існує три типи підтримки доступності, яку може надати власний розробник мобільних пристроїв у своєму додатку:

1) Основна підтримка доступності Екранні лупи, більший текст, відтінки сірого та підписи медіа.

2) Розширена підтримка доступності Це спеціальні функції, які в основному стосуються екранної навігації та презентації вмісту, як-то зчитувачі екрана та корекція кольорів.

3) Допоміжне обладнання. Сюди входять такі пристрої, як оновлені дисплеї, комутатори, ТТУ та слухові пристрої.

Кожна операційна система містить основні функції загальної системної доступності, які можна налаштувати користувачем, при цьому декілька розширених функцій, які можна знайти як в iOS, так і в Android. Замість того, щоб створювати функції доступності з нуля, розробники можуть написати кілька рядків коду, щоб змусити їх спеціально налаштовані компоненти працювати зі службами доступності та функціями в мобільній операційній системі. Поки розробники належним чином використовують ці API, їх програма буде певною мірою «доступною», що може призвести до збільшення активних користувачів. Крім того, розробники можуть створювати спеціальні функції доступності для своїх додатків. Насправді багато додатків створені спеціально для допомоги та покращення можливостей корис-



тувачів з обмеженими можливостями і часто є функціями в певних частинах магазинів додатків. Так Apple і Google мають спеціальні команди з питань доступності, які постійно розробляють функції для своїх мобільних платформ.

iPhone, випущений у 2007 році, не містив функцій доступності; сліпі люди думали, що використовувати повністю пристрій з сенсорним екраном неможливо. Apple вперше представила функції доступності в червні 2009 року за допомогою iOS 3 (тоді її називали iPhone OS 3) та впровадження VoiceOver, першого зчитувача екрана на основі жестів, побудованого на запозиченій платформі Mac [11]. Також провідною розробкою є Assistive Touch – плаваюча екранна кнопка, яка при торканні відкриває палітру параметрів управління телефоном, включаючи фізичні елементи керування, проведіть пальцем та фізичні жести та швидкі ярлики до налаштувань та додатків, включаючи Siri. Найкраще, що Assistive Touch можна налаштувати, щоб надати користувачам ефективні засоби навігації до потрібних місць на своєму телефоні та встановити власні заміни жєстами. Ще однією чудовою інноваційною функцією є Touch Accomodations, яка випущена в iOS 9. Touch Accomodations, щоб надати користувачам, які мають тремтіння рук, можливість ефективно використовувати сенсорний екран, не викликаючи занадто багато помилок та реєструючи небажані дотики. Коли користувач вибирає компонент, під їх пальцем за допомогою таймера з'являється невеликий кружечок. Якщо користувач утримує на екрані весь проміжок часу, натискання реєструється.

Розробники Apple мають декілька інструментів для перевірки доступності своїх додатків. Вбудований у Xcode – інспектор доступності, який робить тестування доступності інтерактивним. Інспектор – це вікно робочого столу, яке показує всі властивості та значення, способи (дії, які можуть відбуватися з елементів на екрані) та положення об'єкта, який наразі обраний на екрані. Тестери можуть виконувати дії через інспектора замість того, щоб виконувати жест за допомогою миші або асистентної технології.

Android від Google широко розповсюджений у 2009 році (v1.5 Cupcake) і на той час не пропонував жодних функцій доступності [12]. З тих пір Android став міцною базою функцій доступності. Android містить спеціальний розділ у Налаштуваннях під назвою «Доступність», який дозволяє користувачам контролювати параметри доступності для операційної системи в цілому. Станом

на користувачів Android v7.1.2 дозволяється знаходити, переглядати або чути інформацію на екрані, дозволяючи TalkBack, BrailleBack, контрастні та кольорові параметри, підписи, збільшення та розмір шрифту чи дисплея. Крім того, вбудовані налаштування доступності дозволяють користувачам активувати голосовий доступ, що дозволяє користувачеві зробити вхід, використовуючи голос або зовнішній пристрій [13].

Заздалегідь встановлений Android-вбудований зчитувач екрану – це TalkBack, який взаємодіє з макетами, щоб надати корисну інформацію користувачеві щодо інформації на екрані. Для використання цієї функції до компонентів інтерфейсу користувача можна додавати описи вмісту або теги для представлень та об'єктів в елементах інтерфейсу користувача Android під час розробки або під час виконання. Ці описи вмісту TalkBack можуть бути зчитані за допомогою аудіо через динаміки або гарнітуру. Надаючи ці описи, TalkBack може передати користувачеві інформацію про орієнтовані на даний момент погляди, інформацію в частині тексту та навігаційну інформацію. Крім простого вимовлення цих тегів вголос, опис вмісту на зображеннях також використовується функцією підписів Android, яка розміщує підписи до зображень для розширеного пояснення зображення [14].

Крім TalkBack, BrailleBack та подібних функцій, ще одна методика, яку розробники використовують для забезпечення доступності в своїх додатках, – це створення AccessibilityService та AccessibilityEvent. Ці об'єкти дозволяють розробникам створювати сервіси, які можуть слухати певні події на пристрої та виконувати дії, реагуючи на ці події. Наприклад, подія в інтерфейсі користувача може запустити службу доступності для зміни розміру або кольору шрифту в програмі. Однак, хоча цей API корисний тим, що дозволяє розробникам створювати більші та більш досконалі сервіси доступності, додатки, що реалізують AccessibilityService, містять відставання в користувацькому інтерфейсі, що було послідовним у кількох випусках. Окрім стандартного інтерфейсу, пристрою потрібно передавати велику кількість даних службі AccessibilityService, щоб правильно реагувати на введення користувача [15].

Колекція посібників, навчальних посібників та документації щодо впровадження доступності в додатки для Android досить велика. Android має сайт, присвячений цим урокам, який охоплює уроки зручності використання матеріального

дизайну аж до конкретних технічних реалізацій користувацьких доступних представлень. Одним із найкорисніших розділів цього веб-сайту є контрольний список розробників доступності, який надає перелік завдань та ідей, які слід враховувати, оскільки розробник розробляє та буде їх застосування [16].

Проаналізувавши сучасний стан сфера доступності мобільних додатків для створення доступних власних мобільних додатків, було виявлено, що наявні інструменти, доступні розробникам, недостатньо і їх можна вдосконалити. Хоча кількість доступних функцій, включених у мобільну операційну систему, таких як iOS, Android та Windows, збільшується, розробники все ще втрачають у наданні доступних функцій в самих додатках. Найбільш корисні інструменти, доступні розробникам, це не програмне забезпечення, а підручники та керівництва, знайдені в інтернеті, які можна використовувати для створення доступного додатку. Однак можна стверджувати, що, хоча вони дають гарний старт для створення доступних додатків, вони також можуть бути дорогими, ексклюзивними та неповними. Крім того, значна кількість різних джерел для цих посібників ускладнює вибір правильного навчального посібника, що спричиняє фрагментарний простір керівних принципів та пропозицій щодо доступності.

Створення доступних додатків гарантує, що додатки функціонують, сприймаються та зрозумілі всім користувачам. Для досягнення цього сьогодні розробники повинні знайти баланс між функціональністю та естетичним дизайном своїх мобільних додатків. Крім того, програми повинні використовувати належну мову для спілкування з користувачами.

**Висновки.** Доступність для рідних мобільних додатків є важливою темою, оскільки це морально і законно потрібно робити. У процесі розробки доступних мобільних додатків розробники в даний час стикаються з перешкодами, такими як неможливість адаптувати раніше існуючі вказівки до їхніх проектів, використовуючи неповні та недостатньо бібліотеки для надання функцій, і складний час вибору, які підручники та посібники слід виконувати під час розвитку. Доступність для рідних мобільних додатків займалася багатьма компаніями та групами, але це призвело до безлічі вказівок, які є непосильними та все ще неповними. Компанії з мобільними платформами мають вбудовані функції доступності в свої операційні системи, але потрібно зробити більше, щоб переконати розробників у включенні доступності у свої програми.

Можна сказати, що перед сучасними розробниками постає проблема створення універсального інструменту для впровадження, а головне – тестування доступності створюваних ними додатків, яка б тестувала як статичні, так і динамічні проблеми доступності, і яку можна легко розширити для обробки інших вимог щодо доступності, які покладаються на статичні або динамічні дані про програму. Крім того, важливим є надання простого, але інформативного інтерфейсу для тестування, який би не вимагав від розробника специфічних навичок чи знань. Відстеження динамічного стану програми у часі у відповідь на введення користувача неймовірно корисно для широкого спектру проблем із доступністю. Існуючі рамки тестування доступності, у яких немає такої інформації, лише оцінюють доступність одного екрана за один раз і не охоплюють багато сценаріїв, де можлива доступність.

#### Список літератури:

1. Статистика інвалідизації в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrhelp.net/en/statistika-invalidizatsii-v-ukraine.html>.
2. Golyk V. Assessment of national disability, health and rehabilitation system in Ukraine. Reflections disability and rehabilitation subcluster meeting, March 11, 2016 / V. Golyk, O. Syvak // Український вісник медико-соціальної експертизи. 2016. № 1. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ujmse\\_2016\\_1\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ujmse_2016_1_9).
3. Caldwell B., M. Cooper M., Reid L. G. Web content accessibility guidelines (wcag) 2.0 : WWW Consortium (W3C), 2008.
4. Macedo J., Gouveia T., Florentin F. Usability requirements for mobile accessibility: a study on the vision impairment. 14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia (MUM'15): The OX Association for Computing Machinery, ACM. New York, NY, USA, 2015.
5. Android studio the official ide for android. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://developer.android.com/studio/index.html>.
6. Native vs hybrid / phonegap app development comparison. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.comentum.com/phonegap-vs-native-app-development.html>.
7. You're using phonegap for all the wrong reasons. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://readwrite.com/2015/06/24/phonegap-apache-cordova-cross-platform-tools/>.

8. An introduction to native mobile accessibility – featuring deque university for ios/android [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.deque.com/blog/introduction-native-mobile-accessibility-featuring-deque-university-iosandroid/>.
9. Web Content Accessibility Guidelines 2.0, W3C World Wide Web Consortium Recommendation 11 December 2008, Success Criteria 1.1.1, 1.4.3, 1.4.6, 2.1.1, 2.4.6, 2.5.5, 3.1.5, 3.2.1, 3.2.5. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/Accessed Dec 29, 2018>.
10. Mobile Navigation Guidelines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.funka.com/en/our-assignments/research-projects/archive---research-projects/mobile-navigation-guidelines/>.
11. 5 years of voiceover: Look how far we've come [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.applevis.com/blog/advocacy-apple-assistive-technology-ios-iphone-news/5-years-voiceover-look-how-far-weve-come>.
12. A brief history of android accessibility [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://accessibleandroid.wordpress.com/2013/08/02/a-brief-history-of-android-accessibility/>.
13. Android accessibility overview – android accessibility help [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.google.com/accessibility/android/answer/6006564?hl=en>.
14. Captions – android accessibility help [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.google.com/accessibility/android/answer/6006554?hl=en>.
15. Working as intended [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.xda-developers.com/working-as-intended-an-exploration-into-androids-accessibility-lag/>.
16. Testing your app's accessibility [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developer.android.com/training/accessibility/testing.html>.

#### **Kostrykina D.A. ANALYSIS OF THE CURRENT ACCESSIBILITY LEVEL OF WEB APPLICATIONS**

*Mobile devices have become the main method of communication and information search for people in the modern world. A large percentage of people living with disabilities, it is important that these devices and software are accessible to use for all. Although standards exist to ensure accessibility on the Internet, any of them is rarely used for domestic mobile applications. Today, developers are inferior to accessibility to increase the functionality of applications, which for the most part are aimed at users who do not have physical restrictions. Such a compromise should not exist, but most often it is caused by a lack of resources and software tools that are available to developers. For people with disabilities, such as hearing, vision, motor skills, and cognitive problems, using smartphones can be challenging.*

*Following the recommendations for accessibility and application development based on these user groups, applications can be modified to make them more accessible. However, while mobile applications are largely covered by the same accessibility standards as web applications, the form factor and interaction methods used by mobile devices create new problems that developers must solve during development. This article will describe in detail the current state of the sphere of accessibility of mobile applications and resources that help developers and designers to implement affordable web applications, analyze the main disadvantages of existing solutions and provide steps and requirements for the developed accessibility testing system.*

*Also discuss the problem prevalent of such tools, and will answer the questions of the introduction of such development tools on modern mobile applications. In general, the article should reveal the need for open source accessibility testing software.*

**Key words:** *web applications, accessibility, testing, algorithm, user interface.*

**Коцун В.І.**

ПВНЗ «Європейський університет»

## ВЕБ-СЕРВІС ПОШУКУ ЗНАЙДЕНИХ ТА ЗАГУБЛЕНИХ РЕЧЕЙ «БЮРО ЗНАХІДОК»

*У статті розглядається реалізація веб-сервісу пошуку знайдених та загублених речей. Веб-сервіс розроблено використовуючи скриптову мову програмування PHP, фреймворк Symfony, мову JavaScript та її бібліотеку jQuery, технологію Ajax, а також розмітки HTML та таблиць стилів CSS.*

*В сучасному соціумі важко уявити собі людину без стандартного набору персональних речей, таких як ключі, телефон, гаманець, кишенькові гроші тощо, але в шаленому ритмі життя є велика вірогідність загубити важливий предмет. В більшості випадків невеликі, важливі предмети, такі як ключі, телефон, паспорт, гаманець та інші, знаходяться, але все ж таки буває, що доводиться використовувати допомогу різних сервісів, служб для допомоги в пошуку важливих речей. До таких служб відносяться бюро знахідок, дошки оголошень, ломбарди, сповіщення по радіо, телебаченню тощо.*

*Проаналізовано існуючі сервіси пошуку знайдених і загублених речей та показано їх основні переваги і недоліки. Наведено основні фактори необхідності реалізації веб-сервісу пошуку знайдених та загублених речей. Обґрунтовано доцільність використання мови програмування PHP, як однієї з найпоширеніших мов, що використовується у сфері веб-розробки, для розробки системи, яка має відповідати всім поставленим вимогам.*

*У роботі реалізована можливість створення заявки про знайдену або загублену річ, перегляду вже існуючих заявок, зв'язку з користувачами, які подали заявки, авторизації через соціальну мережу Facebook, модерування заявок, використання карти для вказування місця знайденого, або загубленого предмету, отримання статистики стосовно створених заявок.*

*Показано, що завданням створеної системи є зменшення навантаження на органи муніципальної влади у роботі з предметами, які надходять до бюро знахідок, та створення веб-сервісу, який би був універсальний для всього світу.*

**Ключові слова:** веб-сервіс, бюро знахідок, програмування, фреймворк, JavaScript.

**Постановка проблеми.** В сучасному соціумі важко уявити собі людину без стандартного набору персональних речей, таких як ключі, телефон, гаманець, кишенькові гроші тощо, але в шаленому ритмі життя є велика вірогідність загубити важливий предмет. Для того, щоб зменшити вірогідність втрати таких речей, людина винайшла величезну кількість допоміжних заходів, наприклад, для телефону – кобуру на пояс, для ключів – ланцюжок до ремня штанів і так далі, але в результаті речі все-одно губляться через необережність чи через погану пам'ять. Це здебільшого невеликі, важливі предмети, такі як ключі, телефон, паспорт, гаманець та інші. Переважно вони знаходяться, але все ж буває, що доводиться використовувати допомогу різних сервісів, служб для допомоги в пошуку важливих речей. До таких служб відносяться бюро знахідок, дошки оголошень, ломбарди, сповіщення по радіо, телебаченню тощо.

Середньостатистично власники загублених речей звертаються тільки за 15% всіх знахідок, тобто про 85% речей люди не пам'ятають або не

хочуть їх забирати, тому виникає потреба в розробці сервісу, який допоможе людям знаходити свої загублені речі максимально зручно і просто.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У світі існує величезна кількість сервісів та їх аналогів, які успішно використовуються для пошуку речей. Мабуть, у кожній країні є бюро знахідок і більшість з них підпорядковуються державній структурі. Також існують різні служби, які закріплені за місцями з великим скупченням людей: аеропортами, готелями, автостоянками, залізничними вокзалами та ін.

Одним із найпопулярніших сервісів зараз є Lost And Found.com. До його переваг можна віднести досить велику наповнену базу знайдених та загублених речей, велику кількість користувачів, функціонал для багатьох країн світу. Проте, він має ряд недоліків: старий та незручний інтерфейс, значна кількість помилок у роботі, малі шанси на знайдення загубленої речі, дуже повільний, немає соціальної складової, може бути використаний зловмисниками для отримання чужих речей [1].



Нижче наведено інші відомі сервіси, які використовуються для пошуку речей. Сервіс US Berkeley Main Lost And Found надає інформацію про знайдені речі, контактні дані та адресу пункту, де можна їх забрати. Він підпорядковується міліцейському департаменту університету Берклі в штаті Каліфорнія [2]. До переваг можна віднести простоту пошуку втрачених речей, інформаційну безпеку користувачів та постійні оновлення списків речей. Проте недоліками даного сервісу є те, що він працює локально, тобто він доступний лише для студентів університету, якому він підпорядковується, та неінформативний користувацький інтерфейс.

Простий сервіс Airport Lost and Found для пошуку загублених речей у аеропортах світу [3]. Сервіс має значну кількість переваг: приємний інтерфейс, який допомагає взаємодіяти користувачам із сервісом, велику кількість зв'язків із найбільшими аеропортами світу, особистий мобільний додаток для телефонів, які підтримують операційними системами iOS, для кожного предмету існує вичерпна інформація, також користувачі мають змогу використати прийнятну систему фільтрів за різними критеріями для пошуку власних речей. Недоліками сервісу є його вузькоспеціалізованість, а саме спеціалізація виключно на аеропортах. Також відсутня багатомовність на сайті.

ReturnMe онлайн сервіс пропонує власну продукцію для захисту своїх особистих речей – наліпку з ідентифікаційним кодом [4]. Користувач купує наліпку з унікальним кодом та клеїть її на свою річ. Потім, якщо він втрачає свою річ, то той, хто її знайде, може зайти на сайт і по коду, який був вказаний на наклейці, отримати контакти власника.

Сервіс LuckFind від українських розробників, який найбільш схожий за функціоналом до проекту, який пропонується у роботі [5]. Тут присутня можливість створювати заявки про загублені або знайдені предмети, додавати фото та опис і місце на карті. Також присутня реєстрація користувача, і для авторизованого користувача доступний функціонал зв'язку з автором заявки. Сайт є багатомовним та має пошук.

До недоліків сервісу LuckFind можна віднести відсутність авторизації через соціальну мережу Facebook, що значно спростило б цей процес для користувача. Незручний інтерфейс користувача, важко знайти перехід на розділ саме загублених або знайдених речей. Також відсутня можливість вказати на карті зону, де річ могла бути загублена,

адже люди не завжди знають точне місце втрати речі.

Сервіс VARTA1 – дошка оголошень втрачених речей міста Львова [6]. Тут окрім того, що можна додати знайдену або загублену річ, також є можливість повідомити про те, що у вас щось викрали і також присутній розділ «барахолка». Недоліками ж сервісу є незручний інтерфейс, його локальність, відсутня карта з втраченими і знайденими речима, відсутність можливості зв'язку за допомогою сайту, необхідно в описі до речі вказувати свої контактні дані.

Загальним недоліком всіх перерахованих сервісів є відсутність багатомовності, тобто кожен з сервісів відображає інформацію лише на англійській мові без підтримки інших мов. Також недоліком багатьох сервісів є орієнтованість на конкретну країну або інфраструктурну одиницю, та не зручний інтерфейс.

Оскільки кожен з цих сервісів має недоліки, розробка аналогу є актуальною, якщо врахувати недоліки конкурентів та виправити їх.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка веб-сервісу, який допоможе людям знаходити свої загублені речі максимально зручно і просто.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для створення системи, оновлення та керування інформацією про знайдені та загублені предмети потрібно обрати єдині алгоритми та технології, на базі яких будуватиметься майбутній проект, що забезпечить подільність системи на окремі частини функціоналу, модулі (модуль оголошення, модуль списків і так далі), які зменшать складність подальшої підтримки та оновлення проекту. Тому для розробки системи, яка має відповідати всім поставленим вимогам, вибрано мову програмування PHP – це одна з найпоширеніших мов, що використовується у сфері веб-розробки, підтримується переважною більшістю хостинг-провайдерів та досить низький рівень входження, що забезпечує швидке опанування мови [7].

Однією з основних переваг PHP є наявність інтерфейсів до багатьох баз даних у PHP вбудовані бібліотеки для роботи з MySQL, PostgreSQL, MongoDB. Для того, щоб система відповідала всім критеріям, в процесі розробки потрібно використати фреймворк – основна концептуальна система або структура для вирішення комплексних задач. Для проекту був вибраний фреймворк Symfony [8]. Symfony спрямований на прискорення створення та підтримки веб-застосунків, а також для уникнення витрат часу для розв'язування

тривіальних задач у розробці (наприклад, написання валідаторів форм).

Для розробки проекту було обрано клієнт-серверну. Візуальне відображення компонент системи (рис. 1).

Для більш наглядного представлення компонентів, їх фізичного знаходження та варіантів комунікації між компонентами було побудовано діаграму розгортання (рис. 2).

Перед початком розробки сервісу потрібно визначитись та розробити структуру бази даних. Це один з найважливіших кроків так як в майбутньому нормально спроектована база даних дасть змогу розширювати та поповнювати функціонал таким чином, щоб сервіс залишався стійким до навантаження.

Тому було спроектовано таку структуру бази даних із таблиць:

1) «Користувач» – для зберігання персональних даних користувачів;

2) «Категорія» буде містити категорії предметів які загубили або знайшли;

3) «Предмет» – для зберігання всієї інформації про речі.

Кожна таблиця має свою специфічну структуру даних, яка дає змогу зберегти інформацію в тому вигляді, в якому вона потрібна розробнику для виконання поставлених завдань. У базі даних використались різні зв'язки, які надали змогу структурно зв'язати дані між собою.

Для створення користувацького інтерфейсу використовується популярний CSS фреймворк Twitter Bootstrap [9] з використанням теми Yeti, в якому реалізовані стилі для розміщення та вигляду стандартних компонентів інтерфейсу. Приклад навігації у шаблоні Yeti зображений на рис. 3.

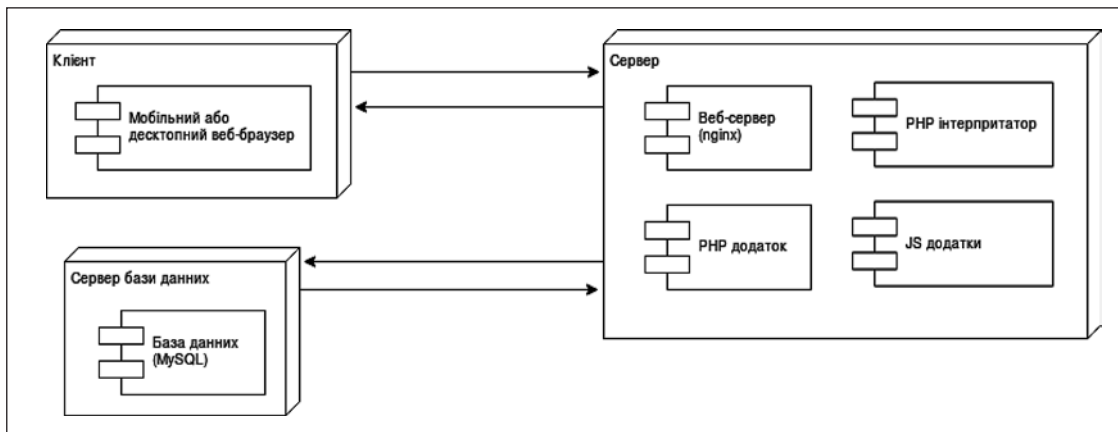


Рис. 1. Діаграма компонент веб-сервісу

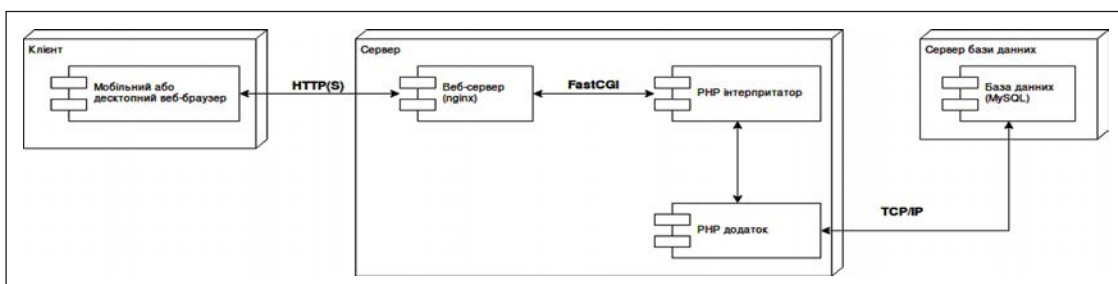


Рис. 2. Діаграма розгортання веб-сервісу



Рис. 3. Приклад навігації у шаблоні Yeti

У результаті кожна сторінка має сформовану панель навігації, яка розміщується вверху сторінки, що дає змогу швидко переключатися між головною та іншими сторінками сервісу, а також швидко авторизуватися, чи зареєструватися користувачу. Представлена на рис. 4.

Відповідно кожна сторінка має свою частину інформації, що розміщується посередині, яка представлена на рис. 5.

Для того, щоб сервіс функціонував ефективно, потрібно запрограмувати алгоритм, основним завдання якого є можливість вибору користувачем будь-якого функціоналу в межах сервісу. Для цього потрібно розробити алгоритми перегляду та додавання заявок про речі, якому передуватиме алгоритм надсилання запитів до бази даних.

Для «спілкування» з базою даних використано класи, які називаються репозиторії. Репозиторії



Рис. 4. Панель навігації сервісу

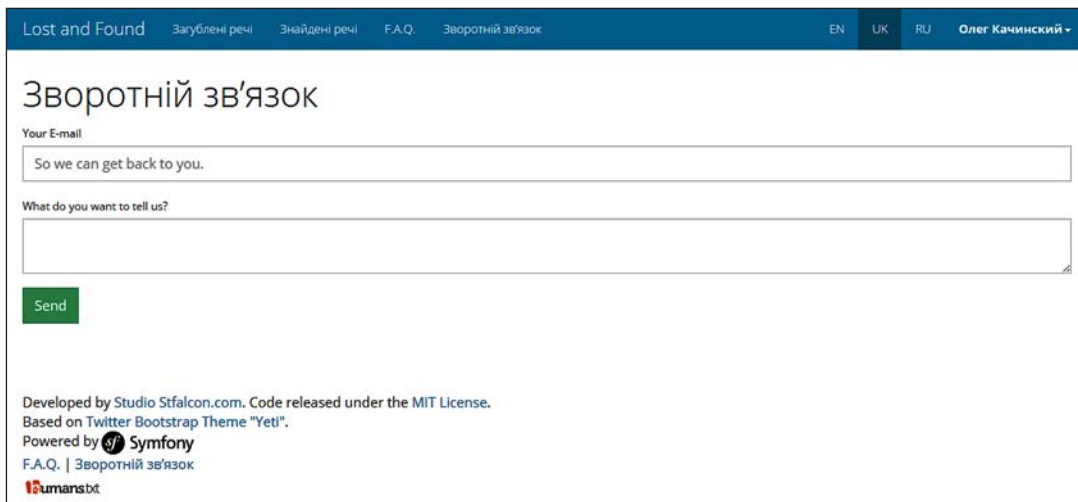


Рис. 5. Приклад сторінки зворотнього зв'язку

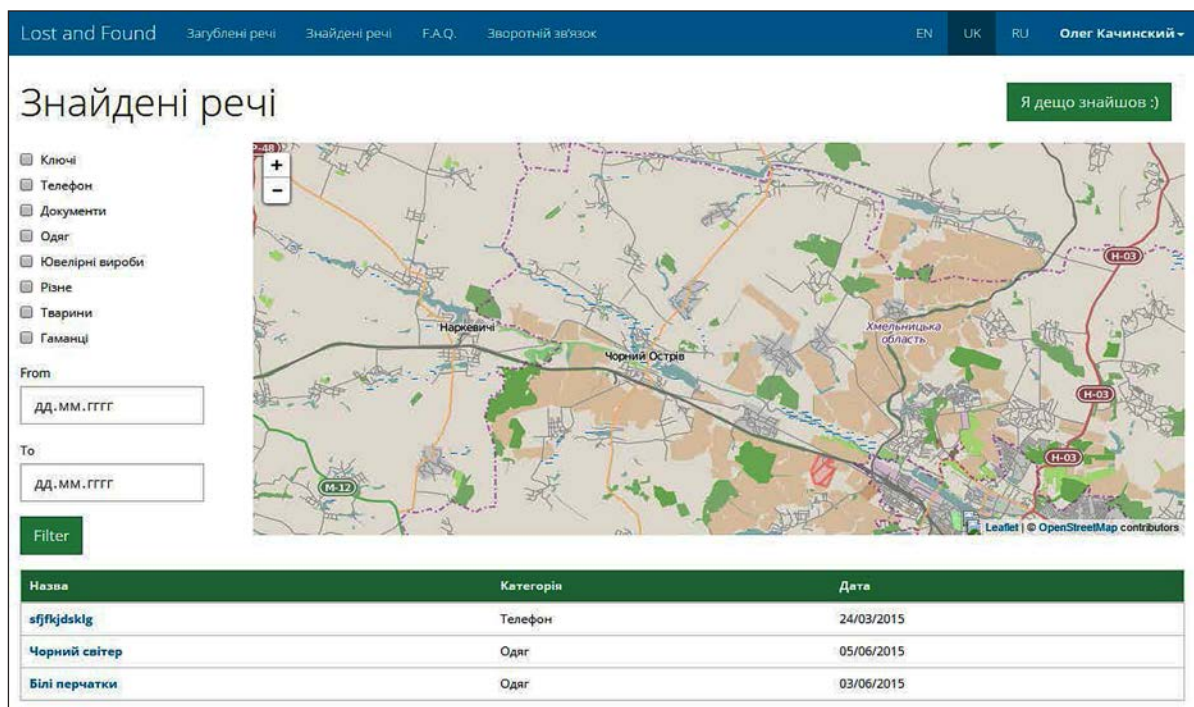


Рис. 6. Сторінка знайдених речей



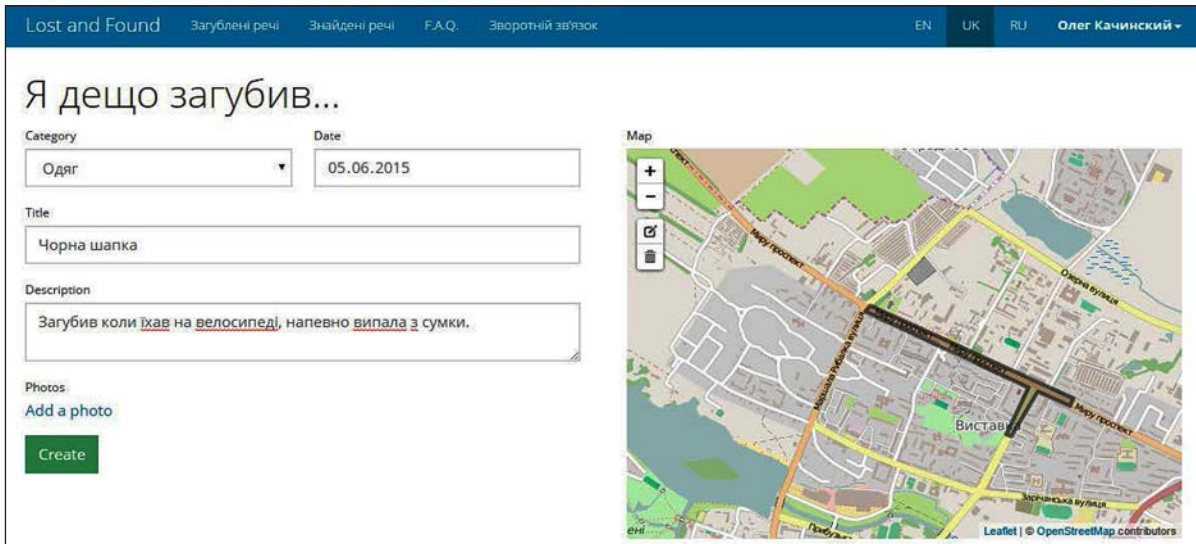


Рис. 7. Сторінка оголошення на загублену річ

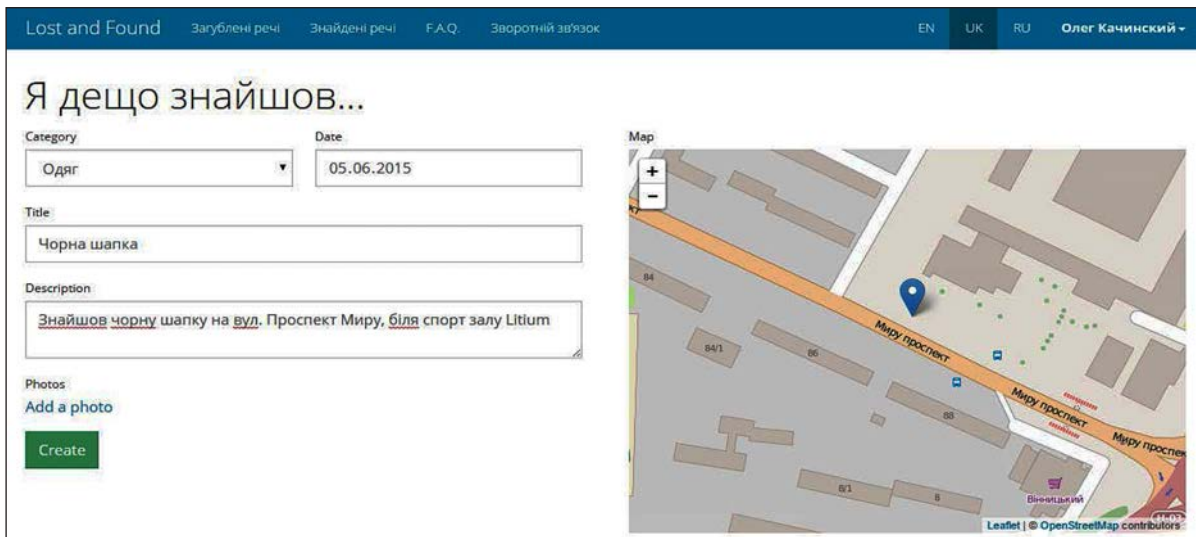


Рис. 7. Сторінка оголошення на знайдену річ

мають екземпляр класу менеджера, який керує всіма сутностями в системі. Кожний запит до бази даних відбувається з використанням вже доступних методів, які допомагають будувати запити.

Спочатку створюється екземпляр будівника запитів і далі в залежності від отриманих параметрів в методі виконується побудова запиту до бази даних. Будівник запитів має всі стандартні методи, які потрібні для побудови будь-якого запиту. Кожний елемент запиту є методом та більшість основних параметрів методи генерують самостійно завдяки цьому й досягається швидкодія побудови запитів необхідних для вибірки даних.

Перегляд предметів відбувається після того, як користувач перейде на відповідну сторінку знайдених або втрачених предметів, тобто виконується

дія, яка приймає запит користувача та дістає дані з бази. Така дія називається `foundItemsListAction` і виконується вона в контролері предметів.

Сторінку знайдених речей представлено на рис. 6.

Створення сторінки заявки відбувається за тим самим принципом, лише з використанням іншого методу.

На рис. 7 продемонстровано приклад додавання загубленої речі і вказування зони на карті.

Додавання знайденої речі із вказівкою точки на карті зображено на рис. 7

Після збереження оголошення в базі даних сервісу і валідації його адміністратором, користувачі отримують доступ до перегляду сторінки оголошення, яка зображена на рис. 8, з можливістю отримати контакти користувача, який додав ого-



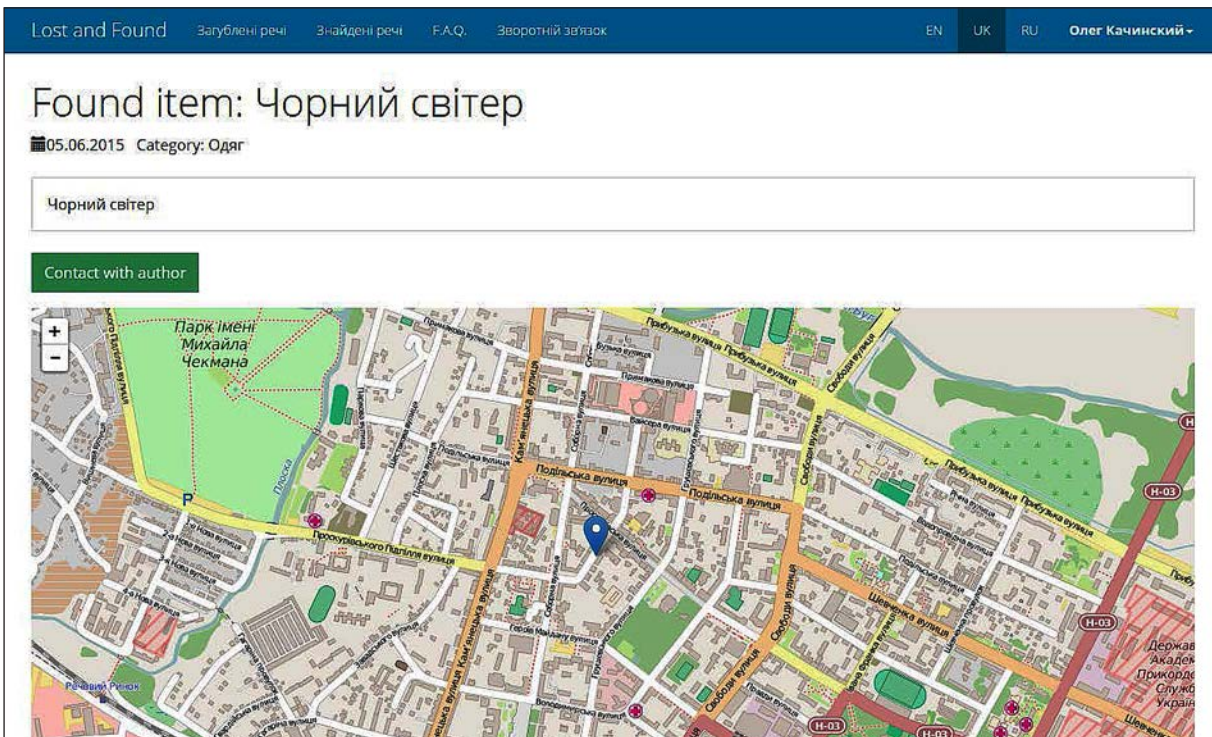


Рис. 8. Сторінка предмету

лошення (Facebook акаунт) або з можливістю відправити йому повідомлення.

Після розробки було проведено тестування сервісу, яке допомогло виявити його недоліки та помилки. Після цього помилки було виправлено та веб-сервіс ще раз був наданий для тестування кільком реальним користувачам.

**Висновки.** У результаті проведеної роботи було створено потужний веб-сервіс для надання

послуг зі зберігання оголошень про втрачені та знайдені речі, зручним переглядом вже створених оголошень з можливістю фільтрації по категоріях, можливістю зв'язатися з автором оголошення. Основним завданням створеної системи є зменшення навантаження на органи муніципальної влади у роботі з предметами, які надходять до бюро знахідок, та створення веб-сервісу, який би був універсальний для всього світу.

#### Список літератури:

1. LostAndFound.com. URL: <https://www.lostandfound.com> (дата звернення: 01.10.2019).
2. UC Barkley Main Lost And Found. URL: <http://www.lib.berkeley.edu/libraries/doe-library/lost-and-found> (дата звернення: 01.10.2019).
3. Airport lost and found. URL: <https://www.airportslostandfound.com> (дата звернення: 01.10.2019).
4. ReturnMe. URL: <https://www.return.me> (дата звернення: 01.10.2019).
5. LuckFind. URL: <https://www.luckfind.me> (дата звернення: 01.10.2019).
6. VARTA1. URL: <https://www.911.lviv.ua> (дата звернення: 01.10.2019).
7. Документація та перелік можливостей скрипкової мови PHP. URL: <http://www.php.net> (дата звернення: 01.10.2019).
8. Документація та опис можливостей фреймворку Symfony. URL: <http://www.symfony.com/doc/current/index.html> (дата звернення: 01.10.2019).
9. Bootstrap. URL: <https://www.getbootstrap.com> (дата звернення: 01.10.2019).

#### Kotsun V.I. WEB SEARCHING SERVICE FOR FOUND AND LOST THINGS “LOST-AND-FOUND OFFICE”

*The paper deals with the implementation of a web searching service for found and lost things. The web searching service was developed using PHP scripting language, Symfony framework, Javascript with jQuery library, Ajax technology, as well as HTML markup and CSS.*

*In today's society it is difficult to imagine a person without a standard set of personal belongings, such as keys, phone, wallet, pocket money, etc., but in a crazy life rhythm there is a high probability of losing an*

*important object. In most cases, small, important items such as keys, phone, passport, wallet and more are found, but it still happens that you have to use the help of various services and lost-and-found office to help you find important things. These services include finding offices, message boards, pawnshops, radio alerts, television, and more.*

*Existing search services for found and lost things and their main advantages and disadvantages are described and analyzed. The basic factors for the necessity of realization of the web search service for found and lost things are investigated. As one of the most widely used languages in web development, the PHP programming language was chosen to fulfill the developed system requirements.*

*The possibilities of creating a claim for a found or lost things, viewing existing claims, contacting the submitted applicants, authorizing through the Facebook social network, modifying applications, using a map to indicate the location of a found or lost things, obtaining statistics regarding created applications.*

*It is shown that the developed web search system's goal is to reduce the burden on municipal authorities in handling things coming to the lost-and-found offices and to develop the web search service as universal for the world requirements.*

**Key words:** *web service, lost-and-found office, programming, framework, Javascript.*

УДК 004

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/17>

**Круглик В.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Осадча К.П.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Прокоф'єв Є.Г.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Ліхачев Д.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Прядко А.О.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗАКЛАДІВ “НОРЕСА”

*У статті відображено етапи та особливості розробки програмного забезпечення комплексу автоматизації закладів “Нореса”. Попередній аналіз показав, що використання програмного засобу є доцільним з точки зору покращення якості та швидкості виконання заказу через можливість автоматичного генерування заказів та ручної зміни даних на кожному етапі. Автори розкривають аналіз існуючих фреймворків мови програмування PHP для розробки web-порталів, відображають переваги та недоліки кожного фреймворку, серед них авторами було обрано: Slim, Zend Framework 2, Symfony, Laravel, CodeIgniter та Yii. На основі огляду перерахованих фреймворків був обраний Yii 2, позаяк він включає значний набір функцій і можливостей для створення програмних ресурсів. Yii2 інтегрований з jQuery і поставляється з набором AJAX функцій, що значно полегшить подальші етапи розробки.*

*Авторами виділені основні вимоги й функції, які повинна виконувати розроблювана система, основними серед них розробники визначили забезпечення функціональних можливостей для розміщення замовлень і постачання необхідних інгредієнтів, створення можливості за допомогою графічного інтерфейсу керувати меню, яке відображається користувачам системи веб-замовлення та отримання нових замовлень з бази даних, відображення замовлення у зрозумілому вигляді, графічне відображення моделі розстановки об'єктів на столах.*

*Розкрито основні блоки та етапи роботи розробленого програмного засобу із визначенням особливостей їх функціонування. У своїй роботі автори наголошують, що ця система (програмний засіб) успішно подолає недоліки в попередній системі замовлення їжі на базі КПК і є менш дорогою та ефективною, ніж багатоконтактні системи управління рестораном, покращуючи ефективність та точність роботи ресторанів, заощаджуючи час, зменшуючи людські помилки та відгуки клієнтів у реальному часі.*

**Ключові слова:** системи автоматизації, розробка, комплексна автоматизація, програмування, web-портал.

**Постановка проблеми.** Як прогнозують аналітики, системи автоматизації ресторанного бізнесу в майбутньому стануть ще більш функціональними, а число закладів, які їх використовують, очевидним чином буде рости. У них буде реалізована функціональність для вирішення пов'язаних задач, наприклад бронювання столиків і збір відгуків відвідувачів, та з'являться рішення з автоматизації та впровадження додаткового контролю нових аспектів функціонування ресторану, наприклад, швидкості реагування на натискання кнопки виклику офіціанта [1, с. 98–99].

Система автоматизації – це використання комп'ютерів та інших технічних засобів обробки і передачі інформації в управлінні виробництвом, економікою, освітою. Поєднання слів «автоматизація ресторанів» сформувалося в стійкий термін в середовищі рестораторів, постачальників обладнання та програмного забезпечення. У ньому є відразу і узагальнення, і навпаки вузьке трактування сенсу складових слів.

Під терміном «ресторан» буде матиметься на увазі узагальнене поняття: будь-який заклад

громадського харчування. При цьому під підприємством громадського харчування може розумітися також мережа закладів. «Автоматизація» трактується обмежено і не зачіпає безпосередньо виробничі процеси (приготування їжі), а стосується лише інформаційної складової бізнесу – облік, документообіг, продаж та інші процеси. У зв'язку з цим, ресторанний бізнес є однією зі сфер приватного підприємництва, які найбільш динамічно розвиваються і умовах сучасності, попит на системи автоматизації підприємств громадського харчування стабільно зростає з кожним днем. Автоматизація стала стандартом та необхідною умовою конкурентоспроможності бізнесу. Нині в Україні та країнах СНД кількість автоматизованих ресторанів, кафе, фаст-фудів, корпоративних підприємств харчування та їх мереж обчислюється десятками тисяч, продовжуючи швидко зростати.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До вивчення проблематики аналізу та методів автоматизації управлінських, економічних процесів та процесів документообігу у різні часи долучались провідні вчені світу, серед них Колеснікова К.В., Вайсман В.О., Татаринцева А.С., Олейник А.Н., Жолобов А.А., Павленко П.М., Адамик О.В., Сисюк С.В., Шипунова О.В., Єльнікова Ю.В. та інші.

Разом із тим, проблема використання процесів автоматизації управління закладами за допомогою програмних засобів віддаленого доступу та web-ресурсів є актуальною і недостатньо дослідженою в умовах сучасності.

**Постановка завдання.** Розкрити особливості побудови та розробити web-портал для реалізації процесу автоматизації закладів “Нореса”.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для вибору засобів реалізації web-порталу, було визначено структуру, завдання та вимоги до розроблюваного ресурсу.

Структуру розроблюваної системи можна розділити на 3 умовні складники:

1. Web Ordering System забезпечує функціональні можливості для розміщення замовлень і надання необхідних деталей.

2. Menu Management-allows дозволяє ресторану контролювати те, що можна замовити клієнтами.

3. Order Retrieval System-This – це кінцевий логічний компонент, який дозволяє ресторану відстежувати всі розміщені замовлення, надає змогу моделювати результати його виконання.

Завдання web-порталу:

1. Адміністрування веб-замовлень забезпечує функціональні можливості для розміщення

замовлень і постачання необхідних інгредієнтів. Користувачам системи (клієнтам ресторану) повинна бути надана наступна функціональність: створення особового кабінету, керування своїм рахунком, вхід до системи, доступ до меню ресторану, додавання об'єктів до поточного замовлення. З усіх функцій, описаних вище, створення і керування обліковим записом буде використовуватися тільки, коли клієнт розміщує замовлення.

2. Управління меню забезпечує функціональність лише для користувача-адміністратора, цей блок не буде доступний іншим користувачам системи (співробітники ресторанів або клієнти). За допомогою графічного інтерфейсу адміністратор може керувати меню, яке відображається користувачам системи веб-замовлення.

3. Створення та моделювання заказів забезпечує функціональність лише для співробітників ресторану і надає ряд функцій (отримання нових замовлень із бази даних, відображення замовлення у зрозумілому вигляді, графічне відображення моделі розстановки об'єктів на столах).

Беручи до уваги перераховані особливості розроблюваної системи, можна стверджувати, що використання програмного засобу є доцільним з точки зору покращення якості та швидкості виконання заказу через можливість автоматичного генерування заказів та ручної зміни даних на кожному етапі, а розроблена можливість графічного моделювання надає змогу адміністрації ресторану у поєднанні із графічними дизайнерами створювати естетично-привабливі та зручні композиції під час банкетів та інших заходів, що у свою чергу позитивно відображається на іміджі ресторану.

З точки зору функціонального наповнення web-ресурс повинен бути простим та зрозумілим для будь-якого користувача. Програмний засіб повинен дотримуватися багатьох вимог за функціональністю та зовнішнім виглядом. Основні системні вимоги: наявність елементів інтерфейсу; інтуїтивно зрозумілий і зручний у користуванні інтерфейс.

Вимоги до функціональності: розробка можливості відображення результатів роботи (картинки, текстові повідомлення тощо); управління складом; розробка можливості, у разі необхідності, виведення повідомлення про помилку; система статистик; можливість управління залами; можливість управління фінансами та звітами; можливість управління базою клієнтів та робітників; можливість управління відділом маркетингу.

Дизайн сервісу має створювати умови для зручного перегляду та сприймання інформації.



ції. Вимоги до дизайну: основні розділи web-порталу повинні бути доступні з першої сторінки у зручному вигляді; текстова інформація має бути набрана зручними для читання літерами. Мовою програмування було обрано PHP через те, що на сьогодні вона є найбільш популярною та зручною для розробки web-проектів на території країн СНД.

Після визначення завдань та вимог до web-порталу та мови програмування, виникає потреба у визначенні засобів розробки, для чого було проведено аналіз існуючих фреймворків та їх особливостей. Авторами було вирішено використовувати фреймворки замість «чистого» PHP через ряд переваг: прискорення процесу розробки; можливість написання коду, придатного для повторного використання; легке масштабування проектів; дотримання схеми MVC (Model-View-Controller); наявність у фреймворків заохочення сучасної практики розробки, наприклад об'єктно-орієнтованого програмування.

Slim – це PHP мікро-фреймворк, призначений для швидкого написання простих, але в той же час потужних web додатків і API. У своїй основі фреймворк Slim – це диспетчер, який отримує HTTP-запит, викликає призначену цьому запиту callback-функцію і повертає HTTP-відповідь [2].

Zend Framework 2 є фреймворком з відкритим вихідним кодом для розробки WEB-додатків на PHP 5.3. Використовує тільки об'єктно-орієнтований код і сучасні нововведення PHP 5.3: namespaces, late static binding, lambda functions and closures.

Кожен компонент Zend Framework 2 є унікальним і розробленим із мінімальними зв'язками від інших компонентів. ZF2 слід незалежного принципу створення додатків. Така слабко зв'язана архітектура дозволяє розробникам використовувати тільки ті компоненти, які їм необхідні. Так ж використовується Puggs і Composer для установки і відстеження залежностей як для всього проекту в цілому, так і для кожного із компонентів.

Хоча кожен компонент Zend Framework 2 може бути використаний окремо, стандартний набір бібліотек робить його дуже потужним і розширюваним засобом розробки web-додатків. Крім того, він пропонує надійну і високопродуктивну реалізацію MVC, абстракцію бази даних, яка проста у використанні, реалізує HTML5 форми візуалізації, перевірки і фільтри, так що розробники можуть об'єднати всі ці можливості за допомогою одного простого і об'єктно-орієнтованого інтерфейсу. Інші компоненти, такі як Authentication і

Acl, забезпечують аутентифікацію і авторизацію призначених для користувача облікових даних.

Symfony – вільний фреймворк, написаний на PHP, який використовує патерн Model-View-Controller. Symfony пропонує швидку розробку і управління веб-додатками, дозволяє легко вирішувати рутинні завдання веб-програміста. Працює тільки з PHP 5 і вище [3, с. 59].

Laravel – це безкоштовний PHP фреймворк з відкритим вихідним кодом, створений Тейлором Отвеллом для розробки веб-додатків за архітектурним шаблоном MVC. Він був створений як альтернатива фреймворку CodeIgniter, в якому було недостатньо корисних функцій для розробки веб-додатків. В якості основи Laravel виступають компоненти фреймворка [4, с. 48–49].

CodeIgniter – це популярний PHP мікро-фреймворк з відкритим вихідним кодом, для розробки веб-систем і додатків. Його було розроблено компанією EllisLab, а також Ріком Еллісом і Полом Бурдик. У CodeIgniter компоненти завантажуються і процедури виконуються тільки за запитом, а не глобальними. Компоненти фреймворка слабо пов'язані між собою і не залежать один від одного [5].

Yii 2 – об'єктно-орієнтований компонентний фреймворк, написаний на PHP, який реалізує парадигму MVC. Історія Yii розпочалася як проєкт щодо виправлення деяких вад у фреймворку PRADO (PHP Rapid Application Development Object-oriented), що став в 2004 році переможцем “Zend PHP 5 coding contest”. Фреймворк PRADO був спробою перенести ASP.NET на платформу PHP, включаючи ViewState, PostBacks, Page\_Load і OnClick, внаслідок чого зустрічалися ділянки коду, просто скопійовані з ASP.NET. PRADO успадкував від ASP.NET майже всі негативні сторони: повільно обробляв складні сторінки, мав круту криву навчання і був досить важкий у налаштуванні. Yii 2 повністю об'єктно-орієнтована і заснована на принципі Don't-Repeat-Yourself, так що основа буде чиста і логічна [6, с. 273].

На основі огляду перерахованих фреймворків був обраний Yii 2, позаяк він включає великий набір функцій і можливостей для створення програмних ресурсів. Yii 2 інтегрований з jQuery і поставляється з набором AJAX функцій. Механізми скіннінга і вибору тут прості, тому фреймворк сподобається тим, хто раніше займався фронтенд-розробкою. Тут також є потужний генератор вихідного коду – Gii, який сприяє об'єктно-орієнтованого програмування і швидкому прототіпуванню, а також надає веб-інтерфейс, в якому можна інтерактивно генерувати потрібний код.

Реалізований web-портал має бути зручним і надавати змогу доступу до основних задач, таким чином після запуску сайту, відкривається вікно авторизації користувача, яка надає змогу, при успішній авторизації, запам'ятати дані для входу. Після заходження на сервіс, користувачеві надається змога перевірити список актуальних резервів заказаного залу, його статус, та особливості заказу (рис. 1).

До списку надаються панелі керування, у яких користувач має змогу додати, відредагувати заказ чи змінити його статус. Головною задачею є створення резерву. В цьому блоці користувач обирає час, на коли посадити людину, за який столик, якщо вибрано час, в якому деякі столики вже замовлені, то в списку вибору столів їх не буде (динамічна зміна), так само можна додати кілька столиків в один резерв (поєднати столики), вибирає дату бронювання (рис. 2).

При введенні номера телефону автоматично завантажується список знайдених номерів у реальному часі раніше замовлених резервів (збе-

рігається кожного разу разом із побажаннями гостя, мітками тощо). При виборі номера телефону зі списку автоматично завантажується вся раніше введена інформація, про цьому дані гостя вносяться в основні поля користувача. Так само є можливість створювати мітки як для гостя, так і для менеджера. Це необхідно для того, щоб гість, який любить пити певне вино, міг записати це в мітку про якусь подію, пригостити від закладу. До завершення бронювання потрапляють тільки в тому випадку, якщо гість прийшов або пішов, його скасували з якихось причин.

У вікні «Схема зала» надається змога відображення графічного варіанту розстановки столів у залі, яка надає змогу створення нових, редагування існуючих об'єктів на схемі (рис. 3).

Знизу схеми залу відображена часова смуга, пересуваючи її, ми можемо спостерігати зміни кольору столиків, це відображається актуального стану залу за певні години, необхідно це для того, щоб при оформленні резерву онлайн та по

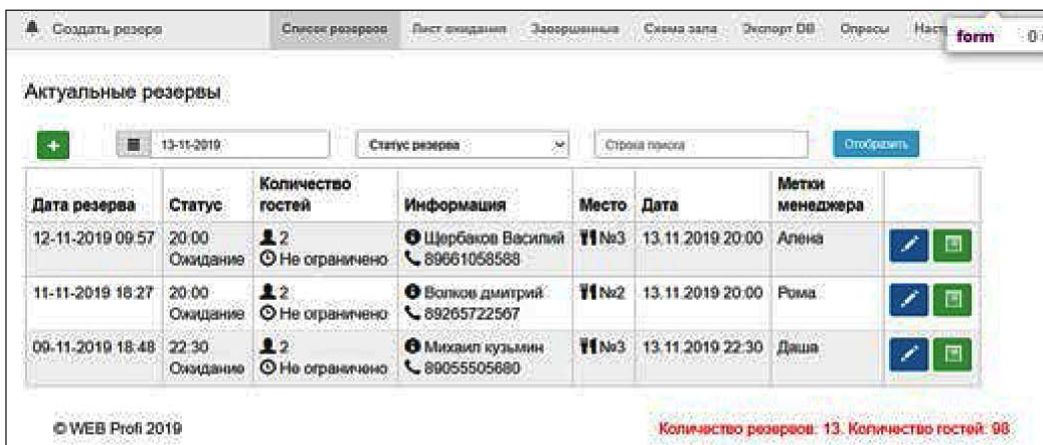


Рис. 1. Список актуальних резервів

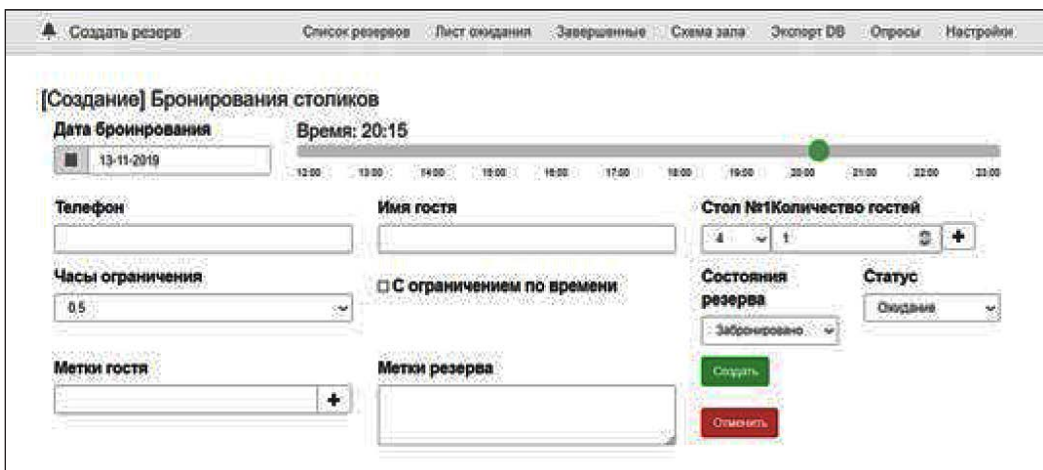


Рис. 2. Вікно «Створення резерву»



Рис. 3. Вікно «Схема залу»



Рис. 4. Часова смуга

телефону, швидко скоординувати гостя, які столи будуть доступні і в який час (рис. 4).

Для збільшення якості обслуговування розроблено систему опитування гостей, яка працює наступним чином: якщо людина зробила резерв та оплатила його, то через 24 години вона отримає на пошту форму голосування і коментар, після відправки форми, записується в окрему таблицю, де відображений статус відправлення листа і статус голосування з результатами.

Створена можливість сервісу, при якій дзвіночок на головному меню світиться червоним у реальному часі, коли прийшов новий онлайн резерв з сайтів-ресторанів, при кліці на нього відкривається модальне вікно з списком не оброблених резервів і з інформацією для клієнта, після натискання на резерв, відкривається сторінка заповнення даними про резерв вже з проставленими даними гостя від сайту).

**Висновки.** Актуальні наукові дослідження світової громади зараз спрямовані на автоматизації процесів, серед них замовлення їжі в ресторани. За допомогою подібного програмного забезпечення деталі замовлення з мобільного замовника бездротово оновлюються в централь-

ній базі даних і згодом надсилаються відповідно до кухні та каси. Власник ресторану може легко керувати змінами меню. Бездротовий доступ до web-ресурсу на мобільних пристроях забезпечує зручність, покращуючи ефективність та точність роботи ресторанів, заощаджуючи час, зменшуючи людські помилки та відгуки клієнтів у реальному часі. Ця система успішно подолає недоліки в попередній системі замовлення їжі на базі КПК і є менш дорогою та ефективнішою, ніж багатоконтактні системи управління рестораном. Обравши методи розробки та проектування було зроблено висновок, що оптимальною мовою розробки програмного комплексу є PHP, а оптимальним фреймворком є Yii2, тому що він задовольняє усім вимогам технічного завдання та надає змогу створення функцій для виконання потреб, указаних у технічному завданні, а також є простим у використанні і не має високого рівня навантаження на сервер.

У подальшій роботі планується доробка то розвитку програмного засобу з метою розширення його функціоналу та зменшення рівня навантаження на систему, що пов'язано із візуальною складовою функцій та можливістю візуального керування персоналом.

**Список літератури:**

1. Жолобов А.А. Технология автоматизированного производства/ Современные технологии автоматизации. 2016. С. 96–103.

2. 10 лучших PHP-фреймворков для веб-проектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kultprosvet.net/ru/blog/10-luchshih-php-freymvorkov-dlya-veb-proektov>.
3. Сеничев А.В. Особенности проектирования приложений с использованием фреймворка Symfony // Молодой исследователь Дона, № 1, 2016, С. 58–61.
4. Брусов А.С., Тарасов С.О. Использование фреймворка Laravel 5.0 для разработки web-приложений // Современные материалы, техника и технологии, no. 3 (3), 2015, С. 48–52.
5. Фреймворк CodeIgniter [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://unetway.com/blog/codeIgniter-framework-review>.
6. Николаева О.В. Возможности Yii framework // Информационно-телекоммуникационные системы и технологии. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2014. С. 273–274.

#### **Kruglik V.S., Osadcha K.P., Prokofiev E.G., Lihachov D.S., Pryadko A.A. PECULIARITIES OF DEVELOPMENT OF THE HORECA AUTOMATION PROGRAMMING COMPLEX**

*The article describes the stages and features of software development of Horeca institution automation software, the authors emphasized that the preliminary analysis showed that the use of the software is expedient in terms of improving the quality and speed of order fulfillment through the ability to automatically generate orders and manual data changes at each stage. The authors analyze the existing PHP programming language frameworks for web portals development, reflect the advantages and disadvantages of each framework, among which the authors have selected: Slim, Zend Framework 2, Symfony, Laravel, CodeIgniter and Yii.*

*Based on the review of the listed frameworks, Yii 2 was chosen as it includes a large range of features and capabilities for creating software resources. Yii2 is integrated with jQuery and comes with a suite of AJAX features that will greatly facilitate further development steps. The authors outlined the basic requirements and functions to be fulfilled by the developed system, the main among them the developers identified: providing the functionality for placing orders and supplying the necessary ingredients, creating a graphical interface to manage the menu displayed to users of the web ordering system and obtaining new orders from the database, displaying the order in an understandable form, graphically displaying the model of arrangement of objects on the tables.*

*The basic blocks and stages of operation of the developed software with determination of peculiarities of their functioning are revealed. In their work, the authors emphasize that this system successfully overcomes the shortcomings of the previous PDA-based food ordering system and is less costly and efficient than many restaurant management contact systems, improving restaurant efficiency and accuracy, saving time, reducing human errors, and real-time customer reviews.*

**Key words:** automation systems, development, complex automation, programming, web-portal.



УДК 004.056

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/18>

**Лантєв О.А.**

Державний університет телекомунікацій

**Чумаченко С.М.**

Національного університету харчових технологій

**Половiнкін І.М.**

Науково-Методичний Центр кадрової політики Міністерства оборони України

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ МОДЕЛІ ПОШУКУ ЗАСОБІВ НЕГЛАСНОГО ОТРИМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ**

*У статті розглянуто математичне моделювання процесів радіомоніторингу на основі диференціальних перетворень, яке відрізняється тим, що процес моніторингу проходить в умовах впливу випадкових збурювань. Процес виявлення стороннього радіосигналу також є випадковим. Моделювання випадкових процесів у складних нелінійних системах вимагає великих витрат машинного часу. У системах реального часу швидкість обчислень, необхідна для одержання необхідної точності моделювання випадкових процесів, може перевищувати граничну швидкість, яку може забезпечити сучасна комп'ютерна техніка. Тому потрібно розробляти новий математичний апарат, який дозволить моделювати процес виявлення випадкових сигналів у моделі пошуку засобів негласного отримання інформації у реальному часі.*

*Розглянута проблема моделювання випадкових процесів на основі диференціальних перетворень, які одержують в області зображень точні моделі визначення випадкових сигналів у рамках кореляційних алгоритмів, що є дуже важливо, а обчислювання основних характеристик випадкових сигналів є дуже актуальним.*

*Розглянуто обчислювання основних характеристик випадкових сигналів на основі моделі диференціальних перетворень пошуку засобів негласного отримання інформації у рамках кореляційної теорії за допомогою прямих та обернених диференціальних перетворень.*

*Обґрунтовано положення, що математичне сподівання випадкового сигналу складається з суми усіх очікувань диференціального спектра за певних початкових умов. Приведена методика обчислювання дисперсії, яка складається з визначення диференціального спектра та обчислення дисперсії для кожної дискрети.*

*Обґрунтовано підхід до визначення кореляційної функції випадкового сигналу, доведено що вона будується по двох диференціальних спектрах та складається з суми усіх дискрет диференціального спектра, визначених для кореляційної функції. У якості часткового випадку приведені умови збігання кореляційної функції з дисперсією.*

**Ключові слова:** диференціальні перетворення, випадковий сигнал, процес, метод, модель, дискрети, спектр, методика, дисперсія, кореляційна функція.

**Постановка проблеми.** Диференціальні перетворення, це відносно новий операційний метод, який на відміну від відомих інтегральних та дискретних перетворень, заснований на переводі оригіналів у область зображень за допомогою операції диференціювання. При математичному моделюванні фізичних об'єктів та процесів, що описуються диференціальними та інтегральними

рівняннями, диференціальні перетворення дозволяють замінити операції інтегрування і диференціювання еквівалентними алгебраїчними операціями як у чисельному, так і в аналітичному вигляді.

Математичне моделювання процесів радіомоніторингу на основі диференціальних перетворень відрізняється тим, що процес моніторингу проходить в умовах впливу випадкових збурень.

Процес виявлення стороннього радіосигналу також є випадковим. Моделювання випадкових процесів у складних нелінійних системах вимагає великих витрат машинного часу. У системах реального часу швидкість обчислень, необхідна для одержання необхідної точності моделювання випадкових процесів, може перевищувати граничну швидкість, яку може забезпечити сучасна комп'ютерна техніка. Тому необхідно розробити математичний апарат, який дозволить моделювати процес виявлення випадкових сигналів у моделі пошуку засобів негласного отримання інформації у реальному часі та обчислювати основні випадкові характеристики цих випадкових сигналів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Спроба розвитку математичного апарату диференціальних перетворень і його застосування для класу випадкових чи стохастичних функцій і процесів була зроблена у [1–3]. Математичний апарат диференціальних перетворень був застосований до векторної випадкової функції, яка диференціюється необхідне число раз. Ця вимога істотно обмежила можливості диференціальних перетворень у межах локальної області перетину випадкового процесу для кожного фіксованого моменту часу. Таке застосування диференціальних перетворень дало тільки наближений метод моделювання випадкових процесів.

Підхід, запропонований у [3], не дозволяє реалізувати точне моделювання випадкових процесів, але така можливість існує, оскільки диференціальні перетворення відносяться до точних операційних методів [4].

**Метою статті** є розробка підходів до обчислення основних характеристик випадкових сигналів у моделі пошуку засобів негласного отримання інформації у реальному часі на основі диференціальних перетворень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основні характеристики випадкових сигналів будемо розглядати у рамках кореляційної теорії. Розглянемо одномірний випадковий сигнал  $x(t, \delta)$ , де  $\delta$  – задана випадкова величина. В області зображень модель цього сигналу представляється диференціальним спектром  $X(K, \delta)$ . Якщо виконати зворотнє перетворення  $X(K, \delta)$  у часову область згідно [1], то одержимо вираз:

$$x(t, \delta) = \sum_{K=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^K X(K, \delta). \quad (1)$$

Знайдемо математичне сподівання випадкового сигналу  $X(K, \delta)$ , описане виразом (1):

$$m_x(t) = m_x(t) = M[x(t, \delta)] = \sum_{K=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^K M[X(K, \delta)] \quad (2)$$

$$M[X(K, \delta)] = m_x(K) = \int_{-\infty}^{\infty} X(K, \delta) p(\delta) d\delta,$$

де  $p(\delta)$  – задана щільність розподілу імовірностей випадкової величини  $\delta$ .

Якщо початок випадкового сигналу  $x(t, \delta)$  розглядається від нульового моменту часу  $t_0=0$ , то  $H = t - t_0 = t$  і вираз (2) спрощується:

$$m_x(t) = \sum_{K=0}^{\infty} m_x(K). \quad (3)$$

З виразу (3) випливає, що математичне сподівання  $m_x(t)$  випадкового сигналу  $x(t, \delta)$  визначається сумою математичних очікувань  $m_x(K)$  усіх дискрет диференціального спектра  $X(K, \delta)$ , де  $K=0, 1, 2, i$ , при  $H = t$ .

За визначенням, дисперсія випадкової функції  $x(t, \delta)$  обчислюється за виразом:

$$D_x(t) = M[x^2(t, \delta)] - m_x^2(t). \quad (4)$$

Введемо допоміжну змінну

$$U(t, \delta) = x^2(t, \delta). \quad (5)$$

Тоді вираз (4) приймає вигляд:

$$D_x(t) = M[U(t, \delta)] - m_x^2(t). \quad (6)$$

Переведемо вирази (5) і (6) в область зображень, застосувавши диференціальні перетворення вказані у [1]:

$$D_x(K) = M[U(K, \delta)] - m_x^2(K) * m_x(K), \quad (7)$$

$$U(K, \delta) = X(K, \delta) * X(K, \delta) = \sum_{l=0}^{K} X(K-l, \delta) X(l, \delta), \quad (8)$$

$$M[U(K, \delta)] = m_x(K) = \int_{-\infty}^{\infty} U(K, \delta) p(\delta) d\delta, \quad (9)$$

$$m_x^2(K) = m_x(K) * m_x(K) = \sum_{l=0}^{K} m_x(K-l) m_x(l), \quad (10)$$

де \* – символ операції множення в області зображень.

Вирази (7)-(10) дозволяють визначити диференціальний спектр  $D_x(K)$ , що моделює дисперсію  $D_x(t)$  у області зображень. З метою від-

новлення дисперсії  $D_x(t)$  у часовій області по диференціальному спектру  $D_x(K)$  застосуємо зворотні диференціальні перетворення до виду, приведеного у [1]:

$$D_x(t) = \sum_{K=0}^{\infty} \left(\frac{t}{H}\right)^K D_x(K). \quad (11)$$

З огляду на те, що випадковий сигнал  $x(t, \delta)$  розглядається від  $t_0=0$  та  $H = t - t_0 = t$  вираз (11) приводиться до вигляду:

$$D_x(t) = \sum_{K=0}^{\infty} D_x(K), \quad (12)$$

де  $D_x(t)$  -диференціальний спектр, який обчислюється за виразами (7)-(10) на основі диференціального спектра  $X(K, \delta)$ . Вираз (12) дає простий алгоритм визначення дисперсії  $D_x(t)$  випадкового сигналу  $x(t, \delta)$ .

Для кожної дискрети диференціального спектра  $X(K, \delta)$  необхідно знайти дисперсію  $D_x(K)$  ( $K=0, 1, 2, \dots, i$ ) усіх дискрет диференціального спектра  $X(K, \delta)$  при  $H = t$ . Кореляційна функція  $R_x(t_1, t_2)$  випадкового сигналу  $x(t, \delta)$  будується за двома диференціальними спектрами  $X(K, \delta)$  відповідно до виразу прямого диференціального перетворення дискрети, приведеного у [1].

Виберемо для розрахунків два інтервали часу  $H_1 = t_1 - t_0$  та  $H_2 = t_2 - t_0$ . Враховуючи, що  $t_0 = 0$ , отримуємо  $H_1 = t_1$  та  $H_2 = t_2$ . Позначимо диференціальний спектр  $X(K, \delta)$ , який був отриманий при  $H_1 = t_1$ , через  $X(K, t_1, \delta)$ , а при  $H_2 = t_2$  -  $X(K, t_2, \delta)$ .

Визначимо математичні сподівання дискрет цих двох диференціальних спектрів:

$$m_x(K, t_1) = M[X(K, t_1, \delta)] = \int_{-\infty}^{\infty} X(K, t_1, \delta) p(\delta) d\delta, \quad (13)$$

$$m_x(K, t_2) = M[X(K, t_2, \delta)] = \int_{-\infty}^{\infty} X(K, t_2, \delta) p(\delta) d\delta. \quad (14)$$

В області зображень перемножуємо диференціальні спектри (13) та (14):

$$m_x(K, t_1) * m_x(K, t_2) = \sum_{l=0}^{l=K} m_x(K-l, t_1) m_x(l, t_2). \quad (15)$$

Формуємо в області зображень добуток двох диференціальних спектрів  $X(K, t_1, \delta)$  та  $X(K, t_2, \delta)$  і отримуємо вираз:

$$Q(K, t_1, t_2, \delta) = X(K, t_1, \delta) * X(K, t_2, \delta) = \sum_{l=0}^{l=K} X(K-l, t_1, \delta) X(l, t_2, \delta). \quad (16)$$

Знайдемо математичне сподівання від (16):

$$m_q(K, t_1, t_2, \delta) = M[Q(K, t_1, t_2, \delta)] = \int_{-\infty}^{\infty} Q(K, t_1, t_2, \delta) p(\delta) d\delta. \quad (17)$$

Відповідно до визначення кореляційної функції сформуємо її диференціальний спектр  $R_x(K, t_1, t_2)$  за виразом:

$$R_x(K, t_1, t_2) = m_q(K, t_1, t_2, \delta) - m_x(K, t_1) * m_x(K, t_2). \quad (18)$$

Перехід від диференціального спектра  $R_x(K, t_1, t_2)$  у часову область можливо виконати зворотним диференціальним перетворенням, відповідно до [1], двома способами: при  $H_1 = t_1$  та  $H_2 = t_2$ . У результаті отримаємо:

$$R_x(t_1, t_2) = \sum_{K=0}^{\infty} R_x(K, t_1, t_2). \quad (19)$$

Таким чином, кореляційна функція  $R_x(t_1, t_2)$  випадкового сигналу  $x(t, \delta)$  визначається сумою всіх дискрет диференціального спектра  $R_x(K, t_1, t_2)$ , обчислення якого здійснюється за виразами (13) – (18).

У частковому випадку, коли  $t_1 = t_2 = t$ , кореляційна функція  $R_x(t)$  дорівнює дисперсії  $D_x(t)$ , а алгоритм обчислення кореляційної функції збігається з алгоритмом визначення дисперсії.

**Висновки.** Запропоновано математичний апарат обчислювання основних характеристик випадкових сигналів на основі моделі диференціальних перетворень пошуку засобів негласного отримання інформації у рамках кореляційної теорії.

За допомогою прямих та обернених диференціальних перетворень обґрунтовано, що математичне сподівання випадкового сигналу складається з суми усіх очікувань диференціального спектра за певних початкових умов.

Приведена методика обчислювання дисперсії, яка складається з визначення диференціального спектра та обчислення дисперсії для кожної дискрети. Обґрунтовано підхід до визначення кореляційної функції випадкового сигналу, доведено, що вона будується по двох диференціальних спектрах та складається з суми усіх дискрет диференціального спектра, визначених для кореляційної функції. В якості часткового випадку приведені умови збігання кореляційної функції з дисперсією.

**Список літератури:**

1. Лаптев О.А., Половінкін І.М, Ключовський Д.В., Барабаш А.О. Модель пошуку засобів негласного отримання інформації на основі диференціальних перетворень // Sciences of Europe. Praha, Czech Republic. 2019. Vol. 1. № 43.
2. Пухов Г.Е. Приближенные методы математического моделирования основанные на применении дифференциальных Т-преобразований. К. : Наукова думка, 1988. 216 с.
3. Пухов Г.Е. Дифференциальные спектры и модели. К. : Наукова думка, 1990. 188 с.
4. Основы автоматического управления / под ред. В.С. Пугачева. М. : Наука, 1974. 720 с.
5. Лаптев О.А. Формальні математичні моделі для забезпечення безпеки інформації / Лаптев О.А., Степаненко В.І., Тихонов Ю.О. // Сучасний захист інформації № 1(37), 2019, ISSN2409-7292, С. 59–64.
6. Laptev A.A. The method of searching for digital means of illegal reception of information in information systems in the working range of Wi-Fi / Laptev A.A., Barabash O.V., Savchenko V.V., Savchenko V.A., Sobchuk V.V. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India (ISSN: 2350-0328) 2019. Vol. 6, Issue 7–P. 10101-10105.

**Laptev O.A., Polovinkin I.M., Chumachenko S.M., Guida O.G. DETERMINATION OF THE BASIC CHARACTERISTICS OF THE RANDOM SIGNALS OF THE MODEL THE MEANS OF ILLEGAL OBTAINING OF INFORMATION**

*The article deals with mathematical modeling of radio-monitoring processes on the basis of differential transformations, characterized in that the monitoring process consists in the conditions of influence of random disturbances. The process of detecting a third party radio signal is also random. Modeling random processes in complex non-lily systems requires a lot of machine time. In real-time systems, the calculation speed required to obtain the necessary precision of random process modeling may exceed the speed limit that modern computer technology can provide.*

*Therefore, we need to develop a new mathematical apparatus that will allow us to simulate the process of detecting random signals in a model of search for means of silent information in real time. The problem of random processes modeling based on differential transformations, which give accurate models of determination of random signals within the framework of correlation algorithms, is very important, and the calculation of the basic characteristics of random signals is very relevant.*

*The calculation of the basic characteristics of random signals based on the model of differential transformations of the search for the means of silent retrieval of information within the framework of correlation theory is considered. By means of direct and inverse differential transformations. It is substantiated that the mathematical expectation of a random signal consists of the sum of all expectations of the differential spectrum, under certain initial conditions. The technique for calculating the variance, which consists of determining the differential spectrum and calculating the variance for each discrete, is presented.*

*The approach to determining the correlation function of a random signal is substantiated, it is proved that it is constructed on two differential spectra and consists of the sum of all discrete differential spectra defined for the correlation function. In the special case, the conditions of the coincidence of the correlation function with the variance are given.*

**Key words:** *differential transformations, random signal, process, method, model, discrete, spectrum, technique, variance, correlation function.*



**Лошак К.Р.**

Одеський національний політехнічний університет

**Беглов К.В.**

Одеський національний політехнічний університет

## НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ У ЗМІШУВАЛЬНОМУ БАКУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

Особливістю сучасних металовмісних стічних вод промислових підприємств є наявність у їхньому складі широкого спектра хімічних речовин. Для них є характерними високі концентрації забруднень, значні коливання їхньої кількості та складу, наявність широкого спектра органічних домішок (поверхнево-активні речовини, емульговані домішки, феноли, нафтопродукти тощо) і солей. Велика кількість компонентів у стічних водах негативно впливає на якість і складність їх очищення. Для очищення можуть використовуватися такі методи, як: введення реагентів, які сприяють осадженню металів, сорбції органічних домішок, укрупнення маленьких частинок (колоїдів), руйнування комплексів, відновлення та окислення. Кислоти використовуються для підкислення очищених стічних вод до нейтрального рівня рН перед скиданням у водойми чи каналізацію, луги – для осадження важких металів.

Основними способами впливу на окислювально-відновні процеси очистки стічних вод є контроль показників рН та окислювально-відновного потенціалу  $Eh$  за допомогою регулювання різноманітних реагентів: лугів, кислот, відновлювачів та окислювачів. Розроблення сучасних систем автоматичного регулювання параметрів  $Eh$  та рН потребує вдосконалення наявних алгоритмів функціонування систем автоматизації, розроблення адекватних математичних моделей контурів регулювання та впровадження комп'ютерного моделювання для отримання оптимальних параметрів системи.

У промисловості за частих змін концентрації хімічних речовин стічних вод і впливу неконтрольованих збурень на об'єкт регулювання значення його параметрів постійно змінюються, що потребує ручної установки нових значень налаштувань пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора та його адаптації. Але у зв'язку з обмеженнями в часі, складністю процесу ідентифікації та відсутністю можливості контролю збурень часто неможливо розрахувати оптимальні значення налаштувань регулятора. А це, у свою чергу, призводить до зниження ефективності роботи всього технологічного процесу. Тому виникає проблема оптимізації процесу адаптації регулятора.

Метою роботи є проведення детального аналізу найпоширеніших методів налаштування типових і нечітких регуляторів у системах автоматичного регулювання (САР) параметрів рН та  $Eh$ , у багатоконпонентних стічних водах. Об'єктом дослідження виступає змішувальний реактор хімічних речовин механічного типу за реагентного способу обробки стоків.

**Ключові слова:** змішувальний бак хімічних речовин, нейтралізація стічних вод, автоматизована система управління, нечіткий регулятор, пропорційно-інтегральний регулятор, пасивна ідентифікація об'єкта регулювання.

**Постановка проблеми.** Особливістю сучасних металовмісних стічних вод промислових підприємств є наявність у їхньому складі широкого спектра хімічних речовин. Для них є характерними високі концентрації забруднень, значні коливання їхньої кількості та складу, наявність широкого спектра органічних домішок (поверхнево-активні речовини, емульговані домішки, феноли, нафтопродукти тощо) і солей. Велика кількість компонентів у стічних водах негативно впливає на якість і складність їх очищення. Для очищення можуть використовуватися такі методи,

як: введення реагентів, які сприяють осадженню металів, сорбції органічних домішок, укрупнення маленьких частинок (колоїдів), руйнування комплексів, відновлення та окислення. Кислоти використовуються для підкислення очищених стічних вод до нейтрального рівня рН перед скиданням у водойми чи каналізацію, луги – для осадження важких металів.

У процесі осадження металів важливим є врахування наявності сумішей важких металів, які, як правило, мають різні показники рН осадження. Також необхідно звернути увагу на

амфотерні властивості більшості металів, що може призвести до вторинного розчинення створених малорозчинних хімічних з'єднань за підвищення рН їх осадження.

Основними способами впливу на окислювально-відновні процеси очистки стічних вод є контроль показників рН та окислювально-відновного потенціалу Eh за допомогою регулювання різнотипних реагентів: лугів, кислот, відновлювачів та окислювачів. Завдяки своїм хімічним властивостям відновлювачі та окислювачі, які дозуються для регулювання Eh, також одночасно впливають і на показник рН середовища. Наступне його коригування спричиняє зворотний зсув величини Eh. Крім того, зміна цих показників також відбувається під час протікання хімічних реакцій. Як наслідок, усе це створює значні складнощі у процесі підтримання оптимальних значень цих параметрів. Також виникає необхідність введення значної кількості реагентів, а в деяких випадках досягнення необхідних величин рН та Eh під час використання найпоширеніших одноконтурних систем автоматичного регулювання стає неможливим.

Розроблення сучасних систем автоматичного регулювання параметрів Eh та рН потребує вдосконалення наявних алгоритмів функціонування систем автоматизації, розроблення адекватних математичних моделей контурів регулювання та впровадження комп'ютерного моделювання для отримання оптимальних параметрів системи.

**Постановка завдання.** Мета статті – проведення детального аналізу найпоширеніших методів налаштування типових і нечітких регуляторів у системах автоматичного регулювання (САР) параметрів рН та Eh у багатокомпонентних стічних водах. Об'єктом дослідження виступає змішувальний реактор хімічних речовин механічного типу за реагентного способу обробки стоків.

#### **Опис технологічного процесу**

Хімічний процес окислення-відновлення токсичних домішок найбільш ефективно проводити у змішувальному реакторі періодичного (непроточного) типу, обладнаному механічною мішалкою. Для цього необхідним є ступінчате регулювання рН та Eh. Зумовлюється це тим, що окислювально-відновні реакції потребують значних затрат часу та дозування декількох реагентів, особливо за наявності органічних домішок у багатокомпонентних стічних водах.

Для прикладу розглянемо принцип ступінчатого дозування реагентів для відновлення шестивалентного хрому сульфідом натрію. Після

наповнення механічного змішувального реактора рідиною, у складі якої є з'єднання хрому, у нього під час постійного змішування ступінчато дозують реагенти для регулювання рН та Eh. Спочатку стоки підкислюють соляною кислотою для зменшення рівня рН до оптимального ( $\text{pH} \leq 3$ ). Це необхідно для ефективного протікання реакції відновлення хрому (VI) у хром (III). При цьому під впливом кислоти рівень Eh води збільшується до 0,7–0,75 В. Наступним кроком у воду вводять розчин сульфїту натрію для зменшення показника Eh до першого проміжного значення потенціалу  $\text{Eh} = 0,45\text{--}0,55$  В, за досягнення якого починається реакція відновлення. З цього моменту подача реагентів зупиняється і далі протікає реакція відновлення хрому (VI) під час постійного перемішування стічних вод. У процесі реакції споживаються іони водню, та, як наслідок, показник рН у рідині досягає критичного значення  $\text{pH} > 3$ , що призводить до її сповільнення. Далі, цикли послідовного дозування кислоти та відновлення для поступового ступінчатого зменшення показника Eh та стабілізації рН повторюються до повного відновлення хрому (VI) за заданого кінцевого значення показника  $\text{Eh} = 0,2$  В. Реакція відновлення хрому (VI) вважається закінченою, якщо на заданому кінцевому відрізку часу стабілізації хімічного процесу параметри рН та Eh не будуть досягати рівня, вище зазначених кінцевих показників.

Ступінчате дозування також можна використовувати з метою окислення фенолів, ціанідів, роданідів та інших токсичних домішок. Це реалізується дозуванням окислювачів для підвищення показника Eh і наступним регулюванням рН за допомогою кислот і лугів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідження налаштування регуляторів у системі автоматичного управління показників Eh та рН розроблено математичну модель (рис. 1) процесів реагентної обробки стоків у механічному змішувальному реакторі періодичної дії. Аналіз експериментальних даних показує, що об'єкт є багатовимірним, із двома зв'язаними входами та виходами. У процесі були знайдені передатні функції прямих і перехресних зв'язків між вхідними та вихідними параметрами. Передатна функція прямого каналу регулювання рН демонструє вплив витрати кислоти на зміну показника рН у змішувальному реакторі:

$$W_{11}(S) = \frac{0,01}{22,3S + 1}$$

Передатна функція перехресного каналу зв'язку характеризує вплив витрати кислоти на зміну показника рН:

$$W_{12}(S) = \frac{-0,0012}{15,4S + 1}$$

Знак «мінус» показує, що зростання показника рН призводить до зменшення показника Eh. Знайдемо передатну функцію каналу регулювання Eh:

$$W_{22}(S) = \frac{0,0025}{17,1S + 1}$$

Передатна функція впливу витрати відновлювача на зміну Eh у стічних водах.

$$W_{21}(S) = \frac{-0,01}{32,6S + 1}$$

Автоматичне регулювання з використанням нечіткої логіки

У промисловості за частих змін концентрації хімічних речовин стічних вод і впливу неконтрольованих збурень на об'єкт регулювання значення його параметрів постійно змінюються, що потребує ручної установки нових значень налаштувань пропорційно-інтегрального (ПІ) регулятора та його адаптації. Але у зв'язку з обмеженнями в часі, складністю процесу ідентифікації та відсутністю можливості контролю збурень часто

неможливо розрахувати оптимальні значення налаштувань регулятора. А це, у свою чергу, призводить до зниження ефективності роботи всього технологічного процесу. Погіршує ситуацію необхідність використання активних методів ідентифікації об'єкта для отримання додаткової інформації. У деяких системах використання активних методів ідентифікації може призвести до їхньої нестійкої роботи. Тому виникає проблема оптимізації процесу адаптації регулятора. Пасивна ідентифікація об'єкта не завжди є ефективною, але може бути оптимальною під час залучення до ручного налаштування з аналізу перехідного процесу досвідченого експерта.

Особливістю пасивної ідентифікації об'єкта регулювання є те, що вона не вносить похибки в технологічний процес, але її достовірність досить низька та може призвести до погіршення якості процесу регулювання. Налаштування регуляторів у традиційних системах автоматичного регулювання є досить складним і потребує детального коригування параметрів коефіцієнта передачі  $K_p$  постійного інтегрування об'єкта  $T_i$ . Під час проведення налагоджувальних робіт це виконується вручну, як правило, під час використання перехідної характеристики системи. Спираючись на сучасні методи вирішення подібних завдань, пропонується проаналізувати їх на основі теорії нечіткої логіки.

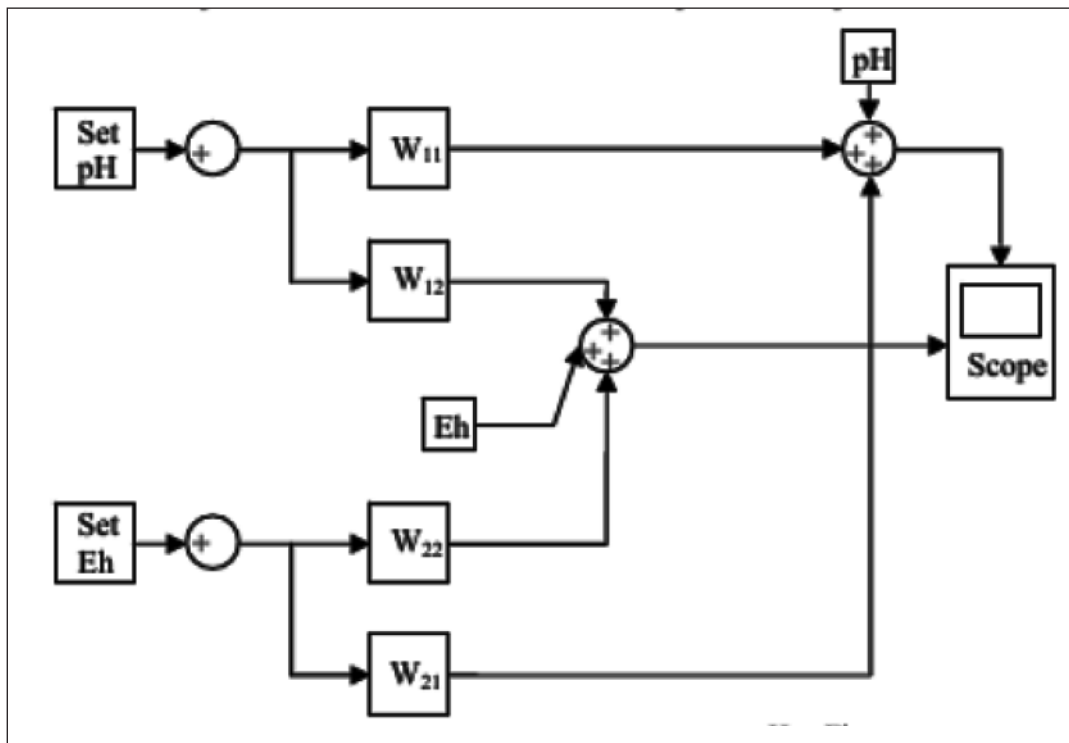


Рис. 1. Реалізована в середовищі MatLab математична модель процесів ступінчатого регулювання параметрів рН та Eh

Для проведення процедури адаптації розробляється нечітка адаптивна модель системи з використанням нечіткого адаптера, який працює на основі алгоритму Мамдані (рис. 2).

$N$  – зовнішні збурення;  $Z$  – завдання;  $T_p$  – час регулювання;  $A_I$  – перша амплітуда перехідного процесу;  $Y$  – вихідне значення

Під час розрахунку параметрів за допомогою формул складно отримати оптимальні налаштування регулятора, оскільки аналітичні розрахунки найчастіше базуються на спрощених моделях

об'єкта. Також у цьому випадку не враховується нелінійності, присутні в керуючому впливі, а параметри  $K_p$  та  $T_u$  мають певні похибки.

Спосіб коригування параметрів динамічного налаштування щодо розрахованих значень може бути якісним або нечітким. Останній реалізується у вигляді лінгвістичних правил, які були складені досвідченим шляхом:

– якщо перехідний процес характеризується слабкими коливаннями та великою тривалістю, то коефіцієнт пропорційності слід збільшити, а постійний час – зменшити;

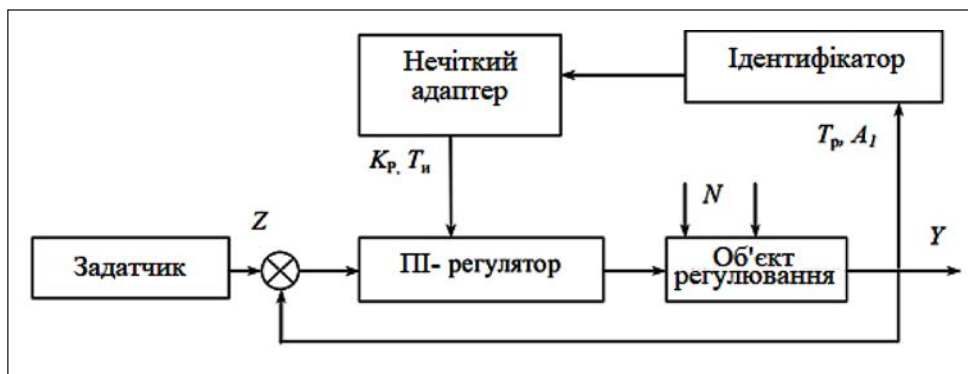


Рис. 2. Структурна схема нечіткої адаптивної САР

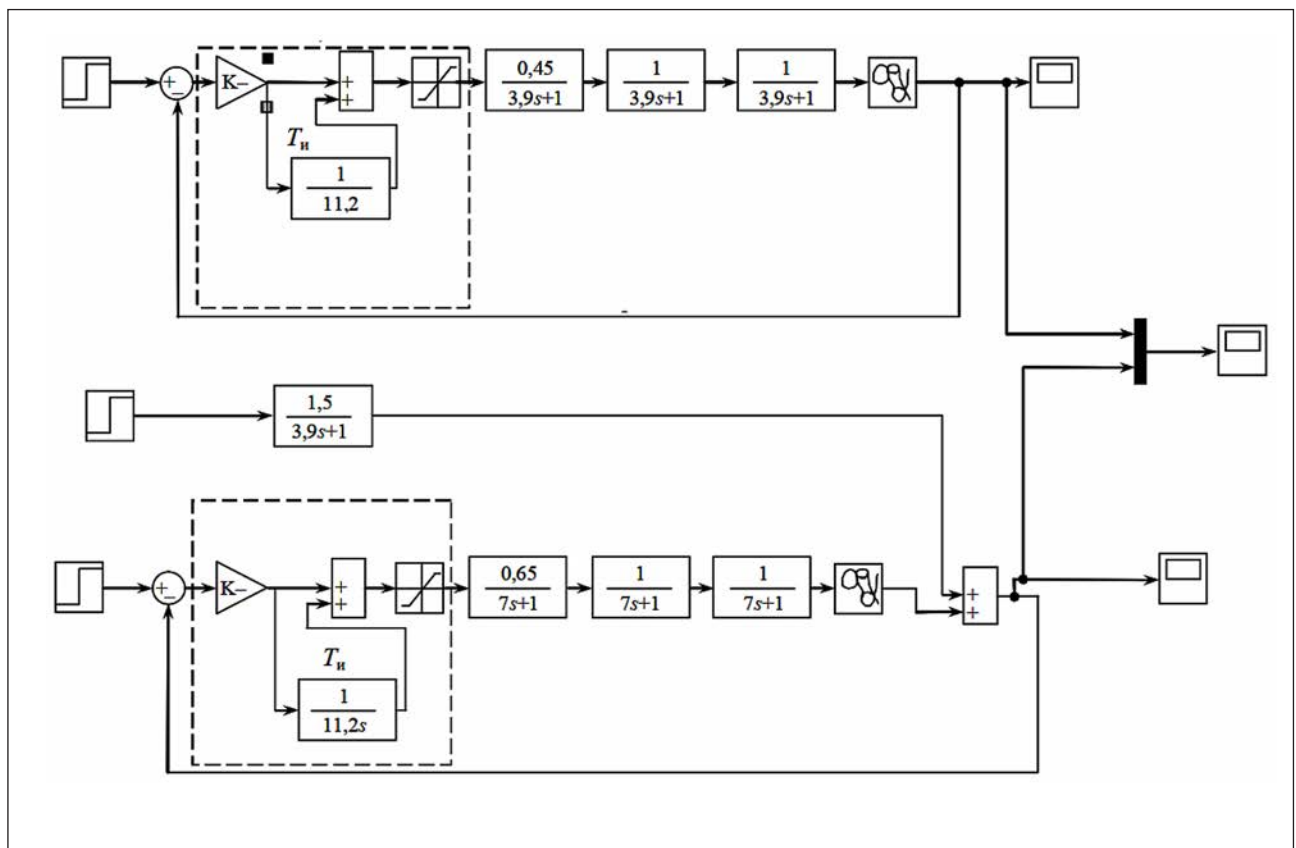


Рис. 3. Структурна схема моделювання САР з використанням нечіткого адаптера



– якщо перехідний процес характеризується сильними коливаннями, коефіцієнт пропорційності треба зменшити.

Для налаштування регуляторів динамічних систем автоматичного регулювання є такі правила:

– збільшення коефіцієнта  $K_p$  підвищує швидкість та знижує запас стійкості;

– зменшення коефіцієнта  $T_i$  призводить до того, що помилка регулювання з плином часу зменшується швидше;

– зменшення коефіцієнта  $T_d$  знижує запас стійкості;

– збільшення коефіцієнта  $K_d$  підвищує швидкість та запас стійкості.

У межах комп'ютерного моделювання припустимо, що передатна функція об'єкта регулювання складається з декількох аперіодичних ланок із запізненням:

$$W(S) = \frac{K_p}{(T_u(S) + 1)^n} e^{-\tau(s)},$$

де значення випадковим чином поступово змінюються до 60% із плином часу;  $S$  – оператор Лапласу. Нехай передатна функція об'єкта регулювання по каналу завдання  $Z - Y$  дорівнює:

$$W(S)^{Z-Y} = \frac{0,45}{(3,9S + 1)^3} e^{-0,52S}$$

Використовуючи налаштування, отриманні з формул, з показником коливальності для регуля-

тора  $M = 1,55$ , отримаємо  $K_p = 3,86$ ;  $T_i = 11,18$ . Тестування налаштувань проводилось у програмному пікеті MatLab (Simulink), де було побудовано комп'ютерну модель САР (рис. 3) та отримано її перехідні характеристики (рис. 4, 5).

Для тестування стійкості системи у модель додається канал зовнішнього збурення  $N-Y$  з передатною функцією:

$$W(S)^{N-Z} = \frac{1,5}{3,9S + 1}$$

та збільшуються значення параметрів об'єкта  $K_p$  та  $T_i$  на 60%. У результаті маємо таке:

$$W(S)^{Z-Y} = \frac{0,65}{(7S + 1)^3} e^{-0,52S}$$

Вимоги до процесу регулювання були такі:  $A1 < 1,5$ ,  $T_p < 60$  с. На основі аналізу можна сказати, що показники якості об'єкта погіршились, об'єкт є на межі ділянки стійкості та регулятор необхідно адаптувати під нові умови роботи об'єкта (рис. 4).

Під час розроблення нечіткого адаптера САР у середовищі MatLab для блока, який реалізує алгоритм Мамдані, було задано два входи –  $A_1$ ,  $T_p$ , та два входи –  $K_p$ ,  $T_i$ . Використовуються функції належності  $Z$ - та  $S$ -подібного типу. Визначено дві нечіткі множини – мала ( $M$ ) та велика ( $B$ ) та універсуми вхідних і вихідних параметрів. Нечіткі множини описані за допомогою лінгвістичних змінних  $z$  і  $s$  та зображено аналітичним методом за формулами  $Z$ - та  $S$ -подібних функцій. Отже, маємо:

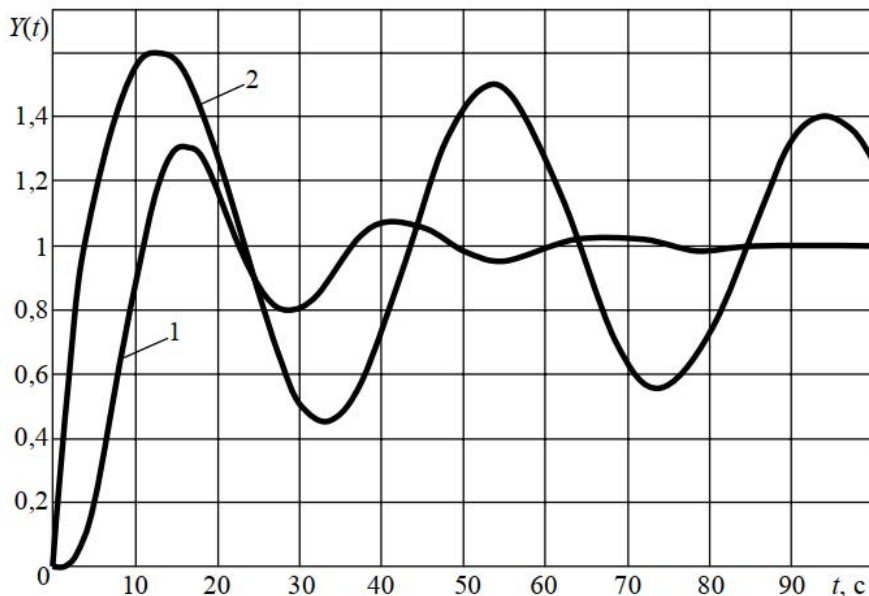


Рис. 4. Перехідні процеси нечіткої САР по каналу завдання: 1 – детермінований об'єкт; 2 – невизначений об'єкт

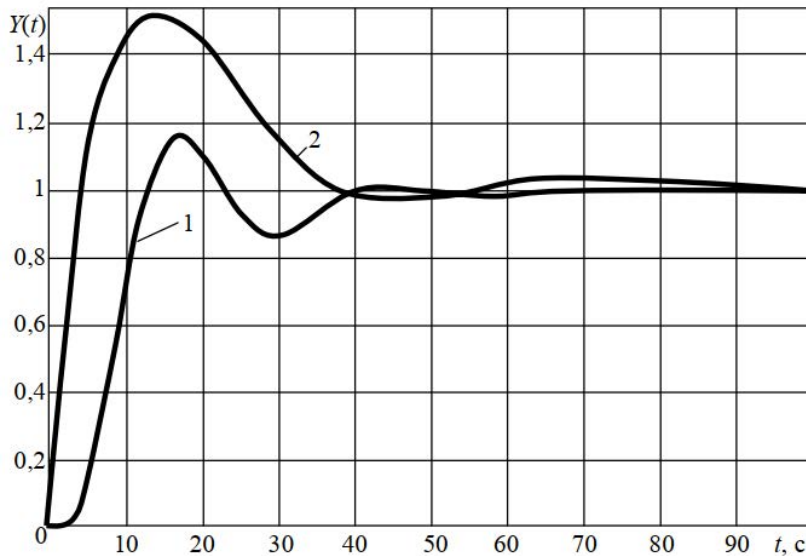


Рис. 5. Перехідні процеси нечіткої САР з новими налаштуваннями нечіткого адаптера: 1 – детермінований об’єкт; 2 – невизначений об’єкт

$$f_{\downarrow}z(x, a, b) = \left\{1, \frac{b-x}{b-a}, 0, x \leq aa < x < bb \leq x \right\},$$

$$f_{\uparrow}z(x, a, b) = \left\{0, \frac{x-a}{b-a}, 1, x \leq aa < x < bb \leq x \right\},$$

де  $a$  та  $b$  – числові параметри, які приймають певні дійсні значення та впорядковані відношенням  $a > b$  на функції належності  $f(x, a, b)$ .

Як метод усунення спотворень обрано метод центру ваги, за якого:

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pi} \mu(K_{pi})}{\sum_{i=1}^n \mu(K_{pi})},$$

$$T_i = \frac{\sum_{i=1}^n K_{pi} \mu(T_{ui})}{\sum_{i=1}^n \mu(T_{ui})}$$

База знань розроблена на базі експериментальних даних і рекомендацій у середовищі MatLab.

Таблиця 1

**База знань нечіткого адаптера**

IF (A1 is M) and (TP is M) then (KP is B)(TI is M) (1)
IF (A1 is M) and (TP is B) then (KP is M)(TI is B) (1)
IF (A1 is B) and (TP is M) then (KP is M)(TI is M) (1)
IF (A1 is B) and (TP is B) then (KP is M)(TI is B) (1)

У результаті аналізу роботи нечіткого регулятора за вхідних значень  $A_i = 1,6$  та  $T_p = 100$  с було отримано такі налаштування:  $K_p = 1,58$ ,  $T_u = 19,4$ . Доведено ефективність роботи адаптера за допустимих показників якості  $A_i = 1,3$ ,  $T_p = 55,2$  с, які були визначені по перехідному процесу. Підставивши

отримані налаштування, отримаємо перехідні процеси (рис. 5), які відповідають необхідним вимогам.

**Висновки.** З аналізу перехідних характеристик можна зробити висновок, що САР, діючи на основі нечіткої логіки, є більш ефективною порівняно з використанням традиційного методу. Класичний метод затухаючих коливань у цьому випадку продемонстрував значно довший час регулювання, хоча можна зазначити відсутність помилки регулювання. Та треба взяти до уваги, що такий результат у методі затухаючих коливань був досягнутий лише завдяки експертному ручному налаштуванню ПІ-регулятора, ба більше, у чистому вигляді він призвів до розбіжного аперіодичного процесу. Це, у свою чергу, демонструє перевагу експертних методів, які реалізуються у нечітких моделях, порівняно з класичними. Хоча на основі проведеної роботи видно, що налаштування нечіткого регулятора – досить складний процес. Як видно, у разі невеликих збурень САР із нечітким адаптером викликає недопустиму помилку регулювання, яка може бути вирішена зміною завдання. Але можна зазначити, що, маючи всього декілька правил у базі знань, регулятор, який працює на основі нечіткого алгоритму, продемонстрував менший час регулювання порівняно з класичним регулятором. Зважаючи на це, можна отримати рекомендації для подальшого налаштування нечітких систем автоматичного регулювання, а саме: пошук та апробацію більш ефективних алгоритмів і використання баз знань з експертним або адаптивним налаштуванням.

**Список літератури:**

1. Плетньов Г.П. Автоматизоване управління об'єктами теплових електростанцій. Москва : Энергоиздат, 1981. 159 с.
2. Maly J., Hlavinek P. Cistení průmyslových odpadních vod. Brno : NOEL, 2000. 255 p.
3. Филипчук В.Л. Очищення багатоконпонентних металовміщуючих стічних вод промислових підприємств. Рівне : УДУВГП, 2004. 232 с.
4. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. Москва : Металлургия, 1989. С. 205–224.
5. Филипчук Л.В. Комплексне ступінчате регулювання рН та Eh стічних вод із застосування системи автоматичного введення реагентів. *Вісник НУВГП*. Рівне, 2011. № 4 (55), С. 63–71.
6. Коптев В.С., Манусова Н.Б. Автоматический контроль процессов электрохимической очистки хромосодержащих сточных вод. *Труды ВНИИВОДГЕО. Автоматизация и управление системами водоснабжения и водоотведения*. Москва : ВНИИВОДГЕО, 1988. С. 8–10.
7. Усков А.А., Кузьмин А.В. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечеткая логика. Москва : Горячая Линия-Телеком, 2004. 143 с.

**Loshak K.R., Beglov K.V. ADJUSTMENT OF THE FUZZY REGULATOR FOR AUTOMATIC CONTROL OF PARAMETERS IN THE MIXING TANK OF CHEMICAL SUBSTANCES**

*The peculiarity of modern metal-containing wastewater of industrial enterprises is the presence in their composition of a wide range of chemicals. They are characterized by high concentrations of contaminants, significant fluctuations in their quantity and composition, the presence of a wide range of organic impurities (surfactants, emulsified impurities, phenols, petroleum products, etc.) and salts. The large number of components in the wastewater adversely affects the quality and complexity of their treatment. Methods for cleaning can be used such as: introduction of reagents that contribute to the deposition of metals, sorption of organic impurities, the aggregation of small particles (colloids), the destruction of complexes, reduction and oxidation. Acids are used to acidify the treated wastewater to a neutral pH level before being discharged into water or sewage, alkalis to precipitate heavy metals.*

*The main ways of influencing the redox processes of wastewater treatment is to control the pH and redox potential of Eh by regulating various reagents: alkalis, acids, reducing agents and oxidizing agents. Development of modern systems of automatic regulation of parameters Eh and pH requires improvement of existing algorithms of functioning of automation systems, development of adequate mathematical models of contours of control and introduction of computer simulation for obtaining optimal system parameters.*

*In industry, with frequent changes in the concentration of wastewater chemicals and the effects of uncontrolled disturbances on a control object, the values of its parameters are constantly changing, which requires the manual adjustment of new values of the proportional-integral (PI) controller settings and its adaptation. However, due to time constraints, the complexity of the identification process and the lack of perturbation control, it is often not possible to calculate the optimal values for the controller settings. And this, in turn, leads to a decrease in the efficiency of the entire technological process. Therefore, there is a problem of optimizing the process of adapting the controller.*

*The purpose of this work is to carry out a detailed analysis of the most common methods of tuning typical and fuzzy regulators in the automatic control systems of pH and Eh parameters in multi-component sewage. The object of the study is a mechanical mixing reactor of mechanical type chemicals in the reagent method of wastewater treatment.*

**Key words:** *chemical mixing tank, wastewater neutralization, automated control system, fuzzy controller, proportional-integral controller, passive identification of the control object.*

**Мазур Д.С.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Тіменко А.В.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

**Шкарупило В.В.**

Національний університет біоресурсів і природокористування України

**Кудерметов Р.К.**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## ПІДХІД ДО РЕАЛІЗАЦІЇ OPENFLOW-СУМІСНИХ КОМУТАТОРІВ НА ОСНОВІ RASPBERRY PI

Сьогодні концепція Інтернету речей набуває все більшого поширення у різних сферах застосування. Це пов'язано, зокрема, з інформатизацією і ускладненням виробничих і організаційних процесів, що охоплюють вирішення питань автоматизації, зменшення витрат тощо. Ключова ідея в основі Інтернету речей – «розумні» пристрої взаємодіють між собою без участі людини. Це досягається через введення концепцій «контролера» і OpenFlow-сумісного комутатора, де OpenFlow – протокол взаємодії контролера і комутаторів. Істотним недоліком названих комутаторів є їхня відносно висока вартість. Такий стан речей не завжди є прийнятним для певних сценаріїв застосування. Відповідними прикладами можуть слугувати навчальні і тренувальні сценарії, коли застосування тих чи інших пристроїв унеможлиблюється з фінансової причини. Рішення полягає у використанні як програмно-апаратної основи таких комутаторів поширених і доступних платформ. Прикладом відповідної платформи є Raspberry Pi. Завданням роботи є експериментальне дослідження доцільності застосування програмно-апаратної платформи Raspberry Pi як основи для реалізації OpenFlow-сумісного комутатора, призначеного для функціонування в навчальних і тренувальних сценаріях, з позиції доступності широкому загалу, зручності використання та низької вартості реалізації. Експериментальні дослідження проведено на основі платформи мінімальної конфігурації Raspberry Pi Zero і базової платформи Raspberry Pi 3 Model B. Як програмний складник задіяно відкриту платформу Open vSwitch – віртуальне середовище, що реалізує функціонал комутатора. Одержані результати показали обґрунтованість використання названих платформ як основи для реалізації OpenFlow-сумісного комутатора, призначеного для функціонування в навчальних і тренувальних сценаріях, з позиції доступності широкому загалу, зручності використання та доступної вартості реалізації.

**Ключові слова:** OpenFlow, Raspberry Pi, Інтернет речей, комутатор, програмно-конфігурована мережа.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан розвитку інформаційно-комунікаційних технологій можна охарактеризувати так: усе більшого поширення набуває концепція Інтернету речей (IoT, Internet of Things). Згідно з цією концепцією, велика кількість (тисячі, мільйони) «розумних» пристроїв (мобільні засоби зв'язку, побутові пристрої тощо) взаємодіють між собою без участі людини з метою автоматизації тих чи інших бізнес-процесів [1]. Прикладами відповідних предметних галузей можуть слугувати такі сценарії застосування: «розумна оселя», «розумне місто» тощо. Метою організації такої взаємодії між пристроями можуть

бути, зокрема, пришвидшення тих чи інших бізнес-процесів, зниження супутніх цим процесам матеріально-технічних витрат, наприклад витрат енергії. Створення відповідних систем потребує переосмислення ідеології мереж у їхній основі. У цьому контексті має місце концепція програмно-конфігурованих мереж (SDN, Software-defined Networking) [2]. Ключовими перевагами від реалізації систем згідно з названою концепцією є такі позиції: можливість централізованого управління компонентами мережі, програмованість, реконфігурованість. Озвучені позиції є взаємопов'язаними. Їхня реалізація стала можливою завдяки виокремленню двох



архітектурних рівнів SDN-мереж – рівня управління (Control Plane) і рівня передачі даних (Data Plane). При цьому оперують поняттями «контролера», комутатора і вузла, що є основними типами компонентів програмно-конфігурованих мереж. Контролер відіграє роль засобу централізованого координування комутаторів.

Взаємодія між контролером і комутатором здійснюється згідно зі спеціально розробленим протоколом – OpenFlow [3]. Цей протокол постійно вдосконалюється і оновлюється консорціумом ONF (Open Networking Foundation). Одна з останніх версій – 1.5.1 [4]. Щоб комутатор можна було включити до складу SDN-мережі, він має підтримувати принаймні початкову версію протоколу OpenFlow. Представниками відповідного обладнання нині є, зокрема, продукція NoviFlow [5], Centec [6] тощо. Попри високі технічні та експлуатаційні характеристики такого обладнання, у нього є вагомий недолік – вартість придбання і супроводження. У результаті цього для тих чи інших сценаріїв застосування актуальності набуває проблема пошуку альтернативних рішень, зокрема власної реалізації. Особливої уваги, на нашу думку, при цьому заслуговують навчальні і тренувальні сценарії застосування OpenFlow-сумісних комутаторів, коли використання спеціалізованого обладнання не є за тих чи інших обставин можливим або економічно обґрунтованим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найявні рішення у напрямі створення і застосування OpenFlow-сумісних комутаторів у навчальних і тренувальних сценаріях умовно можна розділити на дві групи – такі, що передбачають використання засобів емуляції, і такі, що ґрунтуються на використанні уніфікованих платформ. У першому випадку поширення набуло використання емулятора Mininet [7, с. 6; 8, с. 172]. Також має місце використання емуляторів EstiNet [9], ns-3 [10], OpenNet [11], що, однак, є менш поширеними. Використання емуляторів при цьому розглядається як доповнювальний засіб. Як представника другої групи можна навести рішення на основі платформи NetFPGA – відкритої платформи, призначеної для дослідницьких цілей [12]. Відповідне рішення характеризується пропусковою спроможністю близько 1 Гб/с і було протестоване на базі кампусу Стенфордського університету. Попри задовільні технічні характеристики, адаптація таких OpenFlow-сумісних комутаторів для навчальних і тренувальних цілей потребує високого рівня вузькоспеціалізованих знань і вмінь, що є, на нашу думку, суттєвим недоліком.

У контексті зниження вартості реалізації доречним убачається використання поширеної програмно-апаратної платформи Raspberry Pi як основи для OpenFlow-сумісного комутатора [13]. Альтернативою може вбачатися платформа ZodiacFX, яка, однак, майже втричі дорожча [14]. Ба більше, конкурентоспроможність платформи Raspberry Pi як альтернативи NetFPGA з позицій продуктивності (співставна) і вартості реалізації (рішення на базі Raspberry Pi має в десятки разів меншу вартість) вже була показана раніше [15, с. 759–761]. На жаль, ці дослідження не показують, яка саме платформа Raspberry Pi використовується і як вибір тієї чи іншої платформи впливає на продуктивність результуючої системи. Пошуку відповіді на це питання і присвячена робота.

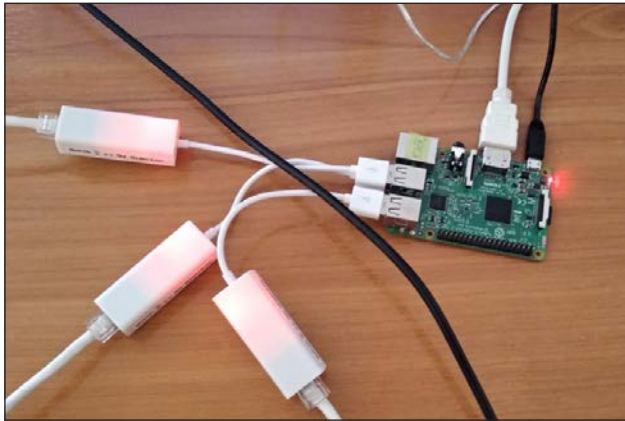
Отже, результати проведеного аналізу останніх досліджень і публікацій демонструють, на нашу думку, актуальність створення OpenFlow-сумісних комутаторів, використання яких вирізнялося би такими перевагами: доступність широкому загалу, що відображає саму концептуальну ідею Інтернету речей; зручність використання; доступна вартість реалізації.

**Постановка завдання.** Завданням роботи є експериментальне дослідження доцільності використання програмно-апаратної платформи Raspberry Pi як основи для реалізації OpenFlow-сумісного комутатора, призначеного для використання в навчальних і тренувальних сценаріях, з позицій доступності широкому загалу, зручності використання та доступної вартості реалізації.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Підхід до проведення експериментальних досліджень згідно з поставленим завданням полягає в такому. Як тестові платформи використовуються Raspberry Pi Zero (мінімальна конфігурація, що передбачає найпоміркованіші витрати) (рис. 1) [16], а також Raspberry Pi 3 Model B (базова конфігурація) (рис. 2) [17].



Рис. 1. Тестовий стенд на базі платформи Raspberry Pi Zero



**Рис. 2. Тестовий стенд на базі платформи Raspberry Pi 3 Model B**

Варто зазначити, що у випадку платформи Raspberry Pi Zero підключення вузлів здійснювалося через спеціалізований пристрій – OTG-адаптер (One-to-Go), оскільки сама платформа має лише один вільний Micro-USB OTG-порт (рис. 1). Передбачається, що таке обмеження негативним чином відобразиться на продуктивності результуючого OpenFlow-сумісного комутатора на її основі.

Як програмний складник використано віртуальне середовище Open vSwitch [18].

Результати проведених експериментальних досліджень подано в табл. 1–3. Для замірювання продуктивності використано команду «iperf». У таблицях подано середні значення 10 замірів.

У табл. 1 показано залежність швидкості передачі даних від розміру пакетів і інтервалу їх слідування. З табл. 1 видно, що швидкість передачі даних для трьох підключень істотно знизилась.

Систему з двома підключеними вузлами було зібрано також на основі платформи Raspberry Pi Zero (табл. 2) [16]. Це дасть змогу, зокрема, оцінити вплив використання OTG-адаптера у схемі підключення.

Результати, подані в табл. 2, дещо нижчі за такі, наведені в табл. 1, оскільки підключення вузлів здійснюється через OTG (One-to-Go) USB-пристрій, а не напряму до портів Raspberry Pi – маємо лише один вільний Micro USB OTG-порт (інший задіяно для живлення пристрою).

Узагальнені результати подано в табл. 3.

З табл. 3 видно, що для випадку трьох підключених вузлів швидкодія результуючої системи є суттєво нижчою – у 2,43–2,51 рази. Ба більше, порівнюючи швидкість обміну даними між вузлами програмно-конфігурованої мережі через комутатори на основі платформ Raspberry Pi 3 Model B і Raspberry Pi Zero, можна зазначити суттєву перевагу першого рішення – 44–50%. Це переважно зумовлено таким фактором: наявністю лише одного вільного USB-порту в більш економічній платформі Raspberry Pi Zero і, як наслідок, потребою використання USB OTG-порту – для підключення вузлів мережі.

Проведені результати тестування показали придатність використання платформ Raspberry Pi 3 Model B і Raspberry Pi Zero як основи для реалізації OpenFlow-сумісних комутаторів. Істотним недоліком при цьому є відносно низька пропускна спроможність відповідних каналів передачі даних, зумовлена апаратними обмеженнями платформи Raspberry Pi. Як вагома перевага є істотно нижча вартість таких рішень, що є суттєвим аргументом

Таблиця 1

**Швидкодія тестового стенду на платформі Raspberry Pi 3 Model B з двома і трьома підключеними вузлами (комп'ютерами)**

Інтервал, с	Два підключення		Три підключення	
	Розмір пакету, КБ	Швидкість передачі даних, Мбіт/с	Розмір пакету, КБ	Швидкість передачі даних, Мбіт/с
0–1	640	5,20	252	2,06
1–2	384	3,17	189	1,55
2–3	512	4,19	63	0,52
3–4	384	3,14	126	1,03
4–5	512	4,20	252	2,06
5–6	384	3,14	189	1,55
6–7	512	4,20	189	1,55
7–8	384	3,14	189	1,55
8–9	512	4,19	189	1,55
9–10	384	3,15	189	1,55

Таблиця 2

**Швидкодія тестового стенду на платформі Raspberry Pi Zero з двома підключеними вузлами (комп'ютерами)**

Інтервал, с	Розмір пакету, КБ	Швидкість передачі даних, Мбіт/с
0–1	512	4,19
1–2	256	2,10
2–3	256	2,10
3–4	384	3,15
4–5	256	2,10
5–6	256	2,10
6–7	256	2,10
7–8	384	3,14
8–9	256	2,10
9–10	384	3,15

на користь використання названої платформи для реалізації OpenFlow-сумісних комутаторів, призначених для навчальних і тренувальних цілей, зокрема для підготовки спеціалістів у сфері програмно-конфігурованих мереж.

**Висновки.** Результати проведених експериментальних досліджень показали, що використання платформи Raspberry Pi, зокрема її варіацій Raspberry Pi 3 Model B і Raspberry Pi Zero, є дієвим рішенням із позиції зменшення матеріальних

витрат на OpenFlow-сумісні комутатори. Такий підхід охарактеризовано як прийнятний із позиції навчальних сценаріїв застосування, зокрема під час підготовки кваліфікованих спеціалістів у напрямі роботи з програмно-конфігурованими мережами.

Експериментальним шляхом продемонстровано, що використання платформи Raspberry Pi 3 Model B замість альтернативи Raspberry Pi Zero як основи OpenFlow-сумісного комутатора супроводжується такими перевагами:

- більшою швидкістю передачі даних між підключеними до комутатора вузлами – на 44–50%. Це зумовлено потребою залучення спеціалізованого USB OTG-пристрою, оскільки платформа Raspberry Pi Zero має лише один вільний USB-порт;

- більшою кількістю потенційно можливих підключень вузлів до комутатора на основі платформи Raspberry Pi 3 Model B. У розпорядженні – чотири вільних порти.

Отже, проведені експериментальні дослідження підтвердили доцільність використання програмно-апаратної платформи Raspberry Pi як основи для реалізації OpenFlow-сумісного комутатора, призначеного для застосування в навчальних і тренувальних сценаріях, з позицій доступності широкому загалу, зручності і використання, доступної вартості реалізації.

Таблиця 3

**Узагальнені результати для платформ Raspberry Pi 3 Model B і Raspberry Pi Zero**

К-ть підключень	Передано, МБ		Швидкість передачі даних, Мбіт/с	
	Відправник	Одержувач	Відправник	Одержувач
Платформа Raspberry Pi 3 Model B				
2	4,50	4,35	3,77	3,65
3	1,78	1,78	1,5	1,5
Raspberry Pi Zero				
2	3,12	2,89	2,62	2,43

**Список літератури:**

1. Atzori L., Iera A., Morabito G. The Internet of Things: a survey. *Computer Networks*. 2010. Vol. 54. No. 15. P. 2787–2805.
2. Feamster N., Rexford J., Zegura E. The road to SDN: an intellectual history of programmable networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. 2014. Vol. 44. No. 2. P. 87–98.
3. McKeown N., Anderson T., Balakrishnan H., Parulkar G., Peterson L., Rexford J., Shenker S., Turner J. OpenFlow: enabling innovation in campus networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*. 2008. Vol. 38 No. 2. P. 69–74.
4. OpenFlow Switch Specification, Version 1.5.1 (Protocol version 0x06 ). URL: <https://www.opennetworking.org/wp-content/uploads/2014/10/openflow-switch-v1.5.1.pdf> (дата звернення: 05.11.2019).
5. OpenFlow Switches. URL: <https://shop.stordis.com/en/switches/openflow-switches> (дата звернення: 05.11.2019).
6. SDN/OpenFlow Switch. URL: <http://www.centecnetworks.com/en/SolutionList.asp?ID=41> (дата звернення: 05.11.2019).



7. Шкарупило В.В., Кудерметов Р.К., Мазур Д.С., Скарга-Бандурова І.С., Шумова Л.О., Великжанін А.Ю., Харченко В.С., Узун Д.Д., Узун Ю.О., Годованюк П.А. Програмно-конфігуровані мережі та Інтернет речей : практикум / за ред. Р.К. Кудерметова. МОН України, Запорізький національний технічний університет, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2019. 129 с.
8. Shkarupylo V.V. SDN programming and simulation of SDN composing, configuring and scaling. Internet of Things for Industry and Human Application. In Volumes 1–3. Vol. 2. *Modelling and Development* / V.S. Kharchenko (ed.). Ministry of Education and Science of Ukraine, National Aerospace University KhAI, 2019. P. 165–193.
9. Wang S-Y. Comparison of SDN OpenFlow network simulator and emulators: EstiNet vs. Mininet. *Computers and Communication* : 2014 IEEE Symposium (Funchal, Portugal, 23–26 Jun. 2014). Funchal, 2014. P. 1–6.
10. Ivey J., Yang H., Zhang C., Riley G. Comparing a scalable SDN simulation framework built on ns-3 and DCE with existing SDN simulators and emulators. *Principles of Advanced Discrete Simulation* : 2016 annual ACM Conference (Banff, Alberta, Canada, 15–18 May 2016). 2016. P. 153–164.
11. Chan M.-C., Chen C., Huang J.-X., Kuo T., Yen L.-H., Tseng C.-C. OpenNet: A simulator for software-defined wireless local area network. *Wireless Communications and Networking* : 2014 IEEE Conference (Istanbul, Turkey, 6–9 April 2014). P. 3333–3337.
12. Naous J., Erickson D., Covington G.A., Appenzeller G., McKeown N. Implementing an OpenFlow switch on the NetFPGA platform. *Architectures for Networking and Communications Systems* : 4th ACM/IEEE Symposium (San Jose, California, 06–07 Nov. 2008). San Jose, 2008. P. 1–9.
13. Maksimović M., Vujović V., Davidović N., Milošević V., Perišić B. Raspberry Pi as Internet of Things hardware: performances and constraints. *Electrical, Electronic and Computing Engineering* : 1st International Conference (Vrnjačka Banja, Serbia, 2–5 June 2014). Vrnjačka Banja, 2014. P. 1–6.
14. Nazir F., Humayun Q., Ahmad R. B., Elias S.J. Software-defined Network testbed using ZodiacFX a hardware switch for OpenFlow. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*. 2017. Vol. 4. No. 14. P. 1–6.
15. Kim H., Kim J., Ko Y.-B. Developing a cost-effective OpenFlow testbed for small-scale Software Defined Networking. *Advanced Communication Technology* : 16th International Conference (Pyeongchang, South Korea, 16–19 Feb. 2014). Pyeongchang, 2014. P. 758–761.
16. Raspberry Pi Zero. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-zero/> (дата звернення: 05.11.2019).
17. Raspberry Pi 3 Model B. URL: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> (дата звернення: 05.11.2019).
18. Pfaff B., Pettit J., Koponen T., Jackson E., Zhou A., Rajahalme J., Gross J., Wang A., Stringer J., Shelar P., Amidon K., Casado M. The Design and Implementation of Open vSwitch. *Networked Systems Design and Implementation* : 12th USENIX Symposium (Oakland, CA, USA, 4–6 May 2015). Oakland, 2015. P. 117-130.

**Mazur D.S., Timenko A.V., Shkarupylo V.V., Kudermetov R.K. APPROACH TO OPENFLOW-COMPATIBLE SWITCHES IMPLEMENTATION ON THE BASIS OF RASPBERRY PI**

Nowadays, the concept of the Internet of Things acquires the constantly growing popularity in diverse spheres of implementation. It depends, in particular, on informatization and complication of production and organizational processes, encompassing resolving the tasks of automation, costs reduction etc. The main idea of the Internet of Things is as follows: “smart” devices communicate to each other without the participation of human being. It is achieved through the introduction of the concepts of “controller” and OpenFlow-compatible switch, where the OpenFlow is the communication protocol between the controller and switches. The significant drawback of these switches is their comparatively high cost. This position is not always acceptable for certain usage scenarios. Corresponding examples are educational and training scenarios, when the usage of certain devices can be hindered by the financial aspect. The solution can be found in utilization of open platforms, e.g., Raspberry Pi, as the basis for OpenFlow-compatible switches. The task resolved in this paper – experimentally prove the expediency of Raspberry Pi platform usage as the basis of OpenFlow-compatible switch to be involved in educational and training scenarios, matching the requirements of availability, easiness of use and low implementation cost. The experiments have been conducted on the basis of Raspberry Pi Zero platform (minimal configuration) and Raspberry Pi 3 Model B platform (typical configuration). An Open vSwitch software has been used as virtualization environment. The results obtained have proved the expediency of aforementioned platforms utilization as the basis of OpenFlow-compatible switch, devoted to be applied for educational and training purposes and meeting the requirements of availability, easiness of use and affordable implementation cost.

**Key words:** OpenFlow, Raspberry Pi, Internet of Things, switch, software-defined network.



УДК 621.311.25

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/21>**Озерова Д.С.**

Одеський національний політехнічний університет

**Уліцька О.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ ВОДИ В ГРУПІ ПІДГРІВАЧІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

*Атомна енергетика за досить короткий час свого існування зарекомендувала себе як один із найбільш перспективних напрямів розвитку енергетики. Якщо говорити про роботу електростанцій, то їхнє устаткування повинне працювати як єдиний організм, націлений на рішення кінцевого завдання. Досягти цього можна тільки тоді, коли всі системи та процеси пов'язані воедино автоматизованою системою управління технологічними процесами. Саме автоматизація технологічних процесів розвивається високими темпами, вона відіграє революційну роль у науково-технічному прогресі.*

*АЕС є складним комплексом інженерно-технологічного устаткування, для забезпечення надійної, безпечної та ефективної роботи якого в проєкті станції передбачено низку систем, що безпосередньо не беруть участі у процесі виробництва електричної та теплової енергії. Але саме ці системи необхідні для вирішення деяких важливих питань. До цих запитань можна віднести такі: постачання енергоблоків технологічними середовищами (технічна вода, гази високого тиску, хімічні реагенти); утилізація відходів, що виникають у процесі роботи устаткування енергоблоків; очищення і підготовка води, використовуваної в різних системах енергоблоків АЕС; подання технічної води до теплообмінних пристроїв і споруд.*

*Предметом дослідження у статті є Запорізька атомна електростанція (ЗАЕС), а об'єктом – група підігрівачів високого тиску (ПВТ-6, ПВТ-7).*

*Актуальність дослідження полягає в тому, що автоматична система регулювання рівня води в групі підігрівачів високого тиску дає змогу за отриманими даними управляти процесами у ПВТ, що значно збільшує надійність роботи та забезпечує виконання вимог із технічної і екологічної безпеки виробництва енергії.*

**Ключові слова:** АЕС, автоматична система регулювання, підігрівач високого тиску, конденсат, живильна вода, рівень.

**Постановка проблеми.** Основу енергоблока АЕС утворюють ядерна паропродуктивна установка (далі – ЯПВУ) і паротурбінна установка. Технологічні системи та обладнання другого контуру, що є складовою ланкою теплової схеми АЕС, відображають основний технологічний процес – процес виробництва електроенергії.

Для того щоб система працювала без аварійних ситуацій, треба контролювати та регулювати рівень конденсату у ПВТ. Регенеративна система високого тиску призначена для підігрівання поживної води турбоустановки К-1000-60/1500-2(М) паром, що частково відпрацювала в проточній частині турбіни. Джерелом нагріву води у ПВТ є пара, що відбирається першим і другим відборами від турбоустановки. Відбори ці називаються регенеративними відборами. У ПВТ є дві зони нагріву поживної води. В одній із них відбувається конденсація пари (власне підігрівач), а в іншій – охо-

лодження конденсату (охолоджувач дренажу) [2, с. 41–43].

Порушення в роботі будь-якого допоміжного елемента системи регенерації високого тиску, як правило, є висхідною подією відхилення від режиму нормальної експлуатації устаткування технологічних систем енергоблока. Один із найважливіших параметрів ПВТ – це рівень конденсату пари, що гріє. Підтримка цього параметра реалізує основну мету ПВТ – підігрів води для парогенератора. Підвищення рівня КГП у ПВТ може призвести до затоплення змійовиків і, як наслідок, потрапляння вологи в турбіну, що призведе до аварії з ушкодженням лопаток турбіни. Зниження рівня призводить до оголення змійовиків, підвищення в ньому тиску, що, у свою чергу, може призвести до розриву. Контроль рівня КГП забезпечує безаварійну роботу всього блока. Для управління рівнем конденсату в групі підігрівачів

високого тиску треба розробити АСР, яка повинна відповідати відповідним критеріям якості.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення та дослідження автоматичної системи регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів високого тиску.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо більш детально об'єкт автоматизації. Підігрівання живильної води відбувається в підігрівачах поверхневого типу, які входять до складу системи регенерації високого тиску паротурбінної установки. Це підігрівання заведено називати регенеративним підігріванням живильної води, а підігрівачі, в яких відбувається підігрівання живильної води, – регенеративними підігрівачами високого тиску.

Джерелом нагріву води у ПВТ є пара, що відбирається першим і другим відборами від турбоустановки. Відбори ці називаються регенеративними відборами. Для здійснення регенеративного підігрівання живильної води волога пара зі східців турбіни може відводитися для часткової конденсації в регенеративних підігрівачах і потім повертатися в турбіну для подальшого виробництва робіт у ній. Значне і легке досягнення збільшення термічного ККД (коефіцієнта корисної дії) під час використання регенеративного підігрівання живильної води привело до обов'язкового його використання в усіх паротурбінних установках.

У ПВТ є дві зони нагріву поживної води – це можна побачити на рис. 1.

В одній зоні відбувається конденсація пари (власне підігрівач), а в іншій – охолодження конденсату (охолоджувач дренажу). Пара, що гріє, поступає у верхню частину ПВТ і по трубі, що підводить пару, надходить у зону конденсації пари. У зоні конденсації пари між змійовиками розташовані горизонтальні перегородки, що відводять конденсат до периферії трубної системи та направляють пару, що конденсується, на спіральні змійовики.

У нижній частині трубної системи розташований охолоджувач конденсату, який утворює частину першого ходу води. Його поверхня нагріву становить 364 м<sup>2</sup>. Тут організоване доохолодження конденсату до температури, нижчої за температуру насичення, що відповідає тиску в корпусі підігрівача. У зв'язку з цим не допускається скипання конденсату пари, що гріє, за його каскадного зливу в наступний ПВТ або деаератор [3, с. 35–37].

Встановлено дві групи ПВТ, де до складу кожної групи входять два підігрівачі (група А ПВТ-6,7, група Б ПВТ-6,7). Від ТЖН по трубах протікає живильна вода через ПВТ-6 та ПВТ-7. На ПВТ-7 спрямовується пара першого відбору. На ПВТ-6 спрямовується пара другого відбору.

Конденсат пари, що гріє, з ПВТ-7 скидається у ПВТ-6 своєї групи. КГП ПВТ-6 з кожного тепло-

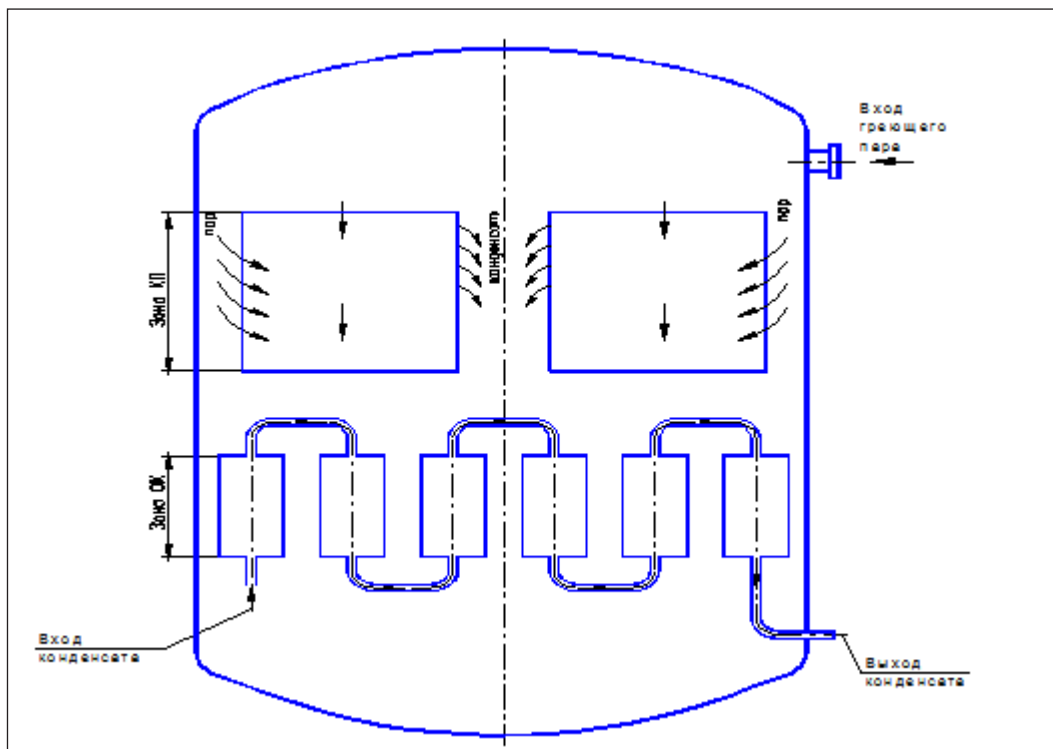


Рис. 1. Схема руху пари та конденсату пари, що гріє в ПВТ-6

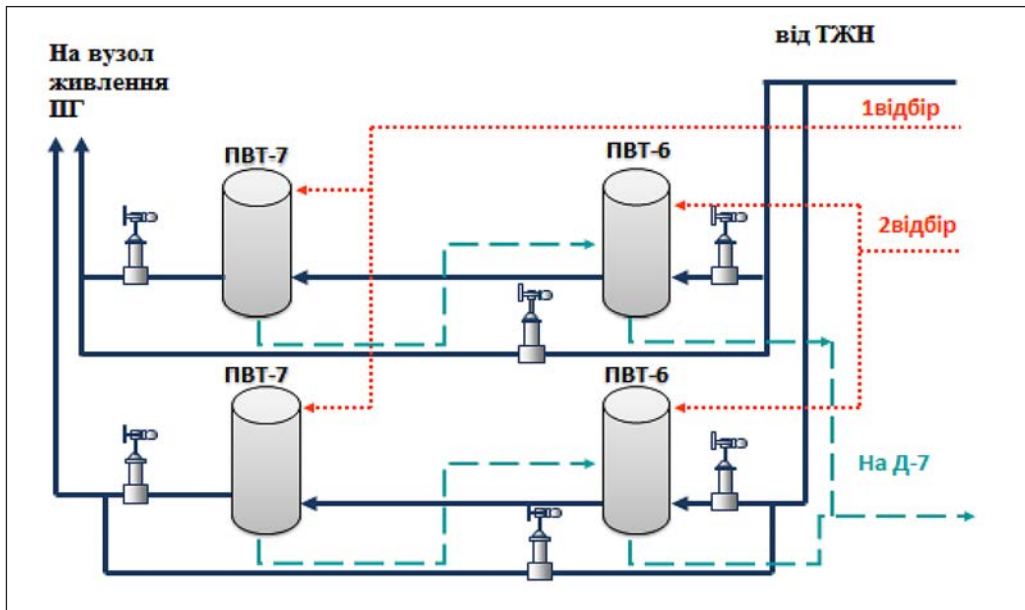


Рис. 2. Принципова схема групи підігрівачів високого тиску

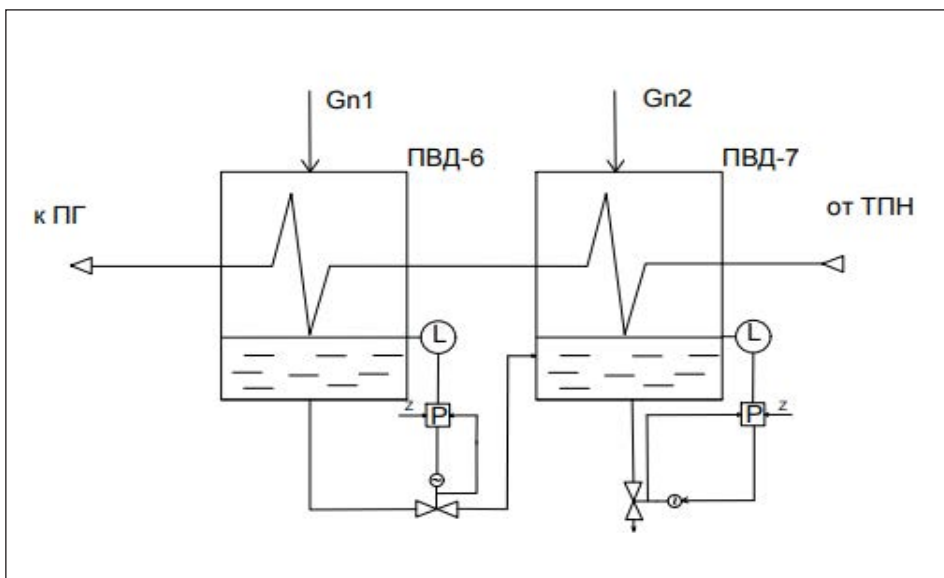


Рис. 3. Принципова схема регулювання рівня конденсату у ПВД

обмінника може бути спрямований або в деаератор, або в розширювальний бак. Принципова схема групи підігрівачів високого тиску наведена на рис. 2.

Зміна рівня рідини в підігрівачах високого тиску пов'язана з витратою пари та конденсату. В цьому випадку на зливному трубопроводі встановлений регулюючий клапан, і конденсат зливається самопливно. Отже, за відсутності насоса на зливі конденсату теплообмінника описується рівнянням інерційної ланки 1-го порядку, тобто стійким об'єктом [4, с. 340]. Принципова схема

регулювання рівня конденсату в ПВД наведена на рис. 3.

Під час проектування системи автоматичного регулювання рівною мірою використовуються як теоретичні, так й експериментальні методи дослідження. Застосування теоретичних методів аналізу й синтезу вимагає попереднього математичного опису системи автоматичного регулювання. Система рівнянь, що описують роботу системи регулювання, називається математичною моделлю АСР. На рис. 4. показано математичну модель підігрівачів високого тиску.

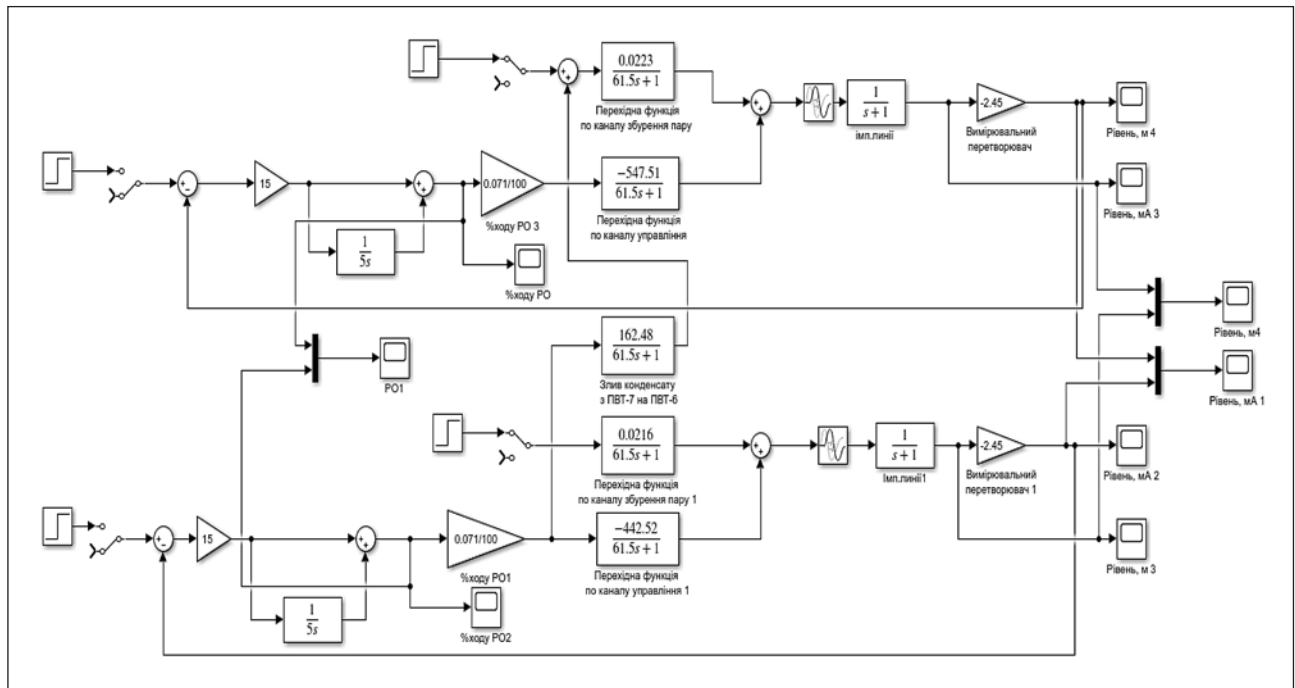


Рис. 4. Математична модель замкненої АСР групи ПВТ у середовищі Simulink

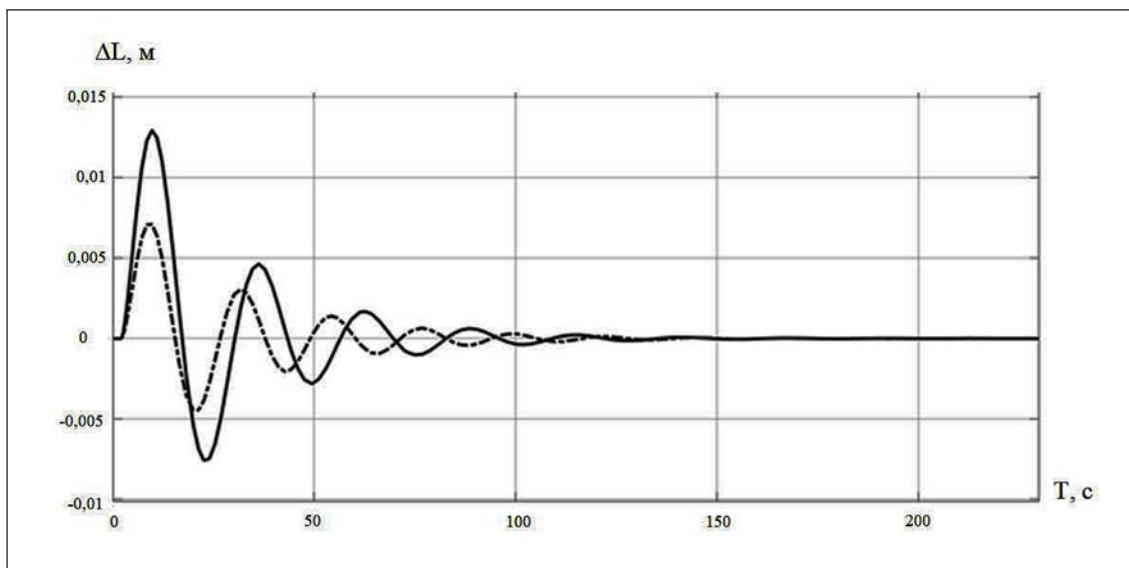


Рис. 5. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в ПВТ-7(-.-) та ПВТ-6(-)

На рисунку 4 можна побачити канали регулювання і збурення. Але ще потрібно враховувати витрату конденсату, що поступає з ПВТ-7 на ПВТ-6. Блоки (gain) з вимірвальним перетворювачем перетворюють отримані сигнали в уніфіковані аналогові струмові сигнали. Блоки (scope) допомагають побачити отримані криві розгону.

У результаті отримано перехідні процеси регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів високого тиску, показання зміни рівня в мм і мА, які зображено на рис. 5 і 6.

Для пояснення процесу так само необхідні графік зміни положення РК під час подачі збурення за витратою пари, що зображено на рис. 7.

Провівши аналіз отриманих перехідних процесів, визначили, що час регулювання  $T_r$  становить 60с, максимальне статичне відхилення не перевищує. Ступінь коливань визначається за формулою:  $\psi = \frac{A1 - A3}{A1}$  та становить [0,75...0,95], що відповідає технічним вимогам.

Для того, щоб переконатися у якості ПІ-регулятора, порівняємо його з П-регулятором.



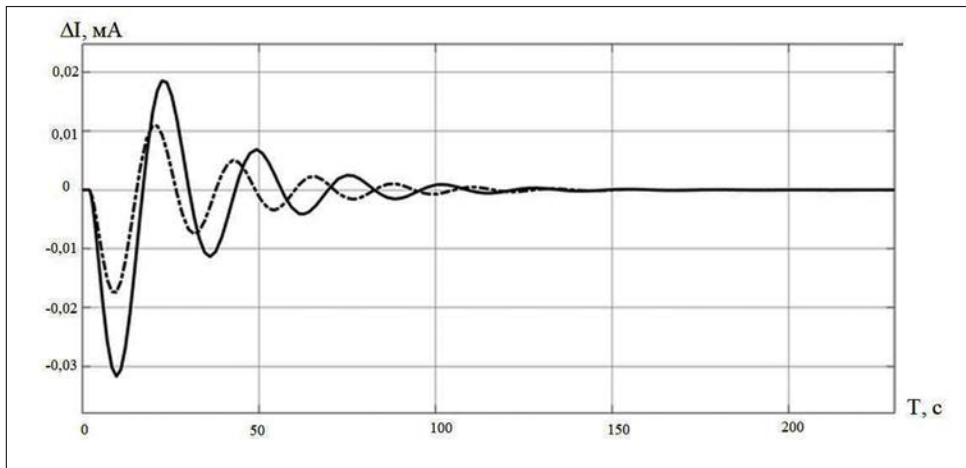


Рис. 6. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в ПВТ-7(-.-) та ПВТ-6(-)

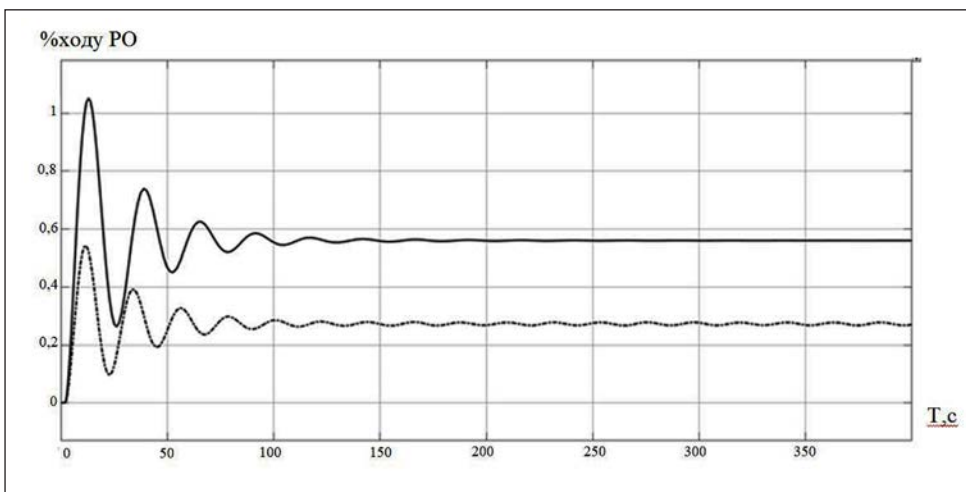


Рис. 7. Положення РК в ПВТ-7(-.-) та ПВТ-6(-) під час подачі збурення за витратою пари

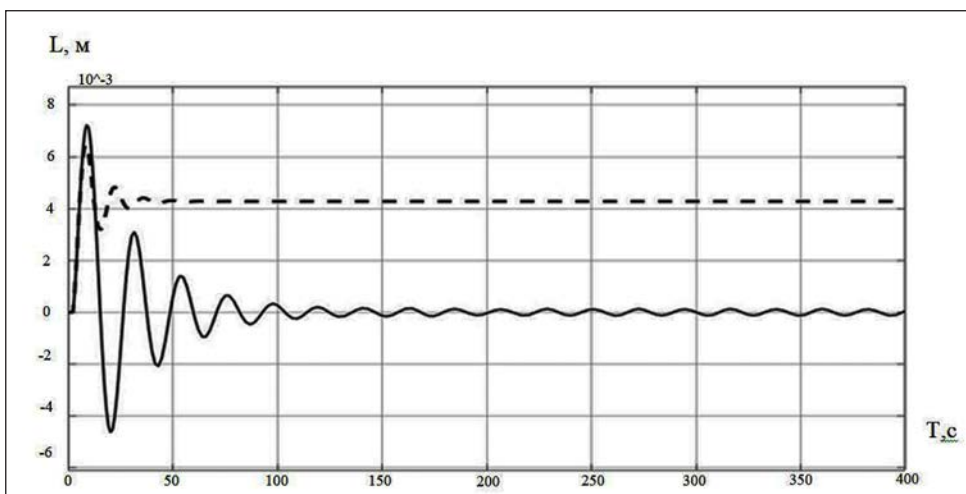


Рис. 8. Порівняння П-регулятора (-.-) та ПІ-регулятора (-) в регулюванні рівня ПВТ-7

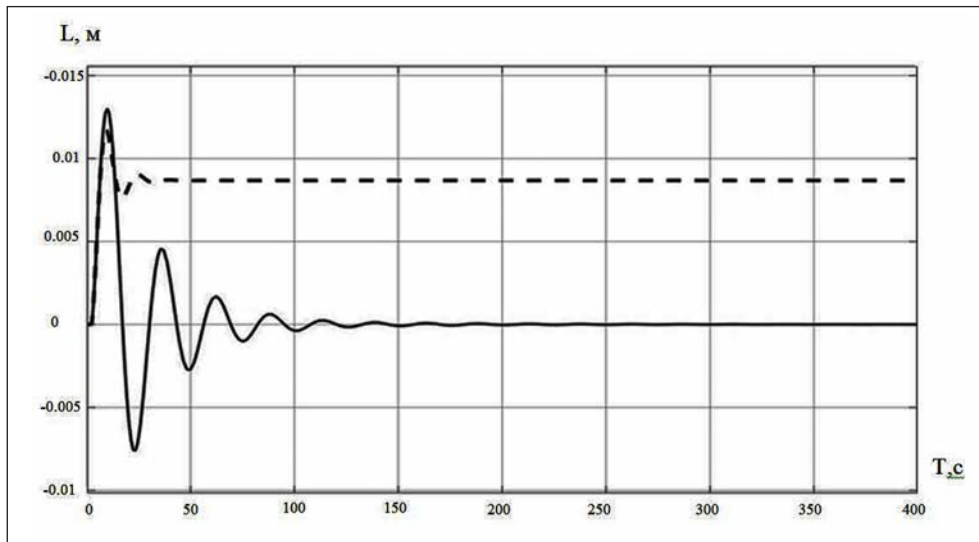


Рис. 9. Порівняння II-регулятора ( - - ) та III-регулятора ( - ) в регулюванні рівня ПВД-7

Отримано перехідні процеси регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів високого тиску, які зображено на рис. 8 і 9.

**Висновки.** Було розроблено автоматичну систему регулювання рівня конденсату системи регенерації високого тиску. Проведено аналіз

якості перехідних процесів і отримано, що час регулювання, максимальне статичне відхилення, ступінь коливань відповідають технічним вимогам. А також у процесі порівняння двох регуляторів переконалися в якості III-регулятора над II-регулятором.

#### Список літератури:

1. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2015. Вип. 7 (4) С. 23.
2. Технологія виробництва електричної енергії на атомній електростанції. Другий контур : навч. посібник. Енергодар : ЗАЕС, 2003. Ч. 1. С. 41–43.
3. Система регенерації високого тиску : навч. посібник. Енергодар : ЗАЕС, 2016. С. 35–37.
4. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЕС. Одеса : Асторпринт, 2001. С. 239–240.

#### **Ozerova D.S., Ulitska O.O. RESEARCH OF AUTOMATIC SYSTEM ADJUSTING WATER LEVEL IN GROUP OF HEATERS HIGH-PRESSURE**

*Atomic energy showed oneself for short enough time of the existence, as one of the most perspective directions of development of energy. If to talk about work of power-stations, then their equipment must work as the only organism aimed at the decision of eventual task. Attaining it is possible only then, when all systems and processes are bound by together automated control system by technological processes. Exactly automation of technological processes develops high rates, it plays a revolutionary role in scientifically – technical progress.*

*NPP is the difficult complex of engineer-technological equipment for providing of reliable, safe and effective work of that, in the project of the station there is the envisaged row of the systems that directly does not participate in the process of production of electric and thermal energy. But exactly these systems are needed for the decision of some important questions. To these questions it is possible to take: supply of power units by technological environments technical water; gases of high-pressure, chemical reagents); utilization of wastes that arise up in the process of work of equipment of power units; cleaning and preparation of water, NPP used in the different systems of power units; presentation of technical water is to the heat-exchange devices and building.*

*The article has the Zaporizhzhya nuclear power plant (ZNPP) the article of research, and an object is a group of heaters of high-pressure (HHP- 6, HHP- 7).*

*Research actuality consists in that the automatic system of adjusting of water level in the group of heaters of high-pressure allows according to information received managing processes in HHP, that considerably increases reliability of work and provides implementation of requirements on technical and ecological safety of production of energy.*

**Key words:** NPP, automatic system of adjusting, heater of high-pressure, runback, feed water, level.

**Олексій А.В.**

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

**Корнага Я.І.**

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

## ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ВІЗУАЛЬНИХ КЛЮЧІВ ДЛЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ

У світі постійно зростає кількість даних про зображення та сам темп цього зросту. У 2019 році понад 1,8 мільярда зображень щодня завантажували найпопулярніші платформи, такі як Instagram та Facebook. Щодо відеоданих, то, згідно з інформацією компанії Google, на сервіс YouTube кожного дня завантажуються більше 86 тисяч годин відео. У світі є безліч девайсів різних типів, що можуть робити фото- та відеозйомку. Персональні смартфони та інші девайси мають змогу створювати знімки з великим розширенням; фототехніка доступна як ніколи. Також цілком доступним стає відео-устаткування з функцією автоматичного захоплення зображень. Автомобілі устатковуються камерами, що дають змогу ефективно слідкувати за трафіком і запобігати нещасним випадкам. Щоб ефективно керувати всіма цими даними, нам потрібно мати деяке уявлення про їхній зміст, а саме – про об'єкти та деталі, що присутні на зображенні. Автоматизована обробка вмісту зображення корисна для широкого різноманіття завдань, пов'язаних із зображеннями. Для комп'ютерних систем це означає схрещування так званого семантичного розриву між інформацією про пікселі, що зберігається у файлі, та розумінням інформаційного наповнення зображення. Автоматична обробка дає можливість ідентифікувати об'єкти, що містяться у файлах зображень, опрацювати та описати деталі та параметри цих об'єктів. Це називається виявленням об'єктів і є однією з основних проблем комп'ютерного зору. Автоматичним системам і роботам є критично важливою можливістю оцінювати візуальну сцену навколо себе та мати змогу аналізувати простір навколо себе, опрацьовувати інформацію. Як ми продемонструємо, нині згорткові нейронні мережі є сучасним рішенням для виявлення об'єктів. У статті буде розкрито роботу інтелектуальної системи розпізнавання візуальних ключів для мобільних додатків, а саме – виявлення об'єктів на зображеннях за допомогою згорткових нейронних мереж. Також буде проведено аналіз роботи нейронних систем, виявлено, як можна навчити цю мережу розпізнавати об'єкти, потрібні для процесу верифікації, як можна покращити роботу цього алгоритму за допомогою самонавчання нейронної мережі, питання побудови інфраструктури цієї системи та які можуть бути помилки роботи нейронної мережі у разі помилок. Загалом стаття має розкрити питання призначення згорткової нейронної мережі та доцільність її використання.

**Ключові слова:** згорткова нейронна мережа, інтелектуальна система, машинне навчання, алгоритм, комп'ютерний зір.

**Постановка проблеми.** Розпізнавання образів є однією з найфундаментальніших проблем теорії інтелектуальних систем. З іншого боку, завдання розпізнавання образів має величезне практичне значення. Замість терміна «розпізнавання» часто використовується інший термін – «класифікація». Ці два терміни в багатьох випадках розглядаються як синоніми, але не є повністю взаємозамінюваними. Кожний із цих термінів має свої сфери застосування, і інтерпретація обох термінів часто залежить від специфіки конкретного завдання.

Завдання ідентифікації, яке полягає в тому, щоби вирізнити певний конкретний об'єкт серед

йому подібних (наприклад, впізнати серед інших людей свою дружину), – віднесення об'єкта до того чи іншого класу. Це може бути, наприклад, завдання розпізнавання літер або прийняття рішення про наявність дефекту в деякій технічній деталі. Віднесення об'єкта до певного класу відображає найтипівішу проблему класифікації, і, коли говорять про розпізнавання образів, найчастіше мають на увазі саме цю проблему. Саме вона розглядається тут у першу чергу. Кластерний аналіз полягає в розділенні заданого набору об'єктів на класи – групи об'єктів, схожі між собою за тим чи іншим критерієм. Це завдання часто називають

класифікацією без учителя, оскільки, на відміну від завдання 2, класи апріорно не задані.

Проблеми розпізнавання легко вирішуються людьми, причому робиться це, як правило, підсвідомо. Однак спроби побудувати штучні системи розпізнавання не настільки переконливі. Основна проблема полягає в тому, що здебільшого неможливо адекватно визначити ознаки, на основі яких слід здійснювати розпізнавання. Для завдань, для яких такі ознаки вдається виділити, штучні системи розпізнавання набули значного поширення і широко використовуються.

У випадку цієї статті основним завданням є ідентифікація об'єкта візуального ключа на зображенні, тобто вирішення завдання класифікації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проаналізувавши наявні рішення для розпізнавання об'єктів, на зображеннях було виявлено велику кількість підходів та інтелектуальних систем, що вирішують це питання. Наприклад, ця технологія широко використовується в AR-додатках для побудови взаємодії між середовищем, що знімає камера, і програмним забезпеченням. Хорошим прикладом є відома мобільна гра Pokemon Go. У цьому програмному продукті використовується система поточкового аналізу відеоконтенту, що використовується для побудови ігрового досвіду в доповненій реальності. Система знаходить та аналізує об'єкти, що дає можливість використовувати їх з ігровою метою. Проте така система дає багато хибних результатів, тому є низка компаній, що вдосконалюють свої інтелектуальні системи та покращують розпізнавання об'єктів. Важливо додати, що можливість побудови доступу до цієї системи через протокол REST є важливим елементом архітектури в контексті сучасних вимог до інтелектуальних систем. Власне, саме реалізація доступу через API дає змогу використовувати цю систему з мобільними додатками.

**Постановка завдання.** Інтелектуальна система розпізнавання візуальних ключів для мобільних додатків складатиметься з додатка, який буде оброблювати вхідні фото для сканування та знаходження об'єкта візуального ключа. Головне завдання нейронної мережі – знаходження конкретного об'єкта на фото.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Комп'ютерне бачення займається вилученням змістовної інформації із вмісту цифрових зображень чи відео. Це відрізняється від простої обробки зображень, яка передбачає маніпулювання візуальною інформацією на рівні пікселів.

Застосування комп'ютерного зору включає класифікацію зображень, візуальне виявлення,

реконструкцію 3D-сцени з двовимірних зображень, пошук зображень, доповнену реальність, машинне бачення та автоматизацію руху.

Сьогодні машинне навчання є необхідним складником багатьох алгоритмів комп'ютерного зору. Такі алгоритми можна описати як поєднання обробки зображень і машинного навчання. Для ефективних рішень потрібні алгоритми, які можуть впоратися з величезною кількістю інформації, що міститься у візуальних зображеннях, і критично для багатьох застосувань можуть здійснювати обчислення в режимі реального часу.

Виявлення об'єктів є однією з класичних проблем комп'ютерного зору і часто описується як складне завдання. Багато в чому він схожий з іншими завданнями комп'ютерного зору, оскільки передбачає створення рішення, інваріантного деформації та зміні освітлення й кута зору. Що робить виявлення об'єктів серйозною проблемою, то це те, що воно включає як локалізацію, так і класифікацію ділянок зображення. Розміщувальна частина не потрібна, наприклад, у всій класифікації зображень.

Щоб виявити об'єкт, нам потрібно мати уявлення про те, де може бути об'єкт і як зображення сегментується. Це створює тип куряче-яєчної проблеми, де для розпізнавання форми (та класу) предмета нам потрібно знати його розташування, а для розпізнавання місця розташування предмета, нам потрібно знати його форму. Деякі види, що відрізняються візуально, такі як одяг і обличчя людини, можуть бути частинами одного предмета, але це важко пізнати, не розпізнавши спочатку предмет. З іншого боку, деякі об'єкти виділяються лише трохи від фону, вимагаючи розділення перед розпізнаванням.

Важливою проблемою в питанні реалізації комп'ютерного зору за допомогою традиційних нейронних мереж є те, що навіть просте зображення має величезну кількість інформації. Монохромне зображення 620x480 містить 297 600 пікселів. Якщо інтенсивність кожного пікселя цього зображення вводиться окремо до повністю пов'язаної мережі, кожному нейрону потрібно 297 600 ваг. Повне HD-зображення 1920x1080 вимагатиме 2 073 600 ваг. Якщо зображення поліхромні, кількість ваг множить на кількість кольорових каналів (як правило, три). Отже, ми можемо бачити, що загальна кількість вільних параметрів у мережі швидко стає надзвичайно великою, оскільки розмір зображення збільшується. Занадто великі моделі викликають недоопрацювання та повільну продуктивність.



Крім того, багато завдань на виявлення шаблонів вимагають, щоб рішення було інваріантним для перекладу. Неefективно тренувати нейрони окремо розпізнавати ту саму схему в лівому верхньому куті та в правому нижньому куті зображення. Повністю пов'язана нейронна мережа не може прийняти такого роду структуру до уваги.

Згорткові нейронні мережі є одним з якісних рішень для вирішення цих проблем. Основна ідея CNN (convolutional neural networks) була натхненна біологічною концепцією під назвою рецептивне поле. Рецептивні поля – особливість зорової кори тварин. Вони виконують роль детекторів, чутливих до певних видів подразників, наприклад кутів. Вони розміщені поперек зорового поля та перекриваються один з одним.

Цю біологічну функцію можна реалізувати в комп'ютерах за допомогою операції згортання. Під час обробки зображень зображення можна фільтрувати за допомогою згортки для отримання різних видимих ефектів. На рисунку 1 показано, як обраний вручну згортковий фільтр виявляє горизонтальні краї зображення, функціонуючи аналогічно до рецептивного поля.

Насправді, крапковий добуток фільтра  $g$  та під-зображення  $f$  (з тими ж розмірами, як  $g$ ), орієнтовані на координати  $x, y$ , створюють значення пікселя  $h$  за координатами  $x, y$ . Розмір приймального поля регулюється розміром матриці фільтра. Вирівнювання фільтра послідовно з кожним під-зображенням  $f$  створює вихідну піксельну матрицю  $h$ . У разі нейронних мереж матрицю виводу також називають картою функцій (або картою активації після обчислення функції активації). До країв потрібно ставитися як до окремої справи. Якщо зображення  $f$  не зафіксовано, розмір виводу з кожним згортком трохи зменшується.

Набір згорткових фільтрів можна комбінувати для формування згорткового шару нейронної мережі. Матричні значення фільтрів розглядаються як параметри нейронів і навчаються за допомогою машинного навчання. Операція згортки замінює операцію множення звичайного шару нейронної мережі. Вихід шару зазвичай описується як об'єм. Висота і ширина об'єму залежать від розмірів карти активації. Глибина об'єму залежить від кількості фільтрів. Оскільки однакові фільтри використовуються для всіх частин зображення, кількість вільних параметрів різко зменшується порівняно з повністю пов'язаним нейронним шаром. Нейрони згорткового шару здебільшого мають однакові параметри і з'єднані лише з локальною ділянкою входу. Обмін параметрами в результаті згортання забезпечує інваріантність перекладу. Альтернативний спосіб опису звивистого шару – це уявити повністю пов'язаний шар із нескінченно сильним попереднім розміщенням на його вагах. Це примушує нейрони ділити ваги в різних просторових місцях і мати нульову вагу поза полем сприйняття.

Послідовні згорткові шари (часто поєднуються з іншими типами шарів, наприклад, об'єднання, описане нижче) утворюють згорткову нейронну мережу (CNN). Приклад згорткової мережі показано на рисунку 2. Теоретично шари, ближчі до вводу, повинні навчитися розпізнавати особливості зображення на низькому рівні, такі як краї та кути, а шари, наближені до виводу, повинні навчитися поєднувати ці особливості для розпізнавання більш значущих форм. У статті з'ясовано питання того, як можуть згорткові мережі навчитися розпізнавати цілісні об'єкти.

Щоб зробити мережу більш керованою для класифікації, корисно зменшити розмір карти активації в глибокому кінці мережі. Взагалі,

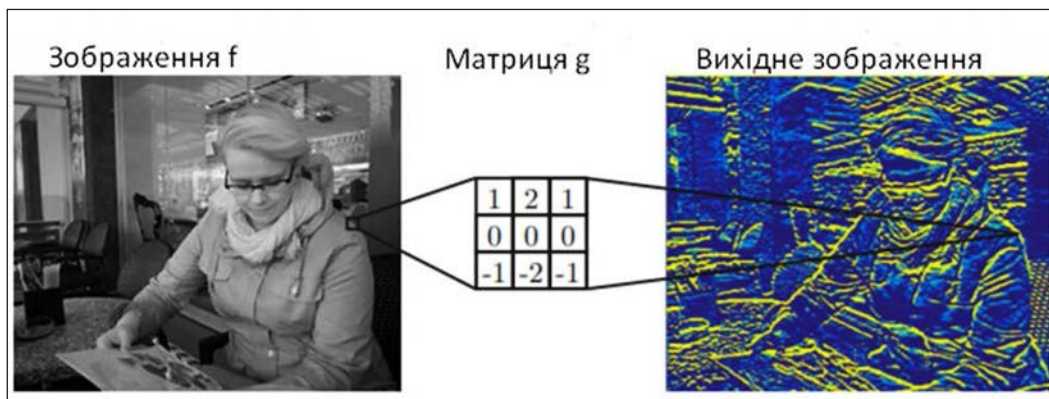


Рис. 1. Знаходження горизонтальних кутів на зображенні за допомогою згорткової нейронної мережі

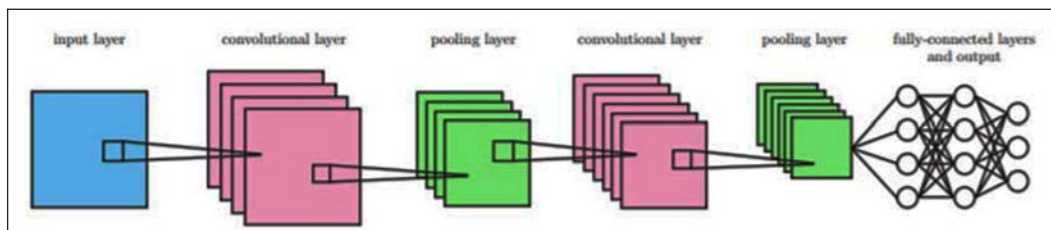


Рис. 2. Приклад згорткової нейронної мережі

глибокі шари мережі вимагають менше інформації про точні просторові місця розташування ознак, але потребують більше матриць фільтру, щоб розпізнати кілька шаблонів високого рівня. Завдяки зменшенню висоти та ширини об'єму даних ми можемо збільшити глибину обсягу даних і підтримувати час обчислень на розумному рівні. Є два способи зменшення обсягу даних. Один із способів – включити об'єднаний шар після згорткового шару. Шар ефективно знижує проби карти активації. Об'єднання має додатковий ефект, що робить отриману мережу більш інваріантною трансляцією, змушуючи детектори бути менш точними. Однак об'єднання може зруйнувати інформацію про просторові зв'язки між підрозділами моделей. Типовим методом об'єднання є максимальне об'єднання. Макс-об'єднання просто виводить максимальне значення в прямокутному районі карти активації.

Ще одним способом зменшення обсягу даних є коригування параметра кроку операції згортання. Параметр *stride* керує тим, чи обчислюється вихід згортки для мікрорайону, зосередженого на кожному пікселі вхідного зображення (*stride* 1), або для кожного *n*-го пікселя (*stride* *n*). Дослідження показали, що об'єднання шарів часто можна відкинути без втрати точності, використовуючи згорткові шари з більшим значенням кроку. Операція кроку еквівалентна використанню фіксованої сітки для об'єднання.

Важливим елементом цього підходу є так звані додаткові шари. Згортковий шар зазвичай включає нелінійну функцію активації, таку як випрямлена функція лінійної активації. Активациі іноді описуються як окремий шар між згортковим шаром і шаром об'єднання.

Деякі системи також реалізують шар, який називається локальною нормалізацією реакції та використовується як метод регуляризації. Локальна нормалізація реакції імітує функцію біологічних нейронів, названу бічним гальмуванням, внаслідок чого збуджені нейрони знижують активність сусідніх нейронів. Однак інші методи

регуляризації нині більш популярні, і вони обговорюються в наступному розділі.

Кінцеві приховані шари CNN, як правило, є повністю пов'язаними між собою. Однак для повного підключення шару потрібен досить невеликий обсяг даних. Налаштування об'єднання та кроку можна використовувати для зменшення розміру обсягу даних, який досягає повністю пов'язаних шарів. Звита мережа, яка не включає повністю пов'язаних шарів, називається повністю згортковою мережею (FCN). Якщо мережа використовується для класифікації, вона зазвичай включає софтмакс вихідний шар. Активациі найвищих шарів можуть також використовуватися безпосередньо для створення функціональної репрезентації зображення. Це означає, що згорткова мережа використовується як великий детектор функцій.

Важливо також пояснити роль регуляризації. Вона стосується методів, що застосовуються для зменшення перевитрати, вводячи додаткові обмеження чи інформацію до системи машинного навчання. Класичний спосіб використання регуляризації в нейронних мережах – додавання штрафу до функції втрат, яка карає певні типи ваг. Особливість спільного використання параметрів згорткових мереж – ще один приклад регуляризації.

**Висновки.** Реалізація інтелектуальної системи, здатної розпізнавати конкретні об'єкти, – це вирішення складного завдання, що зачіпляє як технічний, так і математичний аспекти. Ця завдання вимагає поглибленого вивчення предметної галузі, аналізу проблеми, вміння і навичок у роботі з даними, глибоких знань у галузі дискретної математики, програмуванні, а також у багатьох інших сферах науки.

Використання згорткових нейронних мереж у розробленні інтелектуальної системи розпізнавання візуальних ключів дає змогу вирішувати проблеми перенасичення інформації, прискорити процес обробки даних і збільшити якість та коректність аналізу.

Ця інтелектуальна система може використовуватися у сферах, пов'язаних з організацією великих подій та урбаністикою.

**Список літератури:**

1. Imagenet large scale visual recognition challenge 2016. URL: <http://image-net.org/challenges/LSVRC/2016> (дата звернення: 2017.04.07).
2. Infotrends – how long does it take to shoot 1 trillion photos? URL: <http://blog.infotrends.com/?p=21573> (дата звернення: 2019.06.17).
3. Matconvnet: Cnns for matlab. URL: <http://www.vlfeat.org/matconvnet> (дата звернення: 2019.01.10).
4. Software at the personal website of derek hoiem. URL: <http://dhoiem.cs.illinois.edu/software> (дата звернення: 2018.02.17).
5. Зайцев И.В. Нейронные сети: основные модели : учеб. пособие для физ. ф-та. Воронеж, 1991.
6. Bishop С.М. Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics). Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.
7. Головкин В.А. Нейронные сети: обучение, организация и применение. Москва : ИПРЖР, 2008.

**Oleksii A.V., Kornaha Ya.I. INTELLECTUAL SYSTEM OF RECOGNITION OF VISUAL KEYS FOR MOBILE APPLICATIONS**

*The world is constantly growing in the amount of image data and the rate of growth. In 2019, over 1.8 billion images are uploaded daily by top platforms such as Instagram and Facebook. As for video, according to Google, more than 86,000 hours of video are uploaded to YouTube every day. There are many different types of devices in the world that can take photos and videos. Personal smartphones and other devices are capable of capturing large-scale images, photo and video devices are available as never before. The video capturing equipment with automatic image capture is also quite affordable. The cars are equipped with cameras that allow you to effectively monitor traffic and prevent accidents. In order to effectively manage all this data, we need to have some idea of their content, namely the objects and details present in the image. Automated image content processing is useful for a wide variety of image-related tasks. For computer systems, this means crossing the so-called semantic divide between pixel information stored in a file and understanding the information content of an image. Automatic processing allows you to identify objects contained in image files, to process and to describe the details and parameters of these objects. This is called object detection and is one of the major problems with computer vision. Automatic systems and robots are critical to assessing the visual scene around you and being able to analyze the space around you, process information. As we demonstrate, nowadays, convolutional neural networks are a modern solution for object detection. This article will introduce the work of the intelligent visual key recognition system for mobile applications, namely the detection of objects on images using convolutional neural networks. It will also analyze the work of neural systems, identify how to teach this network to identify the objects required for the verification process, how to improve the operation of this algorithm through the self-learning neural network, the construction of the infrastructure of the system and what may be errors of the neural network in case of errors. In general, the article should address the issues of convolutional neural network design and its appropriateness.*

**Key words:** convolutional neural network, intelligent system, machine learning, algorithm, computer vision.

**Осадчий В.В.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Круглик В.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Єремєєв В.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Ліхачов К.С.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

**Іванов О.А.**

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ ФУРНІТУРИ З МОЖЛИВІСТЮ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТАМИ**

*У статті відображено етапи та особливості розроблення програмного забезпечення доповненої реальності для відображення інтерактивної фурнітури з можливістю керування об'єктами. Автори розкривають особливості програмних засобів із використанням доповненої реальності, виділяючи три головні елементи: прилад, який уловлює навколишнє середовище; пристосування для розпізнавання навколишнього середовища і правильного його змішування з віртуальними елементами; пристрій, який показує користувачеві отриманий результат. Під час дослідження розробники визначили, що програмний засіб має бути реалізованим у вигляді мобільного додатка, оскільки з поширенням мережі 3G і демократизацією цін смартфони стали головними пристроями візуалізації доповненої реальності. У роботі проведено аналіз методів і засобів побудови подібних систем і визначено оптимальний шлях створення додатка. Розробники наголошують на необхідності використання мови програмування C# з додаванням до проекту бібліотек Vuforia, ARKit та ARCore. Розробники вважають найбільш доцільними використання засобу розроблення Unity3D, який надає великий набір можливостей для роботи з доповненою реальністю. Сформульовано основні вимоги до розроблюваного додатка і функції, які він має виконувати, представлено загальні відомості про принципи побудови доповненої реальності та її функціонування. У роботі розкриваються особливості роботи з готовим мобільним додатком і розкривається кожен із блоків окремо.*

**Ключові слова:** *Augmented Reality, доповнена реальність, розробка, ARCore, фурнітура.*

**Постановка проблеми.** Нині одним із найбільш перспективних напрямів розвитку освітніх і розважальних технологій є застосування доповненої реальності. Це пов'язано насамперед із тим, що більшу частину інформації людина отримує завдяки зору (близько 90% в нормальних умовах). Звідси береться зацікавленість у розвитку технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності. Інтерес до цієї технології також зумовлений можливістю приведення користувачів до більшої заглибленості у процес через використання програмних технологій із використанням Augmented Reality (далі AR).

Доповнена реальність – це середовище з доповненням фізичного світу цифровими даними,

які сприймаються як елементи реального життя. Тобто під час створення доповненої реальності в простір у режимі реального часу поміщаються об'єкти за допомогою спеціального програмного забезпечення [4]. Використання доповненої реальності надає можливість отримання практичного досвіду у вивченні будь-яких технологій без загрози для життя, наприклад, досліджувати медичні операції або працювати зі струмопровідними елементами, відображати 3D-об'єкти, представлені в навчальній літературі, підвищивши так їхню наочність і розуміння, а також забезпечити більшу зацікавленість майбутніх фахівців у процесі навчання. Також буде забезпечена схоронність обладнання, що використовується в реаль-



ному житті, заміною його на віртуальні об'єкти, змодельовані в 3D-програмах.

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

Вивченням проблеми розроблення і використання засобів доповненої реальності займаються Модло Є.О., Стрюк А.М., Семеріков С.О., Мазанов В.Г., Романюк В.А., Тишкевич Ю.Ю., Матвієнко Ю.С., Кухтюк В.О., Сікора Я.Б., Woodward C., Hakkarainen M., Korkalo O., Kantonen T., Aittala M., Rainio K., Kahkonen K., Siltanen S., Salonen T., Saaski, J., Kannelis T., Perakakis M., Potamianos A. та інші вітчизняні й іноземні науковці.

Водночас проблема використання засобів доповненої реальності для вирішення завдання візуалізації товарів у системах електронної комерції є не досить дослідженою.

**Постановка завдання.** Метою статті є розроблення програмного забезпечення доповненої реальності для відображення інтерактивної фурнітури з можливістю керування об'єктами.

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

Для подальшого вибору засобів реалізації програмного забезпечення було визначено завдання та вимоги до розроблюваного засобу доповненої реальності. Програмний засіб повинен бути простим і зрозумілим для користувача будь-якого рівня навичок використання електронних ресурсів. Програмний засіб повинен відповідати визначеним вимогам до функціональності та інтерфейсу.

Основні системні вимоги, які має задовольняти програмний засіб: наявність елементів інтерфейсу, які дають змогу розпочати й завершити роботу з програмою; розміри програми не перевищують 100 Мб; програма являє собою .apk-файл, що встановлюється на телефон або планшет; інтуїтивно зрозумілий і зручний інтерфейс; дизайн програми має створювати умови для зручного перегляду та сприймання інформації.

Вимоги до функціональності ПЗ: надання можливості підзавантаження та доповнення інформації і 3D-об'єктів; виведення повідомлень про помилки у разі необхідності; можливість обертати та переміщати об'єкт; закриття програми через пункт меню та за допомогою кнопки керування.

Вимоги до дизайну: основні розділи категорій товарів повинні бути доступні з першої сторінки у зручному для користувача вигляді; зручний та швидкий пошук і перегляд 3D-моделей із бази; підбір сприятливого контрасту оформлення; текстова інформація має бути набрана зручними в читанні літерами.

Для того, щоб доповнена реальність правильно функціонувала, потрібні щонайменше 3 елементи:

1) прилад, який уловлює навколишнє середовище. Зараз використовується ціла низка таких датчиків: GPS, камера, акселерометр, гігрометр, гідрометр та інші; 2) пристосування для розпізнавання навколишнього середовища і правильного його змішування з віртуальними елементами. Ним часто є комп'ютер; 3) пристрій, який показує користувачеві результат комбінації.

З поширенням мережі 3G і демократизацією смартфонів телефони стали головними пристроями візуалізації доповненої реальності. Це здається очевидним, але мати при собі універсальний інструмент візуалізації – необхідна умова для використання додатків, заснованих на геолокалізації [5]. Оскільки програмний засіб має створювати зручні для користувача умови для відображення результатів моделювання, вважаємо доцільним розроблення реалізувати платформу на основі мобільного додатка через зручність використання сучасного мобільного обладнання та якісно вищий рівень надання можливості мобільності під час коригування положення створеного 3D-об'єкта на площини користувача.

Аналіз інструментарію для розроблення програмних засобів для роботи з функціями доповненої реальності показав, що під час створення додатка з доповненою реальністю розробники можуть значно спростити написання додатка за допомогою спеціальних AR-бібліотек. Оскільки ми визначали програмний засіб як мобільний додаток, то перед початком розроблення необхідно обрати фреймворк, адже залежно від вимог програми її створення може відбуватися за різними методами. За поставленою метою програмний засіб можна створити, використовуючи ARToolkit, Wikitude, Vuforia, OpenCV, ARCore, EasyAR та інші засоби. Кожна з цих бібліотек має свої характеристики, переваги та недоліки.

Vuforia – один із найбільш популярних наборів інструментів для створення додатків із доповненою реальністю на різних платформах, який розпізнає 2D-зображення, різні типи візуальних об'єктів, текст і оточення, VuMark (поєднання зображення із QR-кодом).

ARKit – програмна бібліотека для створення додатків із доповненою реальністю для iPhone і iPad. Вона працює на процесорах Apple A9 і старших версіях. У SDK від Apple використовуються апаратні засоби iPhone і iPad, датчики руху, камера для включення додатків доповненої реальності. Отже, підтримуються моделі iPhone 6/6 Plus / 7/7 Plus / 8/8 Plus / X і iPad Pro [1].

ARCore – базовий рівень, який забезпечує аналогічні можливості для платформи Android. Надає розробникам можливість відстежувати рух і оцінювати світло в AR-додатках. За допомогою цих можливостей ви можете створювати абсолютно нові можливості AR або покращувати наявні програми з функціями AR. ARCore заснований на 2 елементах – відстеження позиції в реальному часі й інтеграції віртуальних і реальних об'єктів [2].

Wikitude надає можливість спробувати безкоштовну пробну версію з водяним знаком і повною міццю платформи. Вартість цього кросплатформного SDK Augmented Reality починається з 2 490 євро. Також варто зазначити, що Wikitude більш вигідний під час розроблення безмаркерних додатків з AR для iOS / Android порівняно з ARKit і ARCore (обидві бібліотеки були додані в Wikitude останнім часом) [3].

Проведений аналіз бібліотек для роботи з доповненою реальністю показав, що для розроблення нашого програмного забезпечення доцільним є використання комбінації бібліотек Vuforia, ARKit і ARCore, оскільки кросплатформний багатфункціональний додаток неможливо побудувати засобами лише однієї бібліотеки.

Визначившись із бібліотекою, можна розглянути фреймворки, які дають змогу створювати додатки для операційної системи Android. Під час роботи над програмним забезпеченням ми отримали можливість перевірити на практиці декілька AR-фреймворків, популярних серед мобільних розробників. До основних фреймворків можна віднести такі: Unity3D, Unreal Engine, Android Studio, Xcode, Xamarin.

Unity3D – це інструмент для розроблення двомірних і тривимірних відеоігор, який також підходить для створення інших додатків, зокрема доповненої реальності. Рушій пропонує скриптову API на C# як для редактора Unity у вигляді плагінів, так і для самих ігор, а також для функції перетягування. До того, як C# став основною мовою програмування, система підтримувала мову Boo, вилучену у випуску Unity 5, і версію JavaScript під назвою UnityScript, яка застаріла в серпні 2017 року після випуску Unity 2017.1 [6].

Unreal Engine – це ігровий рушій, створений компанією Epic Games, який використовує мову C++ і підтримує більшість операційних систем. Рушій допомагає створювати ігри для Microsoft Windows, Linux, Mac OS і Mac OS X; консолей Xbox, Xbox 360, Xbox One, PlayStation 2, PlayStation 3, PlayStation 4, PSP, PS Vita, Wii, Dreamcast, GameCube, а також різних портатив-

них пристроїв, наприклад iPad і iPhone, керованих системою iOS і інших. Уперше робота з iOS була представлена у 2009 році, а у 2010 році продемонстровано роботу рушія на пристрої із системою webOS [6].

Android Studio – середовище розроблення для пристроїв на базі операційної системи Android від компанії JetBrains. Ґрунтується на IntelliJ IDEA. Android Studio 2.1 підтримує оновлений компілятор Jack на платформі x86, Java 8 і функцію Instant Run, яка скорочує час збірки додатка. Наявна підтримка віртуальної і доповненої реальності [7, с. 78–79].

Xamarin – це середовище розроблення для розроблення додатків під мобільні операційні системи, що використовує мову програмування C#. До особливостей цієї системи відносять такі: заснована на платформі .NET – Mono; власний компілятор C#; можливість запускати програми на C# на операційних системах, які не ґрунтуються на Windows; підтримка ОС Android і iOS [8, с. 37].

Оглянувши ці платформи, можна виділити наявність у Unity значної переваги над іншими платформами. Ці можливості платформи роблять Unity одним із найкращих рушіїв для розроблення AR-додатків. На основі огляду переваг і недоліків перерахованих фреймворків був обраний Unity3D, оскільки він включає великий набір функцій і можливостей для роботи з доповненою реальністю, а саме має внутрішню підтримку Vuforia, ARCore та ARKit, що надає можливість працювати з різними бібліотеками доповненої реальності. Також цей рушій може з легкістю компілювати програми під операційну систему Android та iOS.

Після визначення засобів розроблення постає завдання визначити елементи мобільного додатка та принципи їхнього функціонування. Мобільний додаток має бути простим та інтуїтивно зрозумілим для користувача, тому було вирішено використовувати мінімум вікон і засобів керування. Програмний засіб має складатися з головного вікна з кнопками керування, вікна вибору категорії товарів, вікна вибору товару та вікна відображення 3D-моделі на поверхні користувача. Для роботи програми необхідно мати пристрій із підтримкою ARCore та платформу Android з версією вище 7.0. Робота з програмним засобом розділяється на 4 етапи:

Етап 1: Після завантаження (файл .apk) потрібно підтвердити технологію ARCore та можливість використовувати камеру. На головному екрані (рис. 1) користувач повинен натиснути кнопку для відкриття категорії товарів.



Рис. 1. Головне вікно



Рис. 2. Вікно «Категорії»



Рис. 3. Вікно «Вибір об'єкта»



Рис. 4. Вікно «Огляд об'єкта»

Етап 2: Після натискання на кнопку «Додати» має відкриватися вікно вибору категорії. Інтерфейс вікна «Категорії» (рис. 2) має складатися з елементів scrollView, на яких користувачеві надається можливість обрати необхідну категорію фурнітури та кнопки керування програмним засобом.

Етап 3: Після вибору категорії користувач повинен обрати об'єкт товару до огляду (рис. 3). Обравши окрему 3D-модель і натиснувши на неї,

користувач перейде до наступного вікна «Огляд об'єкта» (рис. 4).

Після сканування смартфоном поверхні та визначення місця розташування майбутнього об'єкта можна розмістити обрану модель. У цьому вікні більшу частину екрана буде займати 3D-модель, також на екрані присутні такі кнопки: зробити знімок екрана; відкрити вікно категорій і обрати іншу модель; кнопка, яка дає змогу отримати інформацію опису товару, та кнопка, яка дає змогу перейти до сайту цього товару. Для створення наочності об'єкт можна обертати по осі Y, утримуючи два натискання на екрані в межах об'єкта, та переміщати його одним натисканням і рухом по сітці.

**Висновки.** У процесі дослідження було проаналізовано наявні засоби розроблення доповненої реальності та виділено основні вимоги до мобільного додатка, представлено загальні відомості про принципи побудови доповненої реальності та її функціонування. Огляд і аналіз методів побудови подібної системи дав змогу визначити відповідний шлях створення додатка, а також вибрати середовище розроблення і допоміжне програмне забезпечення. Обравши методи розроблення, було зроблено висновок, що оптимальною мовою для розроблення додатка з AR є C#, тому що вона проста у розробленні та подальшому використанні програмного засобу, об'єктно-орієнтована та відповідає всім вимогам технічного завдання. Отже, аналіз видів доповненої реальності, її принципів і методів розроблення, а також інструментів для створення AR-додатків, дає змогу зробити висновок про можливість розроблення програмного продукту доповненої реальності з інтерактивною фурнітурою та можливістю управління об'єктами, що відповідає тенденціям розвитку електронної комерції сучасності та має наукову новизну через низький рівень дослідженості.

У подальшій роботі планується робота з покращення якості відображення об'єктів, створення інтерфейсу генерування 3D-об'єктів із 2D-малюнків для створення можливості швидкого наповнення бази даних товарів під час додавання нового елемента, без ручного моделювання в окремих програмних засобах.

#### Список літератури:

1. ARToolKit API Documentation. URL: <http://artoolkit.sourceforge.net/apidoc>.
2. ARtoolworks ARToolworks – ARToolKit product family. URL: <http://www.artoolworks.com/products>.
3. Wikitude Augmented Reality: The World's Leading Cross-Platform. URL: <https://www.wikitude.com/>
4. Модло Є., Стрюк А., Семеріков С. Засоби доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі професійно-практичної підготовки. *Професійна педагогіка і андрагогіка: актуальні питання*,



досягнення та інновації : мат-ли Міжнар. наук.-практ. конф., м. Кривий Ріг, 20–21 листопада 2017 р. Кривий Ріг, 2017. С. 31–34.

5. Осадчий В. Сучасні тренди інформатики і кібернетики. *Інформаційні технології в освіті, науці і техніці* : тези доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф., м. Черкаси, 17–18 травня 2018 р. С. 221–224.

6. Солдатов С., Кузьмина Н. Интерфейс будущего – системы дополненной реальности. *Современные технологии автоматизации*. 2016. С. 96–103.

7. Елесин С., Хамина А. Внедрение технологий виртуальной и дополнительной реальности в музейную практику: проблемы и решения. *Материалы Международной научной конференции*. 2017. С. 174–177.

8. Гриншкун А.В. Об эффективности использования технологий дополненной реальности при обучении школьников информатике. *Вестник Московского городского педагогического университета. Серия : Информатика и информатизация образования*. 2016. № 1 (35). С. 98–103.

### **Osadchyi V.V., Kruhlyk V.S., Yeremieiev V.S., Likhachov K.S., Ivanov O.A. FEATURES OF DEVELOPMENT OF SOFTWARE OF COMPLEMENTED REALITY FOR DISPLAY OF INTERACTIVE FURNITURE WITH POSSIBILITY OF CONTROL**

*The steps and features of augmented reality software for displaying object-managed interactive accessories are presented in the article. The authors reveal the features and needs of augmented reality software so they emphasize the three main elements of any augmented reality, namely: an environment capture device, an environment recognition device, and its proper mixing with virtual elements and device, which shows the user the result of the combination, the authors believe that without these elements the work of augmented reality is not possible. During the study, the developers emphasized that the software should be implemented in the form of a mobile application caused by the need for mobility, when using the software, particular attention was paid to proving that with the proliferation of 3G network and the democratization of smartphones, phones became the main devices of augmented reality visualization. The review and analysis of methods for building such a system allowed us to determine the appropriate way to create the application. The authors reveal the analysis of existing augmented reality development tools and reflect the advantages and disadvantages of each augmented reality. the authors emphasize the need to use the C # programming language with the addition of several libraries to the project, namely: Vuforia, ARKit and ARCore. Developers find it most appropriate to use Unity3D's development tool, as it includes a wide range of augmented reality features and capabilities. The basic requirements and functions that the developed system should fulfill are highlighted, the general information about the principles of construction of augmented reality software and its functioning are presented. The work reveals the features of working with a ready-made mobile application and displays each of the blocks separately.*

**Key words:** *Augmented Reality, augmented reality, development, ARCore, accessories.*



**Паламарчук І.О.**

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

**Базака Ю.А.**

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

## СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ДОМАШНІХ ТВАРИН ДЛЯ РОЗУМНОГО ДОМУ

*Щороку зростає кількість об'єктів, для роботи яких потрібно вирішувати складні завдання за допомогою інтелектуальних систем. Це зумовлено тим, що є велика кількість завдань у різних сферах діяльності людини, наприклад, таких як: медицина, економіка, робототехніка, машинобудування тощо. Зважаючи на велику кількість галузей, у яких застосовують машинне навчання та нейронні мережі, можна сказати, що ці системи являють собою набір інструментів, що допомагає у вирішенні питань аналізу та обробки великих масивів даних, а також у вирішенні завдань підвищеної складності. У статті розкрито питання застосування нейронних мереж до завдання розпізнавання тварин та до завдання допуску їх усередину приміщень. А саме розглядаються такі питання:*

- що являє собою біологічний нейрон;
- що являє собою штучний нейрон і чим він відрізняється від біологічного;
- що таке нейронна мережа і як вона працює;
- збір та аналіз тестових даних для навчання системи розпізнавання домашніх улюбленців на фото за допомогою використання машинного навчання та нейронних мереж, що показують високий коефіцієнт досягнення максимального результату;
- навчання цієї системи тестовими даними та створення тестової моделі;
- проведення повторного тестування системи різними тестовими моделями та готовими даними для того, щоб упевнитися у правильності визначення тварин, бо система може «завчити» правильні результати та після зміни вхідних даних результати визначення можуть стати незадовільними.

*Ще одним із поставлених завдань є знаходження можливих помилок під час завантаження до системи некоректних даних. Загалом, стаття присвячена завданням розпізнавання та допуску до приміщення домашніх тварин у системах розумного дому з використанням технологій машинного навчання та нейронних мереж. Стаття також присвячена визначенню доцільності використання цих мереж.*

**Ключові слова:** машинне навчання, нейронна мережа, розпізнавання, інтелектуальна система.

**Постановка проблеми.** Сьогодні багато людей використовує системи розумного дому. Ці системи використовуються для автоматизації процесів усередині будинків – від деактивації розеток у разі їх невикористання до ввімкнення освітлення під час відчинення вхідних дверей. Та всі ці елементи призначені суто для задоволення людських потреб, хоча більшість домовласників мають удома тварин, які теж мають потреби. Завдання полягає в допуску тварин до приміщень за допомогою інтелектуального розпізнавання та передачі даних на мобільний пристрій власника. Для вирішення цієї проблеми потрібно використати нейронні мережі для розпізнавання домашньої тварини, яка повертається додому, та за допомогою сервісу відправки повідомлень проінформувати власника про прибуття домашньої тварини.

Власник за допомогою сервісу управління розумним домом може відчинити спеціальний прохід і впустити домашню тварину.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Після проведення аналізу ринку систем розумного дому було виявлено, що сьогодні таких на ринку немає. Також було проведено аналіз систем із розпізнавання об'єктів, а саме – тварин. Таких систем є багато, та більшість із них використовується у завданнях розпізнавання предметів побуту, покупок тощо. Система Google Lens, яка представлена компанією Google, дає змогу вирішувати завдання розпізнавання не тільки предметів, але й тварин і рослин. Ця система зазвичай використовується на мобільних пристроях для визначення предмета/об'єкта на фото: якщо це товар, система показує його ціну і пропонує перейти на сайт для

його купівлі. Якщо це тварина або рослина, виводить про них інформацію: що за рід, порода тощо. Також є інша система, яка створена спеціально для того, щоб слідкувати за дикими тваринами. Вона допомагає знаходити тварин, які вважалися вимерлими. Вона працює за допомогою встановлення декількох камер для нагляду за певною місцевістю. Ці камери підключено до нейронної системи, яка навчена на великій кількості тестових даних. Далі, ця система визначає, що на відео – тварина, після – її рід і породу. Та ця система із закритим кодом, що виключає можливість нею скористатися звичайним користувачам.

**Постановка завдання.** Система розпізнавання домашніх тварин для розумного дому буде складатися з додатка, який за допомогою нейронних мереж і машинного навчання оброблюватиме відео, а саме – кадри з нього, та визначатиме об'єкт, який зображений на цьому кадрі. Головне завдання цієї системи – розпізнавання домашньої тварини.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вперше про штучні нейронні мережі заговорили в 1940-х роках. Саме як науковий напрям теорія нейронних мереж була відображена в роботі Мак-Калока та Пітса в 1943 році [1]. У цій роботі стверджувалося, що майже кожен логічну або арифметичну функцію можна реалізувати за допомогою найпростішої нейронної мережі.

У 1949 році Дональд Гебб сформував закон, який став відправним пунктом для навчання нейронних мереж. Він припустив, що навчання, перш за все, полягає в зміні сили синаптичних зв'язків. Його теорія – типовий випадок самонавчання, де випробувана система навчається виконувати потрібне завдання без втручання експериментатора.

Френк Розенблат у 1957 році запропонував нейронну мережу, під назвою перцептрон. Він призначений для класифікації об'єктів. Під час навчання перцептрон отримував повідомлення від «учителя».

З появою високопродуктивних персональних комп'ютерів стало можливим моделювати нейронні мережі. У 80-х роках поступово сформувався міцний теоретичний фундамент, на основі якого сьогодні створюється більшість мереж.

У 2007 році Джефрі Гінтон створив алгоритми глибокого вивчення нейронних мереж. Під час навчання нижніх шарів мережі Гінтон використовував обмежену машину Больцмана, яка являє собою стохастичну рекурентну нейронну мережу. Після навчання мережі отриманий застосунок міг швидко виконувати поставлене завдання (наприклад, пошук облич на фото). Цю функцію вмонтовано у всі цифрові фотоапарати.

Майбутнє нейрокомп'ютерних технологій буде пов'язане з новими відкриттями в галузі нейронного моделювання: як тільки вдасться розгадати таємницю функціонування хоча б однієї ділянки мозку, відразу ж стане багато чого зрозуміло і про інші його ділянки.

Людський мозок та нервова система складаються з нейронів, що з'єднані між собою нервовими волокнами. За допомогою цих волокон передаються імпульси між нейронами. Все, що відбувається з організмом, наприклад процес мислення, – це взаємодія нейронів один з одним. Ось такий вигляд має будова біологічного нейрона (рис. 1).

Синапс – це таке утворення, яке має вплив на силу імпульсу, для забезпечення контакту між аксоном і дендритом.

Аксон – слугує для передачі імпульсу нейронами.

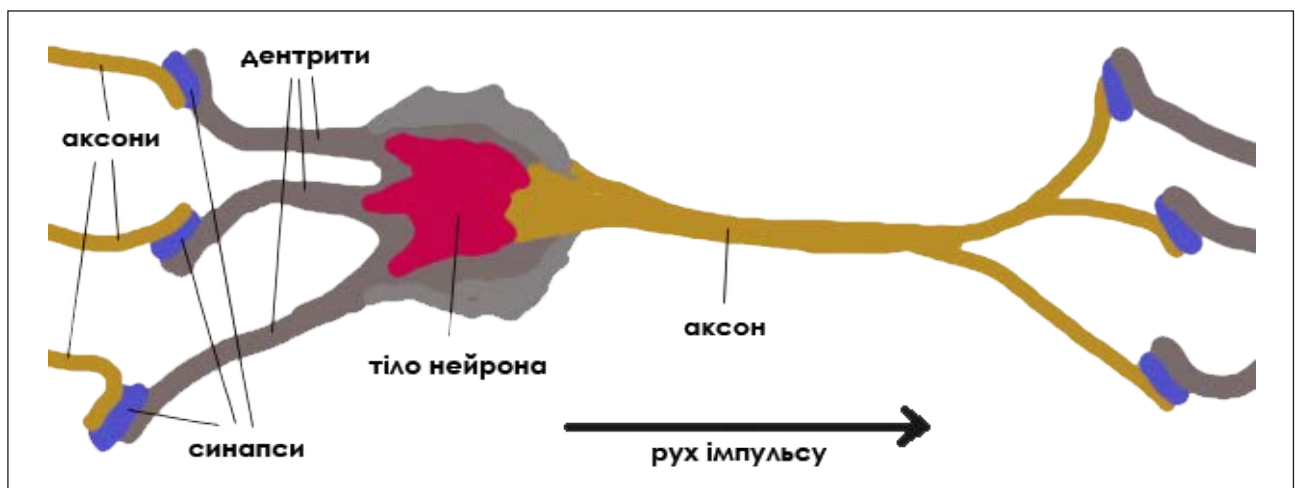


Рис. 1. Вигляд біологічного нейрона [3]

Дендрит – такий собі приймач імпульсів, які надходять від нейронів.

Нейрони ще можна назвати органічними перемикачами. Вони можуть змінювати тип переданих сигналів залежно від електричних або хімічних сигналів, які в них передаються. Нейронна мережа у людському мозку – величезна взаємопов'язана система нейронів, де сигнал, який передається одним нейроном, може передаватися в тисячі інших нейронів. Навчання відбувається через повторну активацію деяких нейронних з'єднань. Через це збільшується ймовірність виведення потрібного результату за відповідної вхідної інформації (сигналів). Такий вид навчання використовує зворотний зв'язок – за правильного результату нейронні зв'язки, які виводять його, стають більш щільними.

Штучні нейронні мережі імітують поведінку мозку в простішому вигляді. Вони можуть бути навчені контрольованих і неконтрольованих шляхів. У контрольованій штучній нейронній мережі мережа навчається шляхом передавання відповідної вхідної інформації та прикладів вихідної інформації. Наприклад, спам-фільтр у електронній поштовій скриньці: вхідною інформацією може бути список слів, які зазвичай містяться у спам-повідомленнях, а вихідною інформацією – класифікація для відповідного повідомлення (спам чи не спам). Такий вид навчання додає ваги зв'язкам штучної нейронної мережі.

Неконтрольоване навчання у ШНМ намагається «змусити» штучну нейронну мережу «зрозуміти» структуру переданої вхідної інформації «самостійно».

У випадку з розробленням системи для розпізнавання домашніх тварин навчання нейронної мережі відбуватиметься з певним набором тестових даних. Цей набір являтиме собою масив картинок у кількості 10 тис., на яких будуть зображені тварини. Тобто мережа буде шукати та порівнювати отриману картинку з тестовими даними доти, доки збіг не буде становити більше 85%. Якщо цього не станеться, потрібно підібрати кращий набір тестових даних або збільшити їхній обсяг. Також для того, щоб впевнитися в доцільності результату, потрібно провести декілька ітерацій навчання з різними тестовими моделями та готовими даними. Це потрібно для того, щоб уникнути помилкового навчання системи. Система може просто завчити правильні результати і після зміни вхідних даних результати можуть стати незадовільними.

Після того, як ми навчили нашу систему розпізнавати тварин на фотографії, потрібно перейти до наступного кроку – навчити систему визначати саме нашу домашню тварину. Для цього потрібно провести ще одне навчання системи – сформувати новий набір тестових даних, які будуть містити фотографії тільки нашої тваринки. На вхід будемо давати картинки різних тварин, серед яких буде і наша. Так зможемо визначити похибки першого та другого роду. Першого – коли до будинку прийшла наша тваринка, але система її не визначила. Та другого роду – коли прийшла чужа тварина, та система її ідентифікувала та пропустила. Тож після навчання системи можемо приступити до її опису.

1. Камера, що під'єднана до системи розумного дому.

2. Сервер, який встановлено в будинку, за допомогою якого ми можемо ідентифікувати нашого домашнього улюбленця.

3. Спеціальний прохід, за допомогою якого тварина зможе потрапити всередину.

Система працює за таким алгоритмом:

1. Встановлена відеокамера відправляє відеопотік на сервер.

2. Сервер отримує відео.

3. Сервер обробляє відео та розбирає його на кадри.

4. Кадр подається на нейронну мережу.

5. Мережа визначає, що зображено на кадрі.

6. Якщо це наша тварина – система за допомогою спеціального сервісу відправляє



Рис. 2. Основні елементи системи

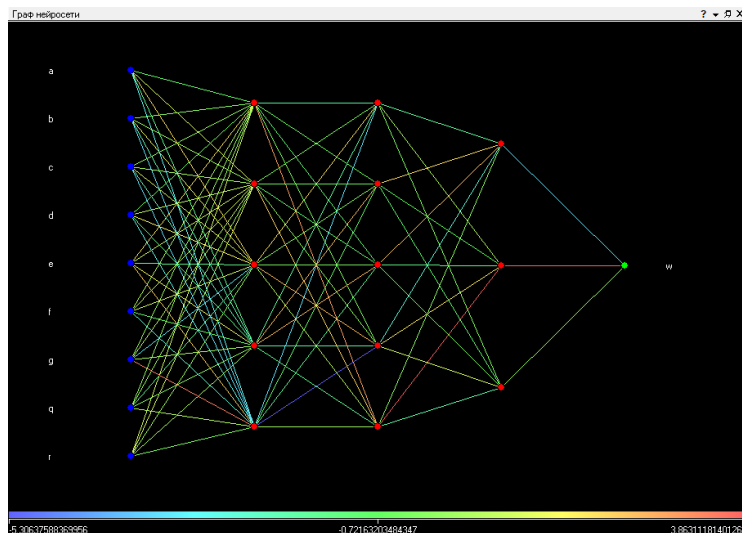


Рис. 3. Зображення роботи нейронної мережі

повідомлення на телефон користувача системи розумного дому.

7. Користувач бачить повідомлення і за допомогою системи розумного дому може підключитися до відеокамери та подивитися, що це справді його домашня тварина. Коли він впевнений, що це справді вона – посилає команду до системи, яка відчиняє спеціальний прохід.

8. Домашня тварина може увійти всередину будинку.

Завершальним етапом розроблення цієї системи буде тестування нейронної мережі. Після тестування мережі тестовими даними вдалося досягнути 94 відсоткової ефективності з визначення домашньої тварини. На рис. 3 можна побачити роботу нейронної мережі.

**Висновки.** Отже, створення такої системи, що дасть змогу визначати домашніх улюбленців, є математично складним завданням. Щоб створити подібну систему, потрібно мати хороші навички в галузі дискретної математики, також це вимагає поглибленого вивчення предметної галузі, проведення аналізу з вибору потрібного алгоритму для отримання якнайкращого результату, також потрібно зібрати велику кількість тестових даних для того, щоб натренувати систему, щоб вона задовольняла наші потреби.

У результаті експерименту, який наведено в статті, видно, що вдалося досягнути високого результату з визначення домашніх тварин за допомогою нейронної мережі. Кількість позитивних спрацювань становить 94%.

Похибка першого роду становить 3%, а другого – усього 1%.

Під час розроблення системи також проводилося спеціальне тестування усіх компонентів системи, що гарантує безперебійну її роботу. А саме:

- сервіси передачі даних усередині системи, щоб не губилися пакети;
- програмне забезпечення було протестоване за допомогою Unit тестів;
- телефон і встановлене на ньому ПЗ для роботів системі розумного дому.

Тож можна стверджувати, що використовувати нейронні мережі у своїх системах – це доцільна ідея. На завершення додам, що ця система може покращити життя не тільки людей, але й тварин.

#### Список літератури:

1. Крисиллов В. Представление исходных данных в задачах нейросетевого программирования. Одесса : ОНПУ, 2003.
2. Шитиков В., Розенберг Г., Зинченко Т. Методы системной идентификации. Тольятти : ИЭВБ РАН, 2003. 463 с.
3. Введение в теорию нейронных сетей. URL: <http://www.orc.ru>.
4. Шахнов В., Власов А., Кузнецов А. Нейрокомпьютеры: архитектура и схемотехника. Москва : Изд-во «Машиностроение», 2000. 64 с.
5. Головкин В. Нейронные сети: обучения, организация и применение. Москва : ИПРЖР, 2008.
6. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации. Москва : Вильямс, 2006.
7. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга. Москва : Мир, 1992.
8. Сойфер В. Методы компьютерной обработки изображений. Москва : Физматлит, 2001. 784 с.
9. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. Москва : Вильямс, 2006.
10. Шамис А. Поведение, восприятие, мышление: проблемы создания искусственного интеллекта. Москва : Изд-во «Наука», 2005. 224 с.
11. Вікіпедія. Машинне навчання. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Машинне\\_навчання](https://uk.wikipedia.org/wiki/Машинне_навчання).
12. Вікіпедія. Штучний інтелект. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучний\\_інтелект](https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучний_інтелект).
13. Вікіпедія. Штучна нейронна мережа. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна\\_нейронна\\_мережа](https://uk.wikipedia.org/wiki/Штучна_нейронна_мережа).
14. Вікіпедія. Навчання з учителем. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Навчання\\_з\\_учителем](https://uk.wikipedia.org/wiki/Навчання_з_учителем).



**Palamarchuk I.O., Bazaka Yu.A. PETS RECOGNITION SYSTEM FOR SMART HOME**

*Every year, we can see an increasing interest in solving complex problems by using intelligent systems. This is due to the fact that there are a large number of tasks in various fields of human activity, such as medicine, economics, robotics, mechanical engineering, etc. Given a large number of industries in which machine learning and neural networks are used, it can be said that these systems are a set of tools that help in the analysis and processing of large data sets, as well as in solving complex problems.*

*This article discusses the application of neural networks to the task of recognizing animals on the photo and to the problem of admitting them to a building. Namely, the following issues are considered:*

- what is a biological neuron;*
- what is an artificial neuron, and how it differs from the biological one;*
- what are the neural networks and how it works;*
- collecting and analyzing test data to train the system to recognize pets on the photo by using machine learning and neural networks that show a high coefficient of maximum output;*
- training of this system with test data and after that creation of a test model;*
- re-testing the system with different test models and ready data, in order to verify the correct identification of the animals, as the system may “keep in mind” the correct results, and after changing the input data, the determination result may become not satisfactory.*

*Another problem is finding possible errors when uploading incorrect data to the system. In general, the article deals with the problems of recognizing and admitting pets in smart home systems using machine learning technologies and neural networks. The article also is devoted to determining the feasibility of using these networks in conventional systems in order to increase their productivity.*

**Key words:** *machine learning, neural network, recognition, intelligent system.*

**Пелюх П.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## **АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ ПІДТРИМКИ ТИСКУ ПАРИ У ДРУГОМУ КОНТУРІ**

*Стаття присвячена дослідженню роботи в маневреному режимі автоматизованої системи регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі (режим Т).*

*Сьогодні понад 47% електроенергії в Україні дають АЕС (Рівненська, Запорізька, Південно-Українська та Хмельницька). Енергоблоки з реакторами ВВЕР-1000, які експлуатуються на чотирьох АЕС, є найпотужнішими на території України.*

*Сьогодні всі українські АЕС з ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблока на заданому рівні, але через роботу АЕС на енергосистему з великою кількістю споживачів електроенергії її споживання досить стрибкоподібне і залежить від потреб користувачів, сезону і часу доби. Тому дослідження роботи енергоблока ВВЕР-1000 у маневреному режимі є гострим питанням сьогодні.*

*Регулювання потужності реактора здійснюється системою управління і захисту (СУЗ) – зміною положення в активній зоні кластерів зі стрижнями з поглинаючими елементами (трубками з карбідом бору), а також зміною концентрації борної кислоти у воді першого контуру.*

*У статті розглядається регулювання потужності енергоблока за підтримки тиску у другому контурі на заданому рівні, функцію регулятора виконує автоматичний регулятор потужності (АРП). Регулюючий пристрій призначений для підтримки потужності реактора відповідно до потужності турбогенератора, стабілізації нейтронної потужності реактора на заданому рівні і підтримки потужності турбогенератора відповідно до потужності реактора.*

*У результаті досліджено автоматизовану систему регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 у режимі підтримки тиску пари у другому контурі за зміни навантаження на реактор зі 100% до 80% і назад у програмі MatLab в прикладному пакеті Simulink. Головні достоїнства цієї моделі: безпека, надійність і економічність експлуатації енергоблоків із реакторами ВВЕР-1000.*

**Ключові слова:** регулятор, енергоблок, програма регулювання, автоматизована система регулювання, автоматичний регулятор потужності, навантаження.

**Постановка проблеми.** Запорукою надійної експлуатації енергоблока є його невідмовна робота за різних збурень, як у режимі постійного навантаження, так і в маневреному режимі. У багатьох роботах [1, с. 16–19; 2, с. 128–139], які присвячені дослідженню проблеми покриття змінної частини графіків навантаження, зазначається, що підвищення частки атомних електростанцій у загально-встановленій потужності вимагає використання енергообладнання у маневреному режимі. Отже, стаття присвячена дослідженню регулятора підтримки тиску у другому контурі за зміни навантаження реактора.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [3, с. 19–27] розглядається аналіз впливу методів управління потужністю енергоблока з ВВЕР-1000 в маневреному режимі на кількісну міру стійкості, а саме на величину аксіального офсету.

У [4, с. 99–106] було досліджено математичну модель енергоблоку ВВЕР-1000 за компромісно-комбінованою програмою регулювання з точки зору розподілу значень найважливіших технологічних параметрів по висоті активної зони (АКЗ) реактора.

Робота [5, с. 171–174] присвячена дослідженню автоматичної системи регулювання потужності енергоблока в режимі Т. Наприклад, у роботі було розроблено систему регулювання потужності енергоблока з постійною підтримкою тиску пари в головному паровому колекторі, що дає змогу експлуатувати енергоблок у маневрених режимах.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження автоматизованої системи регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 у режимі підтримки тиску пари у другому контурі за зміни навантаження на реактор зі 100% до 80% і назад.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Енергоблок із реактором ВВЕР-1000 – самостійна частина атомної електростанції. Реактор ВВЕР-1000 призначений для здійснення керованої ланцюгової реакції, яка сама підтримується, поділу ядер палива з метою вироблення теплової енергії.

Регулювання потужності реактора здійснюється системою управління і захисту (СУЗ) – зміною положення в активній зоні кластерів зі стрижнів із поглинаючими елементами (трубками з карбідом бору), а також зміною концентрації борної кислоти у воді першого контуру.

У двоконтурних АЕС основним завданням регулювання паросилової установки є підтримка рівності між кількістю виробленої і споживаної енергії; невідповідність між вироблюваною енергією у реакторі і споживаної в турбіні може проявлятися зі зміною тиску і температури теплоносія в першому контурі і тиску (температури) насиченої пари в другому контурі. Вказану невідповідність усуває автоматичний регулятор потужності, який згідно з режимом роботи впливає або на реактор, або на турбіну, за допомогою цього підвищуються безпека, надійність і економічність експлуатації енергоблоків із реакторами типу ВВЕР-1000.

У роботі ставиться завдання дослідження роботи регулятора за зміни навантаження реактора зі 100% до 80% і назад. На рисунку 1 зображена структурна схема математичної моделі (ММ) в середовищі Simulink. Для дослідження

роботи регулятора змінюється завдання, за якого відбувається зміна навантаження реактора.

На рисунку 2 зображено перехідний процес зміни електричної потужності енергоблока. Зокрема, видно, що зміна навантаження зі 100% до 80% відбувається за 2 000 секунд, далі потужність підтримується на рівні 80% протягом 10 000 секунд, після чого відбувається повернення навантаження реактора до 100% за 2 220 секунд.

На рисунку 3 наведено фрагмент графіку зміни електричної потужності за досягнення значення 100%. Можна побачити, що під час виходу навантаження на 100% відбувається перерегулювання електричної потужності на 0,075%.

На рисунку 4 (Ps) зображено перехідний процес регулювання тиску пари у другому контурі. Зокрема, видно, що на перших секундах зміни навантаження зі 100% до 80% відбувається скачок регульованого параметра, далі відбувається стабілізація параметра, після чого на 2 000 секунд, коли навантаження досягає 80%, скачок відбувається знову, далі знову відбувається стабілізація, яка триває 10 000 секунд. Починаючи з 12 000 секунди відбувається повернення навантаження реактора на 100%, оскільки і під час спуску навантаження в регулюванні параметра відбуваються два скачки – на початку збільшення навантаження і наприкінці, коли ректор виходить на 100%, відбувається перерегулювання, так само як і електричної потужності, а на 18 650 секунд відбувається повне налагодження регулятора за 100% навантаження.

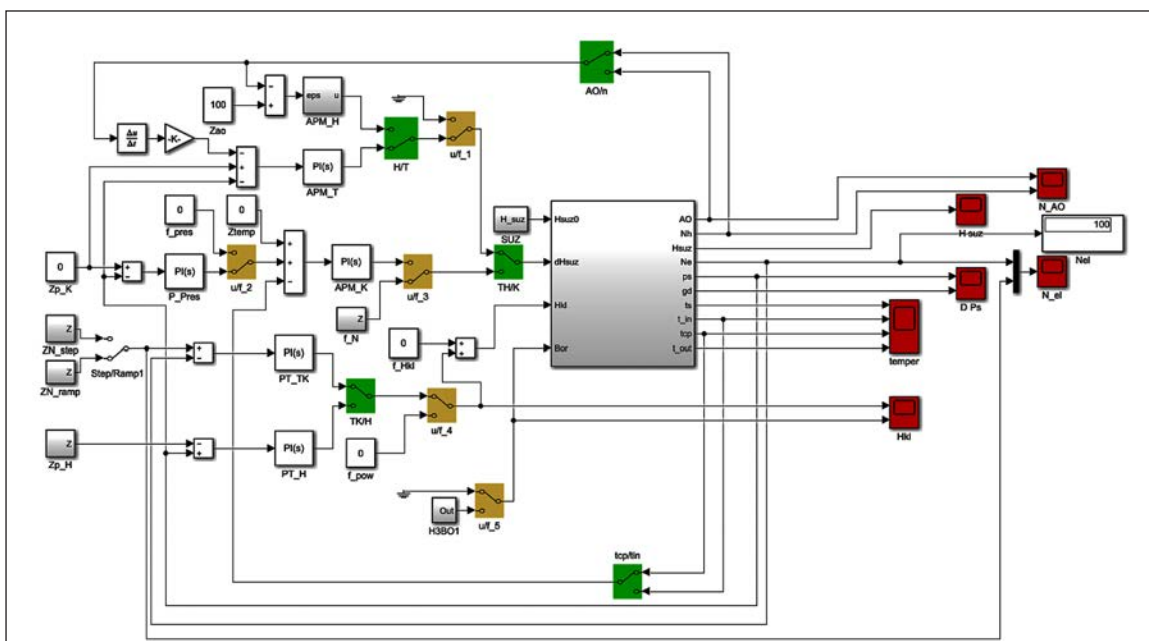


Рис. 1. Структурна схема ММ в середовищі Simulink

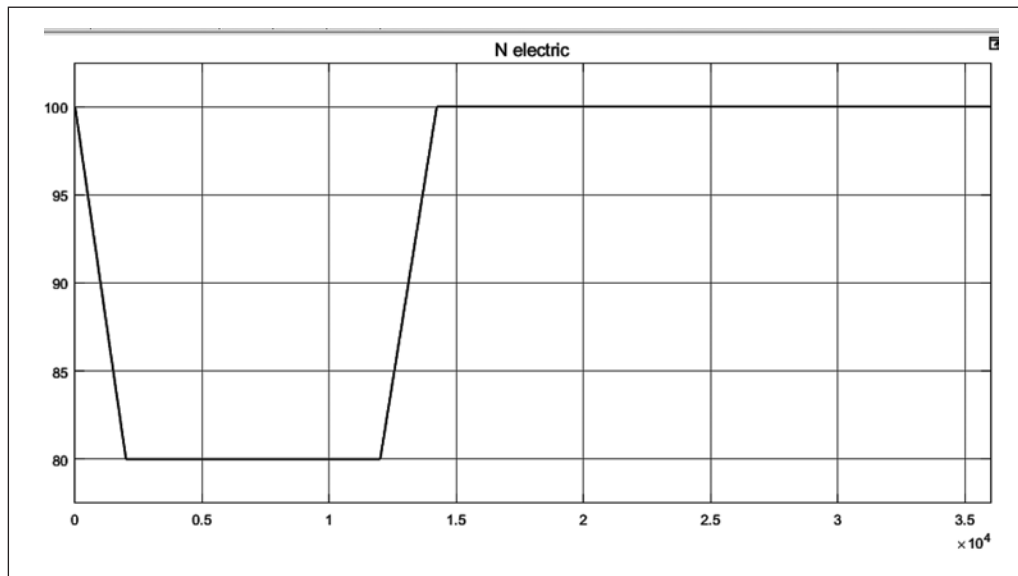


Рис. 2. Перехідний процес зміни електричної потужності енергоблока

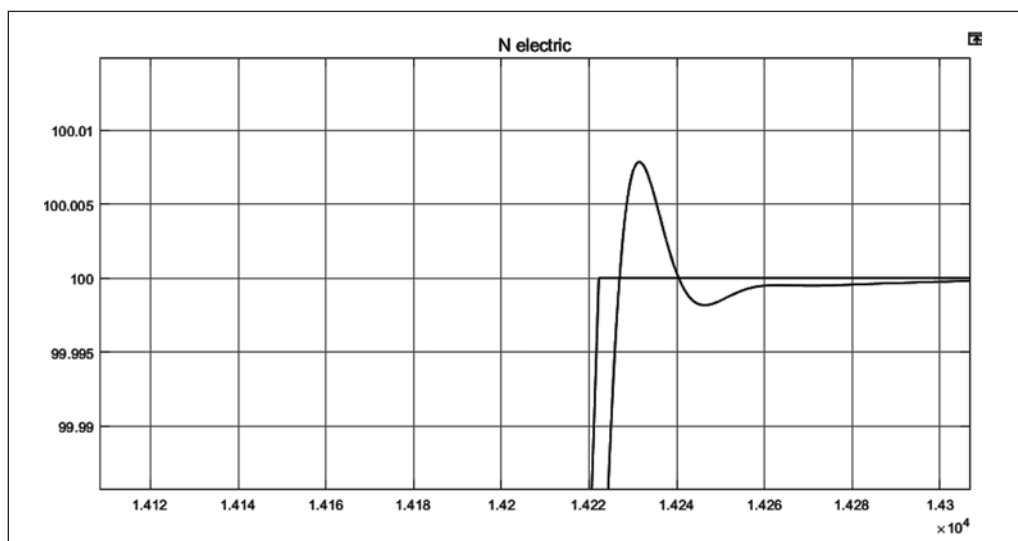


Рис. 3. Фрагмент графіку зміни електричної потужності

На рисунку 4 D) зображено зміну рівня пари у другому контурі. Зокрема, видно, що рівень пари змінюється відповідно до зміни електричної потужності.

Кількісною мірою стійкості реактора є аксіальний офсет (АО) – технологічна характеристика рівномірності енерговиділення, тому мірою ефективності експлуатації енергоблока з ВВЕР-1000 є мінімізація відхилення АО. На рисунку 5 зображено перехідний процес зміни аксіального офсету. Зокрема, видно, що АО змінюється відповідно до зміни електричної потужності енерго-

блока, і його значення не виходять за допустимі межі.

**Висновки.** У роботі розглянуто роботу автоматизованої системи регулювання потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 в режимі підтримки тиску пари у другому контурі за зміни навантаження зі 100% до 80% і назад. З'ясовано, що робота системи в маневреному режимі є задовільною, під час виходу навантаження на 100% можна побачити перерегулювання параметрів на 0,075%, однак необхідно модернізувати систему регулювання тиску пари для поліпшення якості перехідних процесів, а саме – зменшення коливальності.



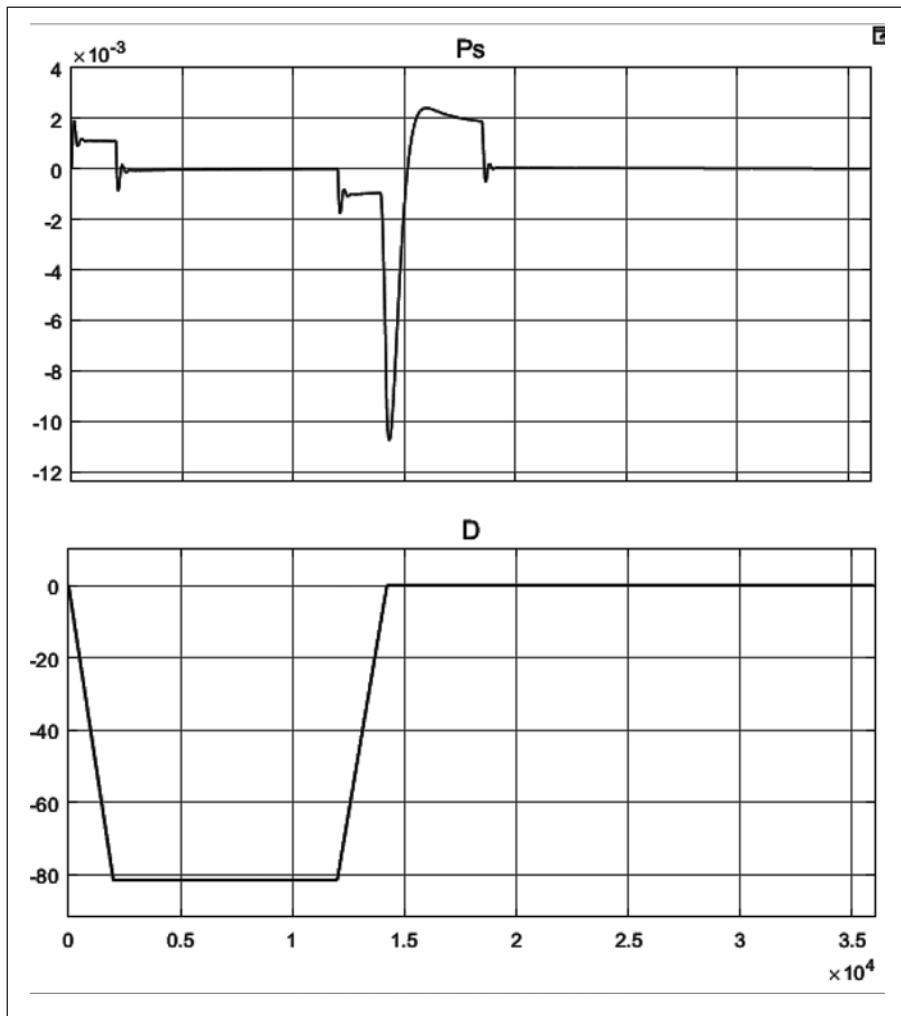


Рис. 4. Перехідний процес регулювання тиску пари у другому контурі Ps)  
Зміна рівня пари у другому контурі D)

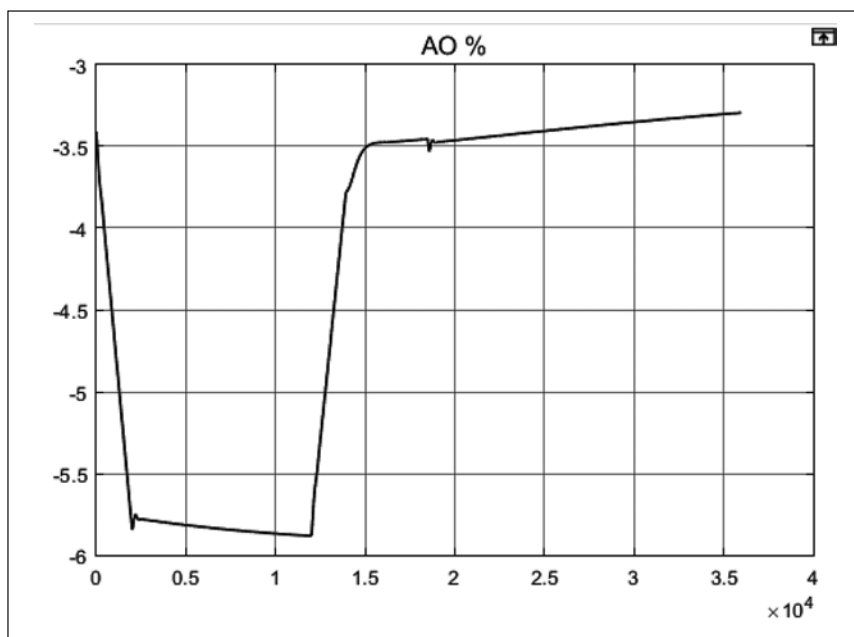


Рис. 5. Перехідний процес зміни аксіального офсету

**Список літератури:**

1. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарников В.П. О возможности регулирования мощности энергосистемы с помощью атомных электростанций. *Теплоэнергетика*. 1974. № 6. С. 16–19.
2. Игнатенко Е.И., Пыткин Ю.Н. Маневренность реакторов типа ВВЭР. Москва : Энергоатомиздат, 1985. 83 с.
3. Аналіз впливу методів управління потужністю енергоблока з водо-водяним реактором на осьової офсет / Т.В. Фощ, М.В. Максимов, М.В. Нікольський. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. № 2 (8). С. 19–27.
4. Максимов М.В., Беглов К.В., Цисельська Т.А. Модель реакторної установки енергоблока з ВВЕР-1000 як об'єкта керування потужністю. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2012. № 1. С. 99–106.
5. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Розробка автоматичної системи регулювання потужності енергоблока АЕС з ВВЕР-1000 в режимі Т. *Вчені записки «Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського»*. Серія : *Технічні науки*. 2018. Вип. 29 (68). Ч. 1. № 3. С. 171–174.
6. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарников В.П. Про можливість регулювання енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоэнергетика*. 1974. № 6. С. 16–19.
7. Сучасні технології управління : в 2 т. Монографія / за заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. Одеса : Купрієнко С.В., 2012. 179 с.

**Peliukh P.O. AUTOMATED SYSTEM OF REGULATION OF POWER OF NPP WITH VVER-1000 REACTOR IN THE MODE OF STEAM PRESSURE SUPPORT IN THE SECOND CIRCUIT**

*The article is devoted to the study and development of a mathematical model of an automated system for regulating the power of an NPP unit with the VVER-1000 reactor in the mode of maintaining the steam pressure in the second circuit (mode T).*

*Today, more than 47% of electricity in Ukraine is supplied by NPPs (Rivne, Zaporizhzhia, South-Ukrainian and Khmelnytsky). Power units with VVER-1000 reactors, which are operated at four NPPs, are the most powerful in Ukraine.*

*Today all Ukrainian NPPs with VVER-1000 are operated in the mode of stabilization of capacity of the power unit at the set level, but due to the operation of the NPP for the power system with a large number of electricity consumers, its consumption is rather abrupt and depends on the needs of users, season and time of day. Therefore, the study of the operation of the VVER-1000 maneuvering unit is an urgent question now.*

*The reactor power is regulated by a control and protection system (CPS) – by changing the position in the core of clusters with absorbent cores (boron carbide tubes), as well as by changing the concentration of boric acid in the water of the first circuit.*

*The article deals with regulating the power of the power unit while maintaining the pressure in the second circuit at a given level, the function of the regulator is performed by an automatic power regulator (ARP). The control unit is designed to maintain the reactor power in accordance with the power of the turbogenerator, stabilize the neutron power of the reactor at a predetermined level, and to maintain the power of the turbo generator according to the power of the reactor.*

*As a result, an automated system for regulating the power of an NPP unit with the VVER-1000 reactor in the mode of maintaining the steam pressure in the second circuit was investigated, when the load on the reactor was changed from 100% to 80% and back in the MatLab software package Simulink. The main advantages of this model: safety, reliability and economy of operation of power units with VVER-1000 reactors.*

**Key words:** *controller, power unit, control program, automated control system, automatic power regulator, load.*

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/26>**Петренко Ф.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Дьяков С.О.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ЗАСТОСУВАННЯ ХМАРНИХ ОБРАХУНКІВ ТА ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ І АВТОМАТИЗАЦІЇ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ДОШКІЛЬНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Актуальність роботи полягає у необхідності впровадження новітніх технологій у сферу освіти, а саме дошкільні навчальні заклади, адже вони є запорукою формування особистості людини, розвитку розумових, психологічних, фізичних та інших здібностей, створення безпечного та інноваційного середовища. Дуже важливе місце у розвитку людини займають дитячі садочки та заклади розвитку дитини різних типів. Головними завданнями таких закладів є створення безпечних умов розвитку, виховання та навчання дітей, режиму роботи, умов для фізичного розвитку та зміцнення здоров'я відповідно до санітарно-гігієнічних вимог, формування в дітей навичок та основ здорового способу життя, норм безпечної поведінки, здійснювати взаємодію із сім'єю, бути осередком поширення серед батьків психолого-педагогічних і фізіологічних знань про дітей дошкільного віку. Організація роботи в навчальних закладах – це складний безперервний процес, який потребує постійної комунікації з великою кількістю людей, контролю ресурсів різних видів, приміщень, і водночас найважливішим завданням є робота з дітьми, розроблення нових навчальних вправ і програм, адаптація під сучасні вимоги. Спеціалізоване програмне забезпечення дасть змогу автоматизувати більшість бізнес-процесів, деякі з них будуть проходити автоматично без втручання людини, інші ж частини системи допоможуть відображати та керувати ресурсами в режимі реального часу. Головною ідеєю є створення рішення, яке поєднає компоненти різних типів, такі як «Особистий кабінет», «Моніторинг групи», «Фото хаб», «Оповідання», «Історія розвитку дитини», «Стан здоров'я» та багато інших, з навколишнім світом, самим середовищем перебування та розвитку дитини шляхом використання елементів Smart Home – датчиків різних типів, які дадуть змогу безперервно контролювати клімат кімнат і події, що відбуваються в закладі. Інтеграція всіх компонентів та управління процесами на кожному рівні допоможе суттєво підвищити ефективність роботи таких інституцій, гарантувати безпеку та інноваційний розвиток дитини на всіх етапах. У статті розглянуто можливі технологічні рішення, які можуть бути використані для побудови такої програмної системи.

**Ключові слова:** дошкільний навчальний заклад, дитячий садок, хмарні обрахунки, Інтернет речей, управління, моніторинг кліматичних показників, програмне забезпечення, датчик, програмне рішення, архітектура систем, інтерактивна система, автоматизовані рішення.

**Постановка проблеми.** Сьогодні більшість роботи завідувача, медсестри, методиста чи вихователя в дошкільних навчальних закладах сконцентрована на оформленні різного типу документів, проведенні обрахунків, плануванні харчування дітей відповідно до калорійності страв, наявності продуктів на складі. Обмін фото після проведення цікавих занять чи заходів займає багато часу, спілкування батьків із вихователями можливе лише за зустрічі, батьки не мають можливості бути впевненими, що їхні діти в безпеці, проводять час

корисно та цікаво. Для вирішення таких проблем може бути створена програмна система як сервіс для використання працівниками закладу, а також надалі – батьками з розподіленням доступу відповідно до ролей користувачів. Також важливим етапом буде створення програмного забезпечення для інтеграції сенсорів із хмарними сервісами, виконання необхідних конфігурацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Впровадженню інформаційно-комунікаційних технологій у роботу дошкільних навчальних

закладів присвячено багато публікацій. І науковці, і завідувачі таких інституцій у своїх роботах стверджують про необхідність використання рішень, що зможуть підвищити ефективність управління та комунікації. Завідувач ДНЗ № 2 м. Коростеня Житомирської обл. О.Ю. Шевчук у своїй статті розглянула особливості та необхідність використання таких технологій [1]. Молодший науковий співробітник Інформаційно-аналітичного відділу педагогічних інновацій Інституту інформаційних технологій і засобів навчання Національної академії педагогічних наук України Кравчина Оксана Євгенівна дослідила можливості використання вільного програмного забезпечення, такого як KnowledgeTree — для забезпечення збереження, обміну, відстеження й управління документами, Open Admin for Schools — інструмент для виконання завдань шкільної адміністрації [2]. Хоча такі системи мають низку недоліків, а саме – необхідність використання окремого програмного забезпечення, яке загалом непристосоване до використання в дитячих садочках. Також є вже готові закордонні комерційні рішення, такі як Kagellen. Цей сервіс повністю онлайн, і можна отримати доступ до нього з будь-якого пристрою. Розроблено спеціалізований додаток для iPhone та iPad. У додатку є база даних для дітей, що дає змогу відстежувати основні відомості, такі як відвідуваність, харчування, сон, споживання їжі та інформацію про стан здоров'я та безпеки. Все ж їх фактично неможливо буде використовувати в Україні, вони не містять інтеграції із зовнішнім середовищем перебування дитини та мають інші проблеми.

**Постановка завдання.** Інтерактивна система управління дошкільним навчальним закладом буде вебдодатком, який інтегруватиметься із сервісами хмарних обрахунків Microsoft Azure та сенсорами, розташованими по кімнатах та території закладу [3]. Він дасть змогу працівникам контролювати кліматичні показники в навчальних групах і спеціалізованих приміщеннях у реальному часі, отримувати автоматичні сповіщення, робити налаштування груп, вести історію розвитку кожної дитини, створювати особисті сторінки вихователів, обмінюватися документами та навчальними матеріалами і багато іншого. Для реалізації цієї ідеї потрібно вирішити кілька завдань, серед них:

- проведення детального аналізу предметної галузі, визначення пріоритетних процесів, які потребують якнайшвидшого вдосконалення;
- створення дизайну та архітектури рішення на основі описаних вимог;

- написання функціональної частини застосування;
- розроблення вебінтерфейсу для користувачів;
- проєктування структури бази даних;
- інтеграція із зовнішніми системами, а саме – датчиками клімату, руху, камерами відеоспостереження;
- розгортання сервісів у хмарі для користування кінцевими користувачами;
- планування економічної ефективності розроблення додатків.

Головною метою статті є дослідження можливостей реалізації програмного рішення, новітніх та ефективних технологій для використання в майбутньому, часткова побудова дизайну та архітектури рішення з урахуванням вимог предметної галузі та наявних технологій.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Оскільки схожих інтерактивних систем управління дошкільними навчальними закладами немає як в Україні, так і в деяких сусідніх країнах, адже ця галузь має унікальну специфіку, рішення може допомогти впровадити інноваційні технології в освіту та при цьому бути серйозним конкурентом на ринку. Був проведений верхньорівневий аналіз предметної галузі та проблемних процесів, які притаманні більшості дошкільним навчальним закладам і розглянуто способи їх вирішення.

Для побудови програмної системи такого типу пропонується використання новітніх технологій від компанії Microsoft, а саме мова програмування C# та ASP.NET Core як технологія для створення вебзастосунків [4]. Як систему управління базами даних буде використано Microsoft SQL Server, а для інтеграції програмного коду із самою базою даних може бути використано Entity Framework Core. Саме таке поєднання має багато переваг як для створення додатку, так і надалі для інтеграції з іншими сервісами. ASP.NET Core є кросплатформенною технологією, яка демонструє високу продуктивність і вже використовується багатьма компаніями для вирішення власних потреб у програмному забезпеченні. Створені додатки можуть публікуватися та запускатися як у середовищі Windows, так і Linux, що додає суттєвої гнучкості у виборі серверів і пристосуванні до потреб бізнесу.

Нижче наведено основні сутності системи, що будуть створені в базі даних і на яких буде основана взаємодія коду системи і бази даних:

- Employee;
- Group;



- Permission;
- Role;
- Child;
- Parent;
- Institution.

Надалі під час розроблення цей список може бути доповнений іншими сутностями, що необхідні для правильного функціонування системи.

Рішення може включати розроблення трьох вебсервісів:

а) Management Portal — головний сервіс, який будуть використовувати працівники дошкільних навчальних закладів для внесення інформації про заклад, створення особистих кабінетів працівників, налаштування груп і моніторингу кліматичних показників, ведення історії розвитку кожної дитини, налаштування автоматичних сповіщень відповідно до критичних кліматичних показників у визначених кімнатах. На початку потрібно реалізувати базовий функціонал, але надалі можливості сервісу будуть розшиватися відповідно до потреб закладів, які стануть клієнтами.

б) Configuration — відповідатиме за реєстрацію нових клієнтів (дошкільні навчальні заклади, заклади розвитку дитини та інші інституції) в системі, створення індивідуальних налаштувань, реє-

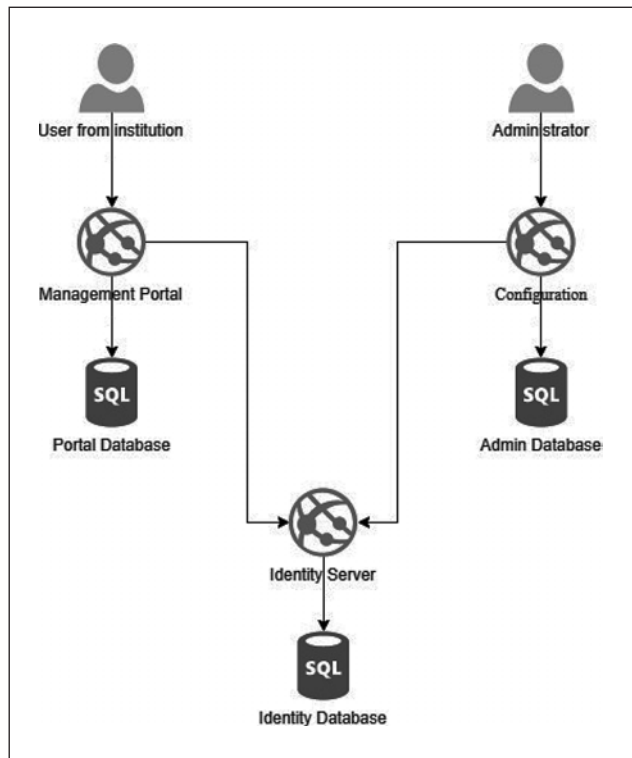


Рис. 1. Компонентна діаграма ключових сервісів і взаємодії з користувачами відповідно до ролі на перших етапах розроблення

Джерело: розроблено автором із використанням сервісу draw.io

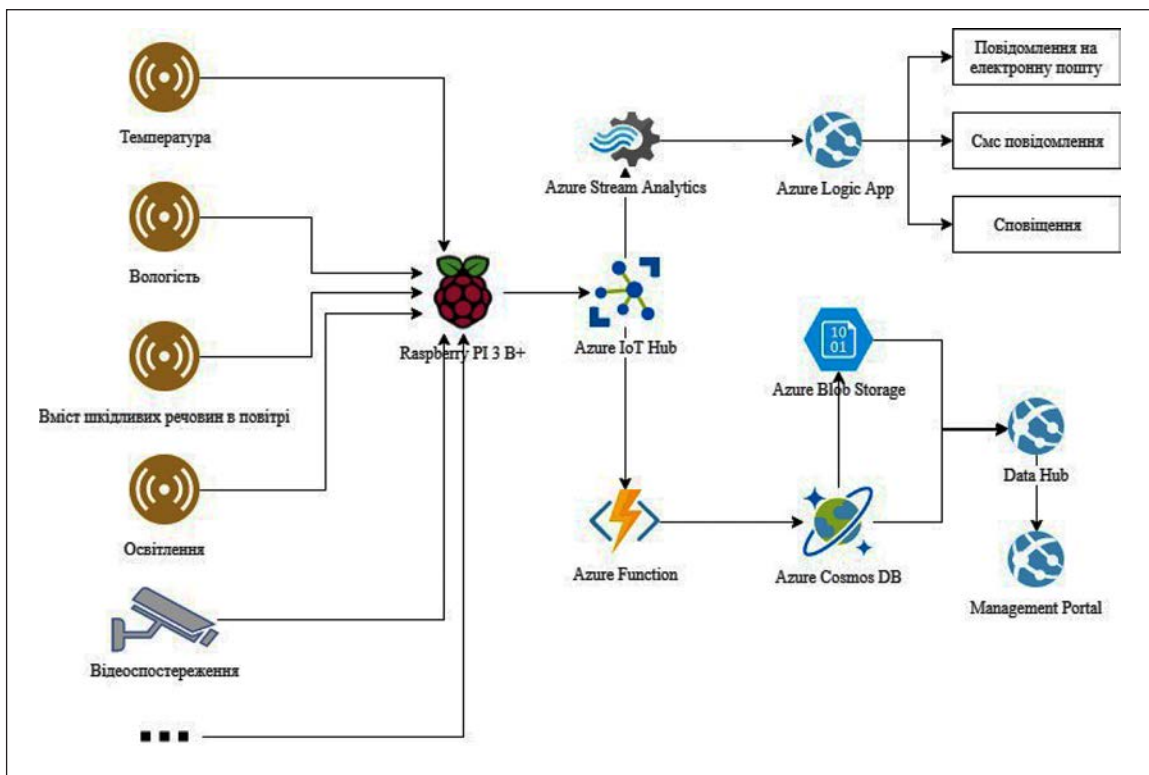


Рис. 2. Частина архітектури системи з використанням сервісів Microsoft Azure

Джерело: розроблено автором із використанням сервісу draw.io

страцію встановлених сенсорів для їх інтеграції, надання ролей і дозволів користувачам.

в) Identity Server — забезпечить контроль доступу до сервісів і ресурсів, дасть змогу робити налаштування процесів аутентифікації та авторизації відповідно до потреб системи, враховуючи її особливості.

Важливу увагу було приділено дослідженню можливості використання сервісу хмарних об'єктів Microsoft Azure для публікації додатків та інтеграції з уже готовими для розширення функціональності рішеннями.

Одним із важливих компонентів може бути Azure App Service, який дає змогу створювати та розміщувати вебдодатки, мобільні застосунки та RESTful API на мові програмування на вибір без керування інфраструктурою [6]. Він пропонує автоматичне масштабування та високу доступність, підтримує і Windows, і Linux, а також дозволяє автоматизовані розгортання з GitHub, Azure DevOps або будь-якого Git-репозиторію. Azure SQL Database ідеально підходить для вирішення завдання керування даними закладів і користувачів, оскільки це – високоефективна, надійна та безпечна хмарна база даних, яку рекомендовано використовувати для створення додатків і вебсайтів, не потребуючи управління інфраструктурою [7]. На рисунку нижче запропоновано варіант побудови архітектури системи з використанням таких сервісів, як Azure IoT Hub, Azure Cosmos Db, для інтеграції із сенсорами, які будуть розміщені в закладах.

Як видно з рисунка 2, Azure IoT Hub є центральним сервісом для отримання даних із сенсорів від плати Raspberry PI 3 B+. Пристрої можуть варіюватися від обмежених датчиків і мікроконтролерів одноцільового призначення до потужних шлюзів, які здійснюють маршрутизацію зв'язку для груп пристроїв [8]. Управління пристроями за допомогою IoT Hub надає можливості, шаблони та бібліотеки коду для підключення різноманітного набору пристроїв і кінцевих користувачів.

Запропоноване рішення дає змогу швидко налаштувати інфраструктуру та почати розроблення компонентів системи.

**Висновки.** Загалом, технологічне рішення є ефективним для розроблення інтерактивної системи моніторингу кліматичних показників та управління дошкільними навчальними закладами чи схожими інституціями. Воно допоможе автоматизувати деякі процеси, підвищити безпеку середовища розвитку дитини, покращити показники ефективності працівників закладів.

Для успішного впровадження проєкту необхідно виконати та пройти такі етапи:

1. Описати бізнес-вимоги до системи першої версії.
2. Спроектувати повну архітектуру та обрати технології для реалізації.
3. Розробити рішення та розгорнути інфраструктуру у хмарному середовищі.
4. Встановити датчики і сучасне обладнання у навчальному закладі, де проводитиметься тестування системи.
5. Провести навчання працівників для користування системою.
6. Отримати відгуки щодо роботи з програмним забезпеченням.
7. Створити план подальшого розвитку системи, провести аналіз необхідних ресурсів.

Ці кроки актуальні як для першого запуску системи, так і для подальшого розвитку продукту. У разі інвестицій із боку держави чи приватних закладів у розвиток продукту система може отримати такий функціонал, як автоматичне планування харчування дітей відповідно до вікової групи та інших вимог, електронний запис у чергу на навчання. Враховуючи гнучкість архітектури рішення, створення мобільного додатку для батьків і вихователів із можливостями спілкування, публікуванням новин, завантаженням фото з подій, оповіщеннями та багато іншого не буде проблемою.

#### Список літератури:

1. Інформаційно-комунікаційні технології в управлінні ДНЗ URL: <http://eprints.zu.edu.ua/20821/1/%D0%A8%D0%B5%D0%B2%D1%87%D1%83%D0%BA.pdf>.
2. Основні напрями використання вільного програмного забезпечення в закладах освіти зарубіжжя. URL: <http://lib.iitta.gov.ua/654>.
3. Введение в ASP.NET Core. URL: <https://metanit.com/sharp/aspnet5/1.1.php>.
4. C# programming guide. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/csharp/programming-guide>.
5. Get started with Azure. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/#pivot=get-started&panel=get-started>.
6. App Service Documentation. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/app-service>.
7. Azure SQL Database documentation. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/sql-database>.
8. Azure IoT Hub. Managed service to enable bi-directional communication between IoT devices and Azure. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/services/iot-hub/>
9. Welcome to Azure Cosmos DB. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/cosmos-db/introduction>.

**Petrenko F.V., Diakov S.O. USING CLOUD COMPUTING AND THE INTERNET OF THINGS TO MONITOR CLIMATE PERFORMANCE AND AUTOMATE BUSINESS PROCESSES IN PRESCHOOL EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

*The relevance of this work is the need to introduce the latest technologies in the field of education, namely, pre-school institutions, because they are the key to the formation of human personality, the development of mental, psychological, physical and other abilities, to create a safe and innovative environment. A very important place in human development is occupied by kindergartens and child development institutions of different types. The main tasks of such institutions are to create safe conditions for the development, education and training of children, working conditions, conditions for physical development and health promotion in accordance with sanitary and hygienic requirements, to develop the skills and basics of healthy lifestyles for children, norms of safe behavior, to interact with the family, to be the center of dissemination among parents of psycho-pedagogical and physiological knowledge about preschool children. Organization of work in educational institutions is a complex continuous process that requires constant communication with a large number of people, control of resources of different types, premises and at the same time the most important task is working with children, developing new training exercises and programs, adapting to modern requirements. Specialized software will automate most business processes, some of them will flow automatically without human intervention, while other parts of the system will help display and manage resources in real time. The main idea is to create a solution that combines components of different types, such as “Personal Cabinet”, “Group Monitoring”, “Photo Hub”, “Alerts”, “Child Development History”, “Health” and many others, very environment of finding and developing a child through the use of Smart Home Elements – sensors of various types, which will continuously monitor the climate of the rooms and events taking place in the institution. The integration of all components and process management at each level will significantly improve the efficiency of such institutions, guarantee the safety and innovative development of the child at all stages. Possible technological solutions that can be used to build such a software system are considered in the article.*

**Key words:** *preschool educational institution, kindergarten, cloud computing, Internet of Things, management, climate monitoring, software, sensor, system architecture, interactive system, automated solutions.*

**Плохотнюк М.А.**

Одеський національний політехнічний університет

**Уліцька О.О.**

Одеський національний політехнічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РІВНЯ КОНДЕНСАТУ В ГРУПІ ПІДІГРІВАЧІВ НИЗЬКОГО ТИСКУ АЕС

*На атомних електростанціях велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним із способів підвищення якості цих питань є автоматизація технологічних процесів. Система регенерації турбоустановки призначена для підвищення термодинамічного ККД її циклу шляхом підігрівання основного конденсату і живильної води паром нерегульованих відборів турбіни. Необхідно враховувати також, що після аварії на Чорнобильській АЕС атомній енергетиці приділяється пильніша увага і стають більш суворими вимоги до надійності систем контролю, управління і захисту – як із боку державних наглядових органів, так і з боку світової спільноти. Упровадження систем автоматизованого управління рівнем конденсату в підігрівачах низького тиску, побудованих на основі програмованих контролерів, допомагає автоматизувати процес контролю рівня конденсату в підігрівачах низького тиску. Застосування такої системи дає змогу підвищити коефіцієнт корисної дії атомної електростанції.*

*Підтримання заданого рівня конденсату в підігрівачах низького тиску є складовою частиною автоматизованої роботи атомної електростанції. Актуальність полягає в тому, що підвищення рівня конденсату від нормального призводить до затоплення поверхонь теплообміну, а іноді призводить до проскакування крапель води до турбіни; пониження рівня призводить до проскакування конденсату до конденсаційних насосів, що призводить до кавітації. Тому виникла необхідність синтезу та аналізу автоматизованої системи регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів низького тиску, що дає змогу підтримувати характерний технологічний параметр.*

*Є регенеративні підігрівачі двох типів: змішувального та поверхневого. До складу групи підігрівачів низького тиску атомної електростанції входять два підігрівачі низького тиску змішувального типу та два поверхневого. У статті розглядається автоматизована система регулювання рівня конденсату в підігрівачах низького тиску поверхневого типу.*

**Ключові слова:** автоматизована система регулювання, підігрівач низького тиску, атомна електростанція, автоматизація, математична модель, передавальна функція.

**Постановка проблеми.** На атомних електростанціях велика увага приділяється питанням безпеки, надійності, якості роботи основного устаткування. Одним із способів підвищення якості цих питань є автоматизація технологічних процесів. Одним із таких процесів є регулювання рівня конденсату в групі підігрівачів низького тиску.

Система регенерації турбоустановки призначена для підвищення термодинамічного ККД її циклу шляхом підігрівання основного конденсату і живильної води паром нерегульованих відборів турбіни [2, с. 239]. Був запропонований новий алгоритм підтримки рівня конденсату в ПНТ. Для реалізації запропонованого алгоритму в АСР ПНТ була розроблена математична модель, за допомогою якої досліджувались властивості ПНТ за різних програм регулювання. Для реалізації АСР був застосований ПІ-закон регулювання.

**Постановка завдання.** Мета статті – дослідити синтез автоматизованої системи регулювання рівня конденсату в ПНТ. Упровадження систем автоматизованого управління рівнем конденсату в ПНТ, побудованих на основі програмованих контролерів, допомагає автоматизувати процес контролю рівня конденсату в підігрівачах низького тиску. Застосування такої системи дає змогу підвищити ККД атомної електростанції.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На блоках АЕС в експлуатації є чотири ступені підігріву основного конденсату з підігрівниками поверхневого типу. Конденсаційні насоси 2-го ступеня через підігрівачі низького тиску подають конденсат на деаератор (рис. 1).

У роботі є всі підігрівачі низького тиску. Пройшовши три паралельно включені ПНТ-1, основний конденсат направляється через охолоджувач



дренажу ПНТ-2 у два паралельно підключених ПНТ-2. Після ПНТ-2 основний конденсат із температурою 80°C направляється в ПНТ-3 і далі, після підігріву, з температурою 112°C через охолоджувач дренажу ПНТ-4 надходить на ПНТ-4, звідки з температурою 156°C направляється в деаератори. Парою, що підігриває для ПНТ-1, є пар 7-го відбору ЦНТ турбіни, для ПНТ-2 – пар 6-го відбору ЦНТ, основний конденсат у ПНТ-3 підігривається парою 5-го відбору і в ПНТ-4 – паром четвертого відбору. Сепаратор СПП надходить на ПНТ-4 (на блоках 1–5). На блоці 6 сепаратор відкачується насосами зливу сепаратора в лінію основного конденсату за ПНТ-4. Конденсат пари, що гріє ПНТ-4, надходить через ОД-4 в ПНТ-3, звідки зливними насосами ПНТ-3 відкачується в кількості 673 т/ч в лінію основного конденсату за ПНТ-3. Конденсат пари, що гріє ПНТ-2, через ОД-2 надходить в ПНТ-1, звідки зливними насосами ПНТ-1 в кількості 415 т/год – у лінію основного конденсату за ПНТ-1. Проектною схемою передбачено три зливних насоси ПНТ-1 і три зливних насоси ПНТ-3. Підігрівачі ПНТ-3 і ПНТ-4 забезпечені обвідними лініями (байпасами).

На рис. 1 зображено теплову схему реактора ВВЕР-1000, де Р – реактор, ПП – пароперегрівач, ЦВД – циліндр високого тиску, ЦНД – циліндр низького тиску, ЕГ – електрогенератор, ПНД – підігрівач низького тиску, Д – деаератор, ПВД – підігрівач високого тиску, ПГ – парогенератор.

Математичну модель досліджуваного об'єкта утворюють рівняння матеріального і енергетичного балансу робочого середовища (пари і пароводяної суміші) і статичні залежності зв'язку змінних параметрів.

Для отримання моделі об'єкта його було розділено на ділянки по каналу «витрата пари – рівень» і «ступінь відкриття клапана – рівень».

Отже, передавальні функції об'єкта мають такий вигляд:

Передавальна функція ПНД по каналу «витрата пари – рівень»:

$$W(s) = \frac{0,607}{3260S + 1} \quad (1)$$

Передавальна функція ПНД по каналу «ступінь відкриття клапана – рівень».

$$W(s) = \frac{-8833}{3260S + 1} \quad (2)$$

Отримано статичні характеристики об'єкта під час заміни рівня води в ПНТ по таких каналах:

- 1) по каналу «ступінь відкриття клапана – рівень»
- 2) по каналу «витрата пари – рівень»

ПНТ призначений для підігріву конденсату і живильної води паром, який надходить із відбору турбіни. Дренаж пари, що гріє, відводиться самопливом у паровий простір попереднього ПНТ або подається за допомогою насоса в основну лінію.

Величина підігріву визначається параметрами пара з нерегульованих відборів. Єдиною регульованою величиною є рівень дренажу.

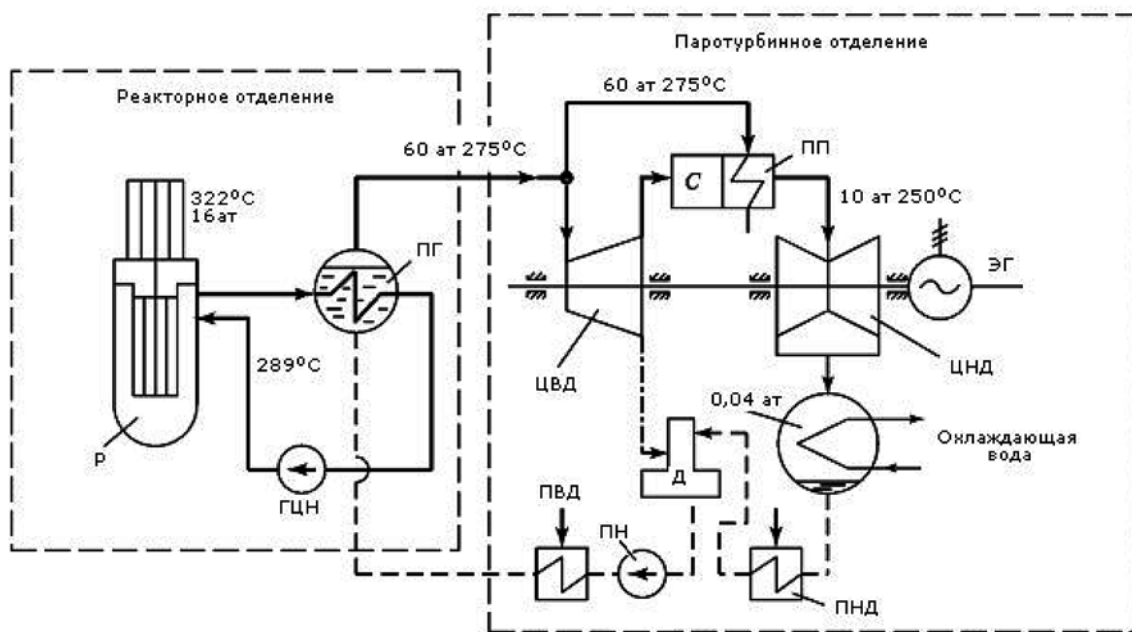


Рис. 1. Принципова теплова схема реактора ВВЕР-1000

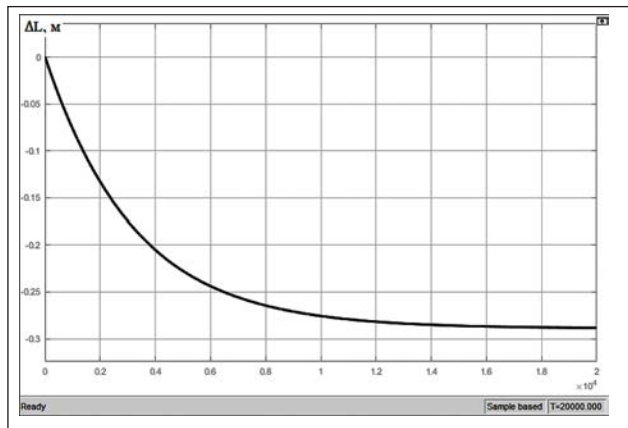


Рис. 2. Статична характеристика по каналу «ступінь відкриття клапана – рівень»

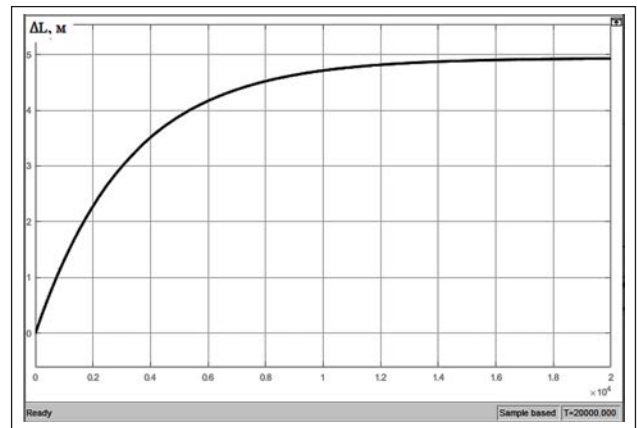


Рис. 3. Статична характеристика по каналу «витрата пари – рівень»

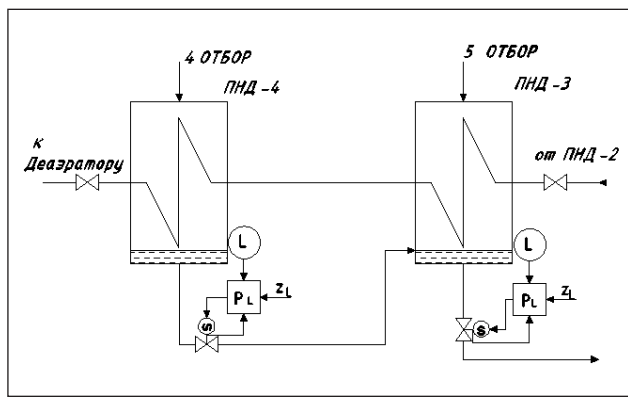


Рис. 4. Схема регулювання рівня конденсату в групі ПНТ

Під час підвищення рівня затоплюються поверхні теплообміну. У разі аварійного розвантаження енергоблока тиск пари різко зменшується, що призводить до закипання дренажу і можливості попадання його в турбіну. За низького рівня конденсату можливе проскакування пари або в нижчий підігрівач, що зменшує ККД, або в дренажний насос, що призводить до кавітації.

Динамічні властивості ПНТ описуються рівнянням інтегруючої ланки. З цієї причини для регулювання рівня використовують ПІ-закон регулювання. Для поліпшення процесу регулювання в ПНТ між регуляторами встановлюють пристрої динамічного зв'язку. Властивості

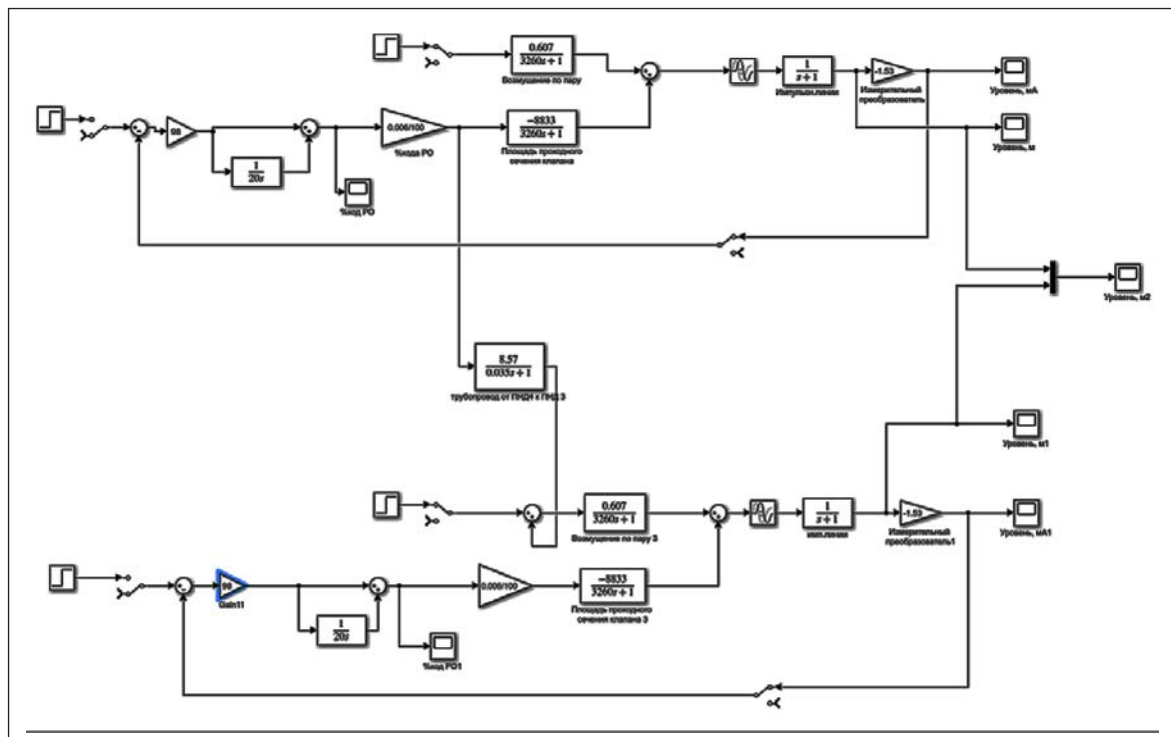


Рис. 5. Математична модель регулювання рівня конденсату в групі ПНТ

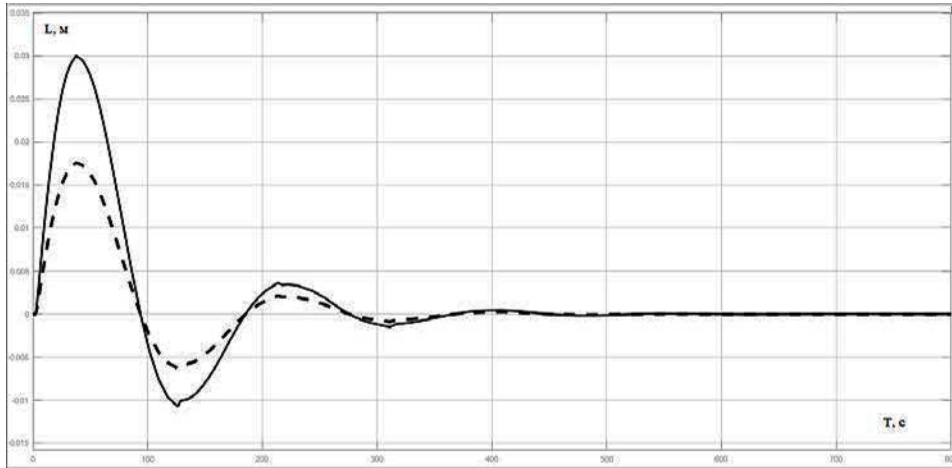


Рис. 6. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ (- ПНТ-4; - - ПНТ-3)

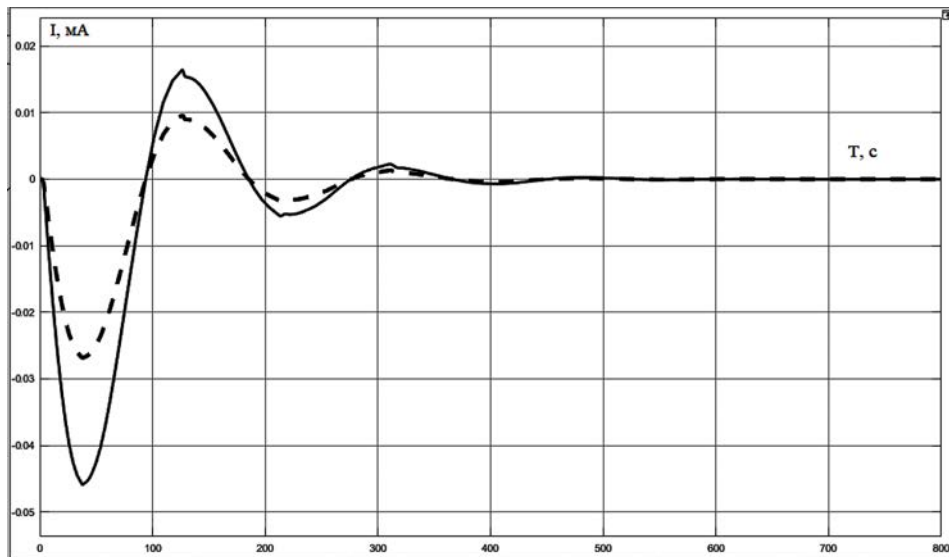


Рис. 7. Перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ (- ПНД-4; - - ПНД-3)

динамічної ланки визначаються умовою інваріантності. Схема регулювання представлена на рисунку 4.

Розраховану математичну модель необхідно реалізувати в середовищі Simulink, що дасть змогу наочно простежити зміну перехідного процесу з урахуванням додавання регулятора і без нього.

Для пояснення процесу так само необхідні графіки зміни положення РК і свідчення зміни рівня конденсату в підігрівачі.

Структурна схема регулювання рівня конденсату в групі ПНД представлена на рисунку 5.

Отримано перехідний процес регулювання рівня конденсату в групі ПНТ під час подачі збу-

рення по каналу витрати пари, який представлений на рисунках 6 і 7.

Компенсація РК під час подачі збурення по пару в групі ПНТ представлена на рисунку 8.

За перехідними процесами регулювання видно, що регулятор справляється зі своїм завданням і виконує регулювання рівня в ПНТ-3 і ПНТ-4. Різниця в першому відхиленні зумовлена тим, що ПНТ-4 і ПНТ-3 з'єднує трубопровід, що призводить до зливу конденсату з наступного ПНТ в попередній.

Для перевірки стійкості АСР проведемо випробування у Simulink. Аналіз даних представлений у таблиці 1.

Аналіз випробувань

Збурення витратою пари	Тр, с		Δh max, мм		Ψ	
	ПНТ-4	ПНТ-3	ПНТ-4	ПНТ-3	ПНТ-4	ПНТ-3
+10%	500	450	30	17	0,13	0,18
+15%	550	500	45	27	0,12	0,11
-10%	500	450	-30	-17	0,12	0,17
-15%	550	500	-45	-27	0,12	0,10

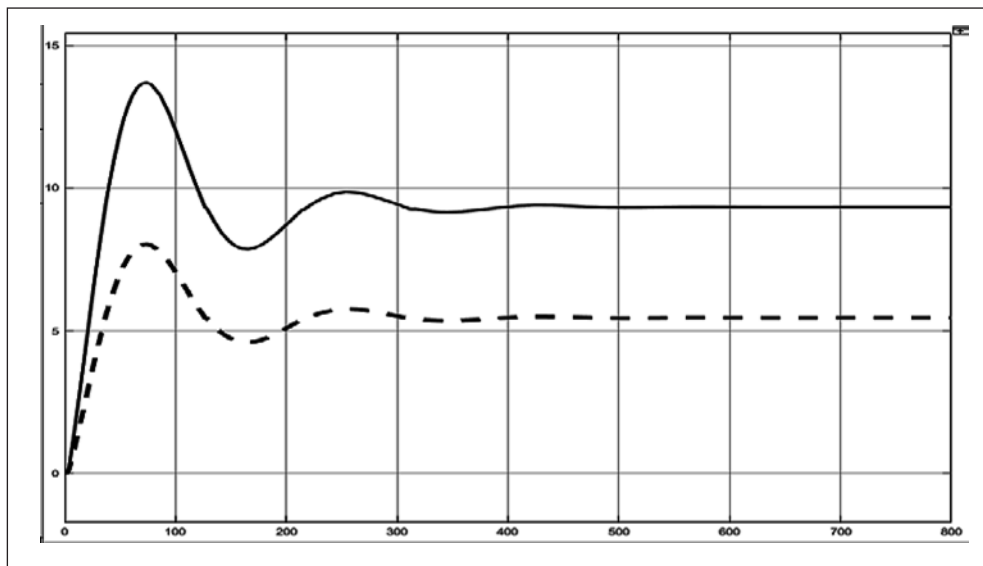


Рис. 8. Компенсація РК під час подачі збурення по парі (- ПНТ-4; -- ПНТ-3)

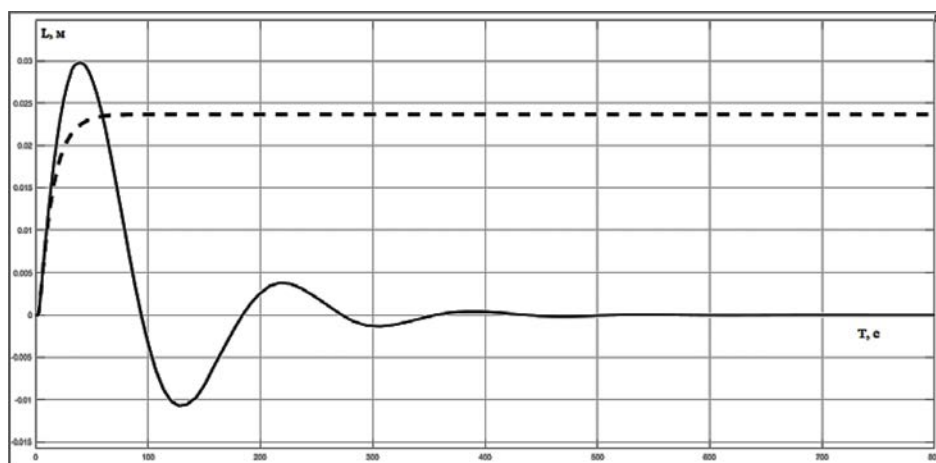


Рис. 9. Порівняння П-регулятора (--) та П-регулятора (-) в регулюванні рівня ПНТ-4

Отже, аналіз даних, наведений у таблиці 1, доводить, що ця структура АСР здатна забезпечити стійкість АСР.

Для того, щоб переконатися в якості П-регулятора, порівнюємо його з П-регулятором. Для цього використаємо Simulink. Перехідні процеси регулювання П- та П-регуляторів представлені на рисунках 9 та 10.

За перехідними процесами регулювання видно перевагу П-регулятора, а саме – відсутність статичної похибки регулювання.

**Висновки.** Для визначення динамічних характеристик ПНТ отримала подальший розвиток математична модель, заснована на розв’язку рівнянь збереження маси, енергії та об’єму. У результаті проведеного аналізу впливу



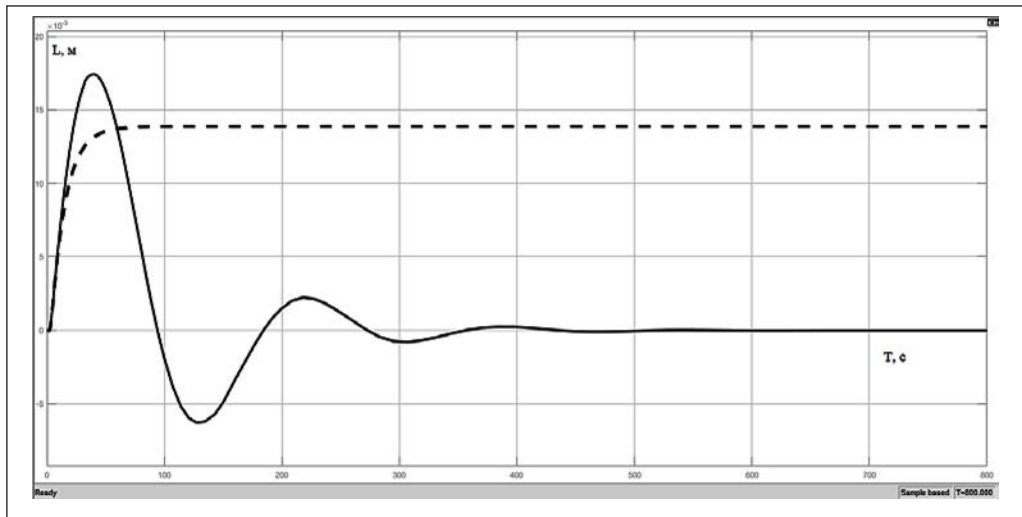


Рис. 10. Порівняння П-регулятора ( - - ) та ПІ-регулятора ( - ) в регулюванні рівня ПНТ-3

зовнішніх збурень отримано криві розгону збурюючими каналами, використовуючи програмне забезпечення Simulink. Розроблена математична модель може бути використана для подальшого синтезу системи автоматичного регулювання.

#### Список літератури:

1. Беглов К.В., Волошкіна О.О., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблока АЕС. Праці Одеського політехнічного університету. 2015. Вип. 2 (36). С. 7.
2. Демченко В.А. Автоматизація і моделювання технологічних процесів АЕС і ТЭС. Одеса : Асторпринт, 2001. С. 239–240.
3. Преображенский В.П. Теплотехнічні виміри і прилади : підручник для ВНЗ за фахом «Автоматизація теплоенергетичних процесів». 3-є вид., перероб. Москва : Енергія, 1978. 704 с.

#### **Plohotniuk M.O., Ulitska O.O. RESEARCH OF THE AUTOMATIC CONDENSATE LEVEL CONTROL SYSTEM IN THE LOW PRESSURE HEATER GROUP**

*At nuclear power plants, much attention is paid to safety, reliability and quality of operation of the main equipment. One way to improve the quality of these issues is through the automation of technological processes. The turbine plant regeneration system is designed to enhance the thermodynamic efficiency of its cycle by heating the main condensate and feed water with steam from unregulated turbine selections. It should also be borne in mind that after the Chernobyl disaster, nuclear energy has been given closer attention and stricter requirements for the reliability of control, management and protection systems, both from state supervisors and from the international community. The introduction of automated condensate level control systems in low pressure heaters, built on the basis of programmable controllers, allows to automate the process of controlling the condensate level in low pressure heaters. The use of such a system allows to increase the efficiency of a nuclear power plant.*

*Maintaining a predetermined level of condensation in low pressure heaters is an integral part of the automated operation of a nuclear power plant. The urgency is that increasing the condensate level from normal leads to flooding of the heat transfer surfaces, and sometimes leads to the leakage of water droplets into the turbine; lowering the level causes the condensate to leak into the condensation pumps, which leads to cavitation. Therefore, there was a need to synthesize and analyze an automated condensate level control system in the low pressure heater group, which allows to maintain the characteristic technological parameter.*

*There are two types of regenerative heaters: mixing and surface heaters. The Nuclear Power Plant Low Pressure Heaters Group includes two low pressure mixers of mixed type and two surface heaters. This article discusses an automated condensate level control system for low pressure surface type heaters.*

**Key words:** *automated control system, low pressure heater, nuclear power plant, automation, mathematical model, transfer function.*

**Повхан І.Ф.**

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

## ПИТАННЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ДИСКРЕТНИХ ЗОБРАЖЕНЬ У ЗАДАЧАХ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ

*Стаття піднімає важливе питання теорії розпізнавання образів – питання ефективного та економічного опису (представлення на основі прямокутних функцій) дискретних зображень. Зокрема, під час розв'язання завдань розпізнавання (класифікації) зображень зазвичай стикаємося з такою ситуацією – нині накопичено значну кількість алгоритмічних і методичних інструментів, які вирішують деякі часткові завдання, підзавдання (опис або представлення) зображень, виділення характерних ознак (структурних елементів) на зображеннях та інші, але відсутня ефективна методика комплексного використання накопиченого потенціалу в межах єдиної концепції, відсутня проста та універсальна методологія опису дискретних зображень. Сьогодні є ціла низка підходів, методів та алгоритмів для виділення ознак на зображеннях і пакети інструментальних програм для їх реалізації. Проте залишається проблема знаходження системи оптимальних (у певному сенсі для цього конкретного завдання) ознак, тобто пошук таких властивостей зображень (визначення та фіксація ознакового простору), в просторі яких класифікація (розпізнавання) була би можливим і не дуже складним (економічно вигідним) завданням. Використання наявних програмних систем для цієї мети стає можливим лише за наявності методів, які би за результатами роботи різних систем дали змогу виділяти системи ознак, які актуальні щодо поточного завдання. Причому для кожного практичного завдання класифікації зображень системи ознак, що необхідні для розв'язання (важливі щодо фіксованого завдання або класу завдань), як правило, різні і їх потрібно заново визначати. Очевидним стає знаходження оптимальних (у певному сенсі) систем ознак. Часто завдання знаходження оптимальних систем ознак зводять до завдання мінімізації вихідного опису зображення. Проте це стосується лише випадку, коли оптимальна система ознак є серед множин ознак, що задають опис зображень, що є, як правило, тільки припущенням.*

*Стаття пропонує метод мінімізації вихідного опису дискретних зображень, що дає змогу побудувати мінімальне за ознаковим описом зображення довільної структури на основі методу представлення дискретного об'єкта набором прямокутних функцій. Також у роботі піднімається питання однозначного покриття зображення прямокутниками.*

**Ключові слова:** розпізнавання дискретних зображень, прямокутна функція, ознака, навчальна вибірка.

**Постановка проблеми.** Завдання, які об'єднуються тематикою розпізнавання образів, дуже різноманітні. Станом на зараз немає універсального підходу до їх розв'язання, запропоновано декілька досить загальних теорій [1], що допомагають вирішувати багато типів завдань, але їхні прикладні застосування вирізняються досить великою чутливістю до специфіки самого завдання. Багато теоретичних результатів отримано для спеціальних випадків і підзавдань. Слід зазначити, що вузьким місцем вдалих реальних систем розпізнавання є необхідність виконання величезного обсягу обчислень. Проте велика кількість прикладних завдань у різних галузях природознавства, наприклад у геології, геофізиці, геохімії, медицині, соціології, археології, біології та інших, де вирішуються завдання класифікації з використанням програмних та апаратних систем,

визначає інтенсивність та актуальність такого розвитку [2].

Підкреслимо, що здебільшого об'єкт у завданнях класифікації дискретних зображень представляється як вектор значень деяких ознак, кількість яких може бути дуже великою, а інформативність одних – суттєво більшою за інших [3]. Зрозуміло, що збільшення кількості ознак значно ускладнює процес класифікації (розпізнавання) зображень, збільшує витрати, пов'язані зі збереженням даних про образи і, що найгірше, в деяких випадках може привести до зниження точності розпізнавання. У зв'язку з цим виникає важливе завдання, яке напряму пов'язане з головною проблемою теорії розпізнавання образів – завдання вибору з початкових ознак деякої кількості ознак найбільш інформативних (якісніших), завдання мінімального опису (представлення) зображення [4]. Для

розв'язання цієї проблеми необхідно, по-перше, вміти оцінювати важливість різних ознак та їхніх сполучень. Важливість ознак визначається найчастіше за даними деякої початкової інформації (навчальної вибірки НВ) за допомогою тих чи інших критеріїв важливості [5; 9; 10].

**Постановка завдання представлення дискретного зображення.**

У цій частині роботи спочатку розглянемо питання представлення бінарних зображень. Нехай на початковому етапі задане деяке бінарне зображення  $S$  на матриці  $2^p \times 2^q, p, q \in N$ . Будемо вважати, що є деякий оператор  $P$ , який однозначно покриває це зображення прямокутниками та видає цю інформацію у вигляді деякої фіксованої множини:

$$S = \{[x_1, y_1], [x^1, y^1]; \dots; [x_k, y_k], [x^k, y^k]\} \quad (3.9)$$

Зауважимо, що тут  $[x_i, y_i]$  – верхня ліва координата  $i$ -того прямокутника, що покриває зображення  $S$ , а відповідно  $[x^i, y^i]$  – нижня права координата  $i$ -того прямокутника, що покриває зображення  $S$ , ( $i = 1, \dots, k$ ),  $k$  – кількість прямокутників, які покривають зображення початкове  $S$ .

Неважко переконатися, що  $S$  повністю характеризує (представляє) початкове зображення  $S$ .

На наступному етапі за цією множиною  $S$  однозначно будуються такі набори:

$$\begin{aligned} A_1 &= (x_1 - y_1, x_2 - y_2, \dots, x_k - y_k); \\ A_2 &= (x^1 - y^1, x^2 - y^2, \dots, x^k - y^k); \\ \overline{A}_1 &= ((x_1 - y_1) - (x_2 - y_2), (x_2 - y_2) - (x_3 - y_3), \dots, \\ &\dots, (x_{k-1} - y_{k-1}) - (x_k - y_k)) = (a_1, \dots, a_{k-1}); \\ \overline{A}_2 &= ((x^1 - y^1) - (x^2 - y^2), (x^2 - y^2) - (x^3 - y^3), \dots, \\ &\dots, (x^{k-1} - y^{k-1}) - (x^k - y^k)) = (a^1, \dots, a^k). \end{aligned}$$

Звідси легко бачити, що  $a_i$  та  $a^i$  можна обчислювати за такими формулами:

$$\begin{aligned} a_i &= (x_i - y_i) - (x_{i+1} - y_{i+1}); \\ a^i &= (x^i - y^i) - (x^{i+1} - y^{i+1}), (i = 1, \dots, k - 1); \\ \overline{D}_1 &= (x_1 - x_2, x_2 - x_3, \dots, x_{k-1} - x_k) = (d_1, \dots, d_{k-1}); \\ \overline{D}_2 &= (x^1 - x^2, x^2 - x^3, \dots, x^{k-1} - x^k) = (d^1, \dots, d^{k-1}); \end{aligned}$$

Далі введемо таке позначення  $A(S) = \{\overline{A}_1, \overline{A}_2, \overline{D}_1, \overline{D}_2\}$  та запропонуємо таку теорему:

*Теорема 1.* Для деякого фіксованого зображення  $S$ , ознаки  $(x_i, y_i)$ ,  $(x^1, y^1)$  та  $A(S)$  дають можливість його однозначно визначити.

*Доведення.* Для доведення цієї теореми представимо  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  через  $(x_i, y_i)$ , та аналогічно  $(x^{i+1}, y^{i+1})$  через  $(x^i, y^i)$ . Фактично так теорема буде доведена, оскільки нам на початку відомі  $(x_i, y_i)$  та  $(x^i, y^i)$ .

$$\begin{cases} a_i = (x_i - y_i) - (x_{i+1} - y_{i+1}) \\ d_i = x_i - x_{i+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_{i+1} = x_i - d_i \\ y_{i+1} = y_i + a_i - d_i \end{cases}$$

Аналогічно будемо мати:

$$\begin{cases} a^i = (x^i - y^i) - (x^{i+1} - y^{i+1}) \\ d^i = x^i - x^{i+1} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x^{i+1} = x^i - d^i \\ y^{i+1} = y^i + a^i - d^i \end{cases}$$

Звідси можна зробити висновок, що теорему доведено.

**Питання представлення зображень множиною векторів. Геометричні спотворення. Лінійне перетворення координат.**

Нехай на першому етапі деяке зображення  $S_1$  буде представлено в такому вигляді:

$$S_1 = \{[x_1, y_1], [x^1, y^1]; \dots; [x_k, y_k], [x^k, y^k]\}.$$

Тоді застосуємо на зображення  $S$  оператор  $L$  таким способом:

$$S_2 = L(S_1) = \{[u_1, v_1], [u^1, v^1]; \dots; [u_k, v_k], [u^k, v^k]\}.$$

*Визначення 1.* Оператор  $L$  задає лінійне перетворення координат  $S_1$ , якщо виконуються умови:

- 1)  $u = Ax + By + c$ ;
- 2)  $v = Dx + Ex + F$ .

Тут зауважимо, що  $A, B, C, D, E, F$  будуть такі, що точка  $(u, v)$  належить матриці, на якій задано зображення.

$$\begin{aligned} S_2 = L(S_1) &= \{[Ax_1 + By_1 + C, Dx_1 + Ey_1 + F], [Ax^1 + By^1 + C, Dx^1 + \\ &+ Ey^1 + F]; \dots; [Ax_k + By_k + C, Dx_k + Ey_k + F], [Ax^k + By^k + \\ &+ C, Dx^k + Ey^k + F]\}. \end{aligned}$$

Далі, на наступному етапі, знайдемо для зображення  $S_2$ ,  $i$ -тові компоненти. Тоді позначимо їх відповідно:

$$\begin{aligned} {}^0a_i &= Ax_i + By_i + C - Dx_i + Ey_i - F - Ax_{i+1} - By_{i+1} - C + Dx_{i+1} + \\ &+ Ey_{i+1} + F = A(x_i - x_{i+1}) - D(x_i - x_{i+1}) + B(y_i - y_{i+1}) - E(y_i - y_{i+1}) = \\ &= (A - D)(x_i - x_{i+1}) - (E - B)(y_i - y_{i+1}). \end{aligned}$$

Отже, будемо мати

$${}^0a_i = (A - D)(x_i - x_{i+1}) - (E - B)(y_i - y_{i+1}).$$

Аналогічно

$${}^0a^1 = (A - D)(x^i - x^{i+1}) - (E - B)(y^i - y^{i+1}).$$

$${}^0d_1 = Ax_i + By_i + C - Ax_{i+1} - By_{i+1} - C = A(x_i - x_{i+1}) + B(y_i - y_{i+1}).$$

Аналогічно  ${}^0d^1 = A(x^i - x^{i+1}) + B(y^i - y^{i+1})$ .

На наступному етапі розглянемо важливі часткові випадки:

1) Частковий перенос ( $A = E = 1, B = D = 0$ ), при цьому:

$${}^0a_i = (x_i - x_{i+1}) - (y_i - y_{i+1}); \quad {}^0a^i = (x^i - x^{i+1}) - (y^i - y^{i+1});$$

$${}^0d_i = (x_i - x_{i+1}); \quad {}^0d^i = (x^i - x^{i+1}).$$

Тобто  ${}^0a_i = a_i, {}^0a^i = a^i, {}^0d_i = d_i, {}^0d^i = d^i$ .

*Теорема 2.* Зображення  $S_1$  та  $S_2$  інваріантні щодо паралельного переносу тоді і тільки тоді, коли виконується умова  $A(S_1) = A(S_2)$ .

*Доведення.* Необхідність уже була доведена вище. Достатність випливає з теореми (3.1).

2) Зміна масштабу ( $A/B = D/E, C = F = 0$ ).

Розглянемо часткові випадки:

а)  $A = E, B = D$ .

Звідси випливає, що  $A = B = D = E$  за додатних  $A, B, D, E$ . При цьому будемо мати, що

$$u = A(x + y), v = A(x + y) \Rightarrow u = v.$$

За такого перетворення довільний фіксований прямокутник перетворюється у квадрат визначеного розміру. Розміри квадрата залежать тільки від величини  $A$ .

б)  $A = D, B = E$ .

При цьому будемо мати

$$u = Ax + By, v = Ax + By \Rightarrow u = v.$$

За такого перетворення довільний фіксований прямокутник перетворюється у квадрат визначеного розміру. Розміри квадрата залежать від величини  $A$  та  $B$ .

в)  $A - D = E - B$ .

*Теорема 3.* Два зображення інваріантні щодо лінійного перетворення  $A - D = E - B$  за компонентами  $a_i$  та  $a^i$ .

д)  $B = D = C = F = 0, A = E$ .

*Теорема 4.* Два зображення інваріантні щодо лінійного перетворення  $B = D = C = F = 0, A = E$  за компонентами  $a_i, a^i$  та  $z$ , з точністю до фіксованої величини (Const).

Отже, наступна теорема узагальнює отримані вище результати.

*Теорема 5.* Під час зміни масштабу деякого фіксованого зображення із заданими параме-

трами  $A, B, D, E$  його компоненти  $\overline{A}_1, \overline{A}_2, \overline{D}_1, \overline{D}_2$  знаходяться за відповідними формулами:

$$a_i = (A - D) * (x_i - x_{i+1}) - (E - B) * (y_i - y_{i+1});$$

$$a^i = (A - D) * (x^i - x^{i+1}) - (E - B) * (y^i - y^{i+1});$$

$$d_i = A * (x_i - x_{i+1}) - B * (y_i - y_{i+1});$$

$$d^i = A * (x^i - x^{i+1}) - B * (y^i - y^{i+1}).$$

На наступному етапі розглянемо питання про загальну кількість зображень, які задаються на матриці  $2^p \times 2^q$  одним прямокутником. Відомо, що довільне зображення початкової НВ являє собою деяку функцію та навпаки – довільну функцію можна представити як деяке зображення.

*Визначення 2.* Функції, які представляють зображення, що задається на матриці  $2^p \times 2^q$  одним прямокутником, будемо називати прямокутними. Неважко побачити, що кількість прямокутних функцій виражається так:

$$N_n = \sum_{k_1=1}^{2^p} \sum_{k_2=1}^{2^q} ((2^p - (k_1 - 1)) * (2^q - (k_2 - 1))).$$

Зауважимо, що тут  $k_1$  та  $k_2$  – розміри прямокутника, а  $n = p + q$ .

Далі, провівши спрощення цієї формули отримаємо таке представлення:

$$N_n = \sum_{k_1=1}^{2^p} \sum_{k_2=1}^{2^q} ((2^p - (k_1 - 1)) * (2^q - (k_2 - 1))) = \left( \frac{1 + 2^p}{2} * 2^p \right) * \left( \frac{1 + 2^q}{2} * 2^q \right) = 2^{p+q-2} * (1 + 2^p) * (1 + 2^q).$$

Зауважимо, що якщо  $p = q$ , то ця формула набуде такого вигляду:

$$N_n = 2^{p(q-1)} (1 + 2^p)^2, \quad n = 2p, \quad p = n / 2.$$

На наступному етапі розглянемо приклад – необхідно знайти кількість прямокутних функцій для  $N_4 = 2^2 (1 + 2^2) = 4 * 5^2 = 100$ . Тут слід зауважити, що загальна кількість різних функцій від 4-х змінних буде дорівнювати  $2^{2^4} = 2^{16} = 65536$ , а в процентному відношенні кількість прямокутних функцій щодо всіх функцій буде становити приблизно 0.15%, ( $n = 4$ ).

На наступному етапі розглянемо питання про складність представлення довільного зображення (або відповідної функції) диз'юнкцією прямокутних функцій. Під складністю реалізації зображення (булевої функції) будемо розуміти загальну кількість прямокутних функцій, що входять у диз'юнкцію та однозначно її визначають. Нехай будемо вважати, що деяке зображення задано на



матриці  $2^p \times 2^q$ , а отже, можемо запропонувати таке твердження щодо диз'юнкцій прямокутних функцій.

*Твердження 1.* Всяке довільне зображення, яке задане на фіксованій матриці  $2^p \times 2^q$ , представляється диз'юнкцією прямокутних функцій, кількість яких не перевищує  $2^{n-1}$ ,  $n = p + q$ . Тут слід зауважити, що є тільки два зображення такої складності,  $f$  та  $\bar{f}$ , які являють собою умовну шахову дошку.

**Висновки.** Зважаючи на все вищесказане в цій роботі, можна зафіксувати такі пункти.

1) Деякий оператор  $P$ , який однозначно покриває початкове зображення  $S$  набором прямокутників, генерує деяку фіксовану множину  $S$  загального вигляду (3.9).

2) Множина  $S$  в представленні (3.9) буде повністю характеризувати (представляти, описувати) початкове зображення  $S$ .

3) Деяке фіксоване зображення  $S$  буде однозначно визначатися верхньою лівою координатою, нижньою правою координатою та множиною деякою  $A(S)$ .

4) Деякий оператор  $L$  буде задавати лінійне перетворення координат зображення  $S_1$ ,

якщо виконуються умови  $(u = Ax + By + c, v = Dx + Ex + F)$ , причому  $A, B, C, D, E, F$  будуть такі, що точка  $(u, v)$  належить матриці, на якій задано зображення.

5) Два довільні зображення  $S_1$  та  $S_2$  інваріантні щодо паралельного переносу тоді і тільки тоді, коли виконується умова  $A(S_1) = A(S_2)$ . Будуть інваріантні щодо лінійного перетворення  $A - D = E - B$  за компонентами  $a_i$  та  $a^i$ . Будуть інваріантні щодо лінійного перетворення  $B = D = C = F = 0, A = E$  за компонентами  $a_i, a^i$  та  $d_i, d^i$  з точністю до фіксованої величини (Const).

6) Під час зміни масштабу деякого фіксованого зображення із заданими параметрами  $A, B, D, E$  його компоненти  $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{D}_1, \bar{D}_2$  знаходяться за наведеними вище формулами.

7) Загальна кількість прямокутних функцій, що представляють деяке зображення, буде

$$N_n = \sum_{k_1=1}^{2^p} \sum_{k_2}^{2^q} ((2^p - (k_1 - 1)) * (2^q - (k_2 - 1)))$$

8) Довільне зображення  $S$ , яке задане на фіксованій матриці  $2^p \times 2^q$ , представляється диз'юнкцією прямокутних функцій, кількість яких не перевищує  $2^{n-1}$ , причому  $n = p + q$ .

#### 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. Quinlan J.R. Induction of Decision Trees. Machine Learning. 2008. № 1. Р. 1–81, 22.
3. Василенко Ю.А., Повхан І.Ф., Вашук Ф.Г. Проблема оцінки складності логічних дерев розпізнавання та загальний метод їх оптимізації. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. 2011. № 6/4 (54). С. 24–28.
4. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А., Василенко Е.Ю. Концептуальна основа систем розпізнавання образів на основі методу розгалуженого вибору ознак. Науково-технічний журнал “European Journal of Enterprise Technologies”. 2004. № 7 (1). С. 13–15.
5. 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.
6. Povhan I. General scheme for constructing the most complex logical tree of classification in pattern recognition discrete objects. Електроніка та інформаційні технології : зб. наук. пр. Львів, 2019. Вип. 11. С. 112–117.
7. Vasilenko E. Yu., Kuhayivsky A.I., Papp I.O., Vasilenko Yu. Construction and optimization of recognizing systems. Науково-технічний журнал «Інформаційні технології і системи». Львів, 1999. № 1 (Т1). С. 122–125.
8. Василенко Ю.А., Повхан І.Ф. Апроксимація навчаючої вибірки гіперпараллелепідами. Науковий вісник УжДШЕП. 1998. № 2. С. 9–17.
9. Повхан І.Ф., Василенко Ю.А. Групова та індивідуальна оцінка важливості бульових аргументів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 2011. № 53. С. 57–64.
10. Повхан І.Ф. Проблема функціональної оцінки навчальної вибірки в задачах розпізнавання дискретних об'єктів. Вчені записки Таврійського національного університету. Серія : Технічні науки. 2018. Т. 29 (68). № 6. С. 217–222.

#### Povkhan I.F. THE QUESTION OF THE DESCRIPTION OF THE DISCRETE IMAGES IN PATTERN RECOGNITION PROBLEMS

*The work raises an important question of the theory of pattern recognition - the question of effective and economic description (representation on the basis of rectangular functions) of discrete images. So when the task of recognition (classification) of the images generally face the following situation – currently accumulated*

*a significant amount of algorithmic and methodological tools, which solve some particular tasks, subtasks (description or performance) images characteristics (structural elements) on images and things, but there is no effective methodology for integrated use of accumulated potential in a single concept is no simple and universal method of description of discrete images. Today, there are a number of approaches, methods and algorithms for the selection of features in images and software packages for their implementation. However, there remains the problem of finding a system of optimal (in a sense for this particular task) features, that is, the search for such properties of images (definition and fixation of the feature space) in the space of which classification (recognition) would be possible and not very difficult (cost-effective) task. The use of existing software systems for this purpose becomes possible only in the presence of methods that would be based on the results of various systems, allowed to identify the system features that are relevant to the current task. Moreover, for each practical problem of image classification, the systems of features required for the solution (important relative to a fixed problem or class of problems) are usually different and need to be re-defined. It is evident that finding the optimal (in a sense) of systems of signs. Often the problem of finding optimal feature systems is reduced to the problem of minimizing the original image description. However, this applies only to the case when the optimal system of features is among the sets of features that define the description of images, which is usually only an assumption.*

*This work offers a method of minimization of the initial description of discrete images, which allows constructing a minimal description of an image of an arbitrary structure on the basis of the method of representation of a discrete object by a set of rectangular functions. The paper also raises the question of unambiguous coverage of the image by rectangles.*

**Key words:** *recognition of discrete images, rectangular function, characteristic training set.*

**Роспона П.П.**

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

**СИСТЕМА РОЗУМНОГО МІСТА НА БАЗІ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ**

У сучасному світі міста є ключовими економічними, адміністративними та географічними центрами суспільства. Зростаючі темпи урбанізації та розвиток промисловості, науки та методів управління призводять до необхідності пошуку якісно нових рішень, нових засад взаємодії міста і його населення. Міста повинні навчитися надавати нові сервіси та задовольняти зростаючі потреби мешканців, роблячи їхнє життя комфортнішим, безпечнішим і легшим. Інакше кажучи – трансформуватись і перейти від формату «знеособленої території для виживання і задоволення базових потреб жителів» до формату «живої істоти», для якої люди є суб'єктами міського життя, з якими здійснюється інтерактивне спілкування. Для реалізації цих завдань планується використання передових технологій комунікації та обробки інформації.

У статті розкрито суть холистичної системи розумного міста, яка, об'єднуючи різні джерела даних, дає змогу отримати комплексний погляд на стан процесів міста та застосувати системний підхід до вирішення проблем міста. Описано передумови виникнення необхідності в такій системі, наявні рішення, які частково задовольняють потреби сучасних міст світу. Розглянуто основні технології, необхідні для реалізації системи, зокрема використання нейронних мереж для обробки потоків даних і генерації корисних інсайтів, Інтернету речей (IoT) для збору даних за допомогою сенсорів і датчиків, встановлених у різних частинах міста, *noSQL* баз даних, що оптимізовані для вставки великої кількості записів і здійснення операцій агрегації, хмарної інфраструктури, яка надає потужності для розгортання серверних застосунків, інструменти аналітики даних у реальному часі та збору метрик, забезпечує надійною мережею.

Особливості проектування системи, питання вибору принципів і методологій розроблення також висвітлені в статті. Архітектура проекту повинна задовольняти низку нефункціональних вимог: система має вміти добре масштабуватись за різкого зростання трафіку користувачів, легко розгортатись у хмарному середовищі, бути стійкою до ситуацій несправностей частини компонентів і швидко відновлювати свою роботу.

**Ключові слова:** розумне місто, нейронна мережа, машинне навчання, Інтернет речей, аналітика великих даних, сервісна платформа.

**Постановка проблеми.** Сьогодні міста стикаються з великою кількістю проблем: завантаженою транспортною системою та великою кількістю автомобілів, постійним збільшенням використання електроенергії та води, погіршенням екологічної ситуації, переробкою сміття, безпекою мешканців тощо. Для вирішення певних конкретних питань приватні компанії та адміністративна влада міст уже розробили рішення, які повністю вирішують проблему чи оптимізують процес. Найчастіше вони стосуються сфери логістики, прокладання найкоротшого маршруту в місті, моніторингу якості повітря та «розумних» парковок і оперують над обмеженою множиною джерел даних. Ці вертикальні рішення важко інтегрувати між собою, відповідно, досягнувши системного погляду на ситуацію. Крім того, впровадження цих систем призводить до фрагментації технологічного стеку «розумного» міста. У цьому

криється ризик довгострокового розвитку та недоотримання максимальної користі від технологій.

На противагу горизонтальний (холистичний) підхід розглядає місто як систему, що складається з різних систем: транспортної, енергетичної, логістичної тощо. Кожна система створює різні джерела даних, які можна інтегрувати і використати для вирішення проблем населення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З огляду на важливість підвищення ефективності послуг, які надає сучасне місто, питанням проектування та реалізації різноманітних систем розумного міста приділено увагу широкого кола комерційних компаній, муніципалітетів і науковців.

Більшість проектів спрямовані на вирішення конкретного завдання в певній сфері життя міста. Наприклад, муніципалітети Хорватії реалізували проект NEWLIGHT у сфері «розумного» вуличного освітлення: завдяки реконструкції і модернізації

громадського освітлення в 57 містах вдалось значно зекономити енергію – на 60%, або 35 ГВт на рік. Іншим прикладом є створення платформи на базі технології блокчейн для перевірки і захисту відкритих даних міста, що включає маршрути громадського транспорту, розклад поїздів і результати голосування навколишніх громад. Ініціатором проекту була влада міста Відень разом із компанією EY, яка допомагала керувати розробленням системи та інтегрувати блокчейн-мережу в муніципальну платформу відкритих даних. З моменту запуску платформи, який відбувся в кінці 2017 року, було захищено близько 350 масивів даних за допомогою блокчейн-мереж. Мережі, що були запуснені одними з перших в Європі, захищають офіційні документи, зберігаючи хеші наборів даних у загальнодоступних блокчейн-мережах. Це дає змогу муніципальним службовцям і жителям перевіряти справжність документів, дату їхнього створення та модифікації.

Крім прикладних проектів, були досліджені публікації консалтингових компаній щодо розвитку горизонтальних платформ розумного міста. Дослідження Еріка Вудса, працівника компанії Navigant Research, розвиває ідею платформи розумного міста, яка охоплює технічні аспекти системи та новий погляд на концепцію місто-як-сервіс (city-as-a-service), що дає можливість постачальникам сервісів різних сфер господарства органічно інтегрувати свої послуги в середовище міста. Інше дослідження, яке провела компанія Beecham Research – Smart City Platforms: the Intelligent Core of Smart Cities, описує недоліки наявних вертикальних систем розумного міста, які застосовують підхід M2M для вирішення конкретних завдань, і показує, як горизонтальні системи можуть допомогти в ефективному вирішенні проблем міста. Автори публікації підкреслюють, що такий тип систем можливо реалізувати лише завдяки використанню передових технологій інформаційних систем: хмарних обчислень, технологій аналітики великих даних, розподілених систем, Інтернету речей (IoT) та машинного навчання.

Головним недоліком розглянутих публікацій є недостатність розкриття питань проектування системи розумного міста, її реалізації та впровадження в реальних умовах міст.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз проектування та розроблення системи розумного міста, яка являтиме собою технологічну платформу, що оперує сигналами і даними в одному

стандарті, з взаємопов'язаними потоками і базами даних; а також створення публічного API (прикладного програмного інтерфейсу), що дало б змогу новим «розумним» рішенням міста підключитись до платформи.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** За комплексного та інтегрованого підходу до проектування «розумне» місто може бути представлено у вигляді структури, що складається з чотирьох рівнів, починаючи від базової інфраструктури і закінчуючи додатками та послугами.

Рівень 1: Базова інфраструктура, яка є фундаментальним чинником, що сприяє розвитку «розумного» міста. Включає в себе телекомунікації, транспорт, енергетичну систему, вуличне освітлення, водопостачання і водовідведення.

Рівень 2: Формує міську IoT-екосистему. Складається з підключених датчиків, об'єктів і пристроїв, які аналізують поведінку користувачів і міжмашинну взаємодію.

Рівень 3: Хмарна платформа, яка займається аналізом і обробкою великих даних, створених на попередніх рівнях. Забезпечує корисною інформацією та інсайтами, які можуть використовуватись для покращення послуг.

Рівень 4: Прикладні застосунки, з якими взаємодіють кінцеві користувачі – жителі міста, і які надають «розумні» послуги.

Як уже зазначалось вище, вертикальні системи «розумного» міста вирішують конкретну проблему певної сфери господарства, важко інтегруються між собою та призводять до фрагментації технологічного стеку міста. Якщо дані зберігаються в розрізних системах і базах даних з обмеженим доступом у різних форматах, організації не можуть ефективно ділитися й аналізувати дані та отримувати максимальну цінність від їхньої обробки. Саме тому пропонується створення єдиної платформи, що оперує сигналами і даними в одному стандарті, із взаємопов'язаними потоками і базами даних.

Одним із найважливіших завдань під час створення холістичної системи «розумного» міста є проектування правильної архітектури. Розроблювана платформа повинна вміти обробляти велику кількість даних, які будуть генерувати датчики та «розумні» пристрої, зберігати неструктуровані дані, надавати інструментарій для аналізу та візуалізації даних, вміти знаходити корисні інсайти завдяки використанню алгоритмів машинного навчання та реагувати на події в режимі реального часу.

Архітектура системи представлена на рис. 1.



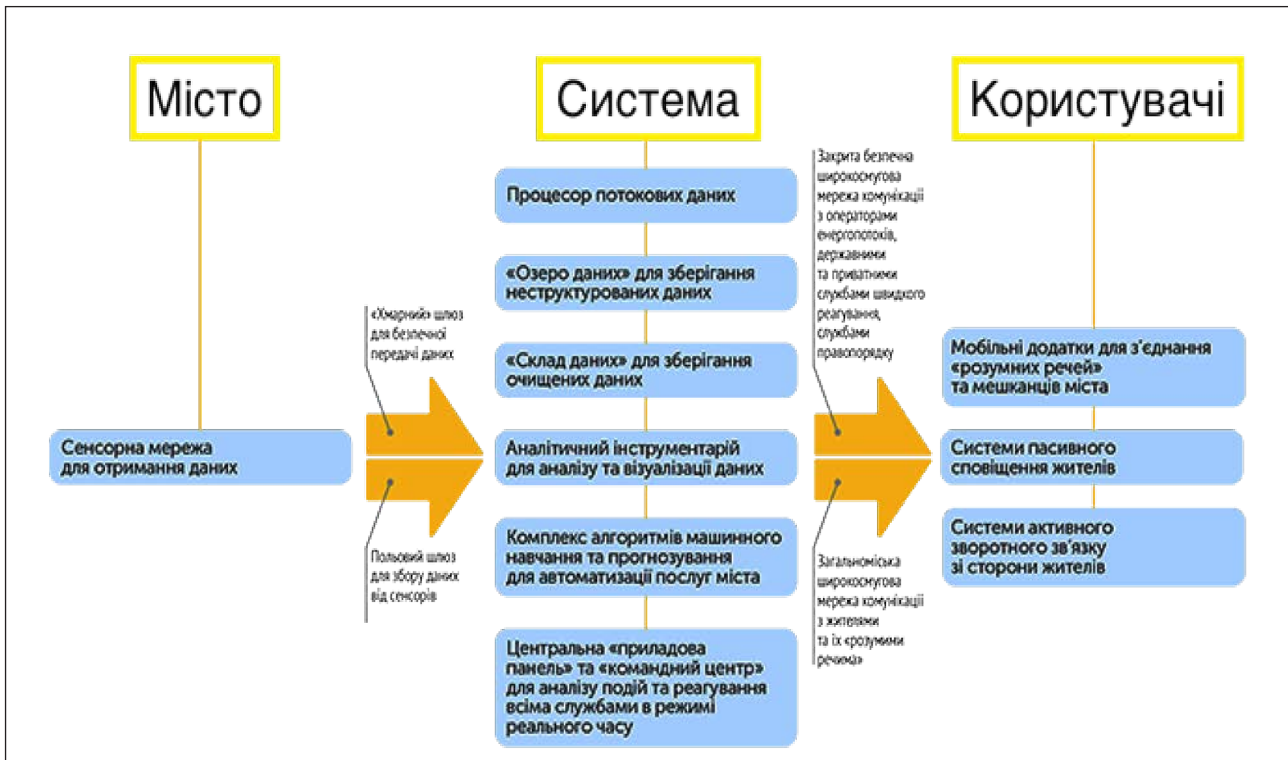


Рис. 1. Архітектура системи розумного міста

Детальніше розглянемо компоненти системи. Місто.

Для того аби місто ефективно реагувало на будь-які події, надзвичайні ситуації та задовольняло запити мешканців, системі потрібно надати достатню кількість джерел даних. Для цього планується використовувати датчики, сенсори та інші «розумні» пристрої, які через безпечні канали зв'язку будуть надсилати дані для подальшої обробки. Для розв'язання цього завдання вирішено застосувати технології Інтернету речей (IoT), зокрема:

- технології ідентифікації «розумних» пристроїв: RFID мікросхеми, засоби автоматичної ідентифікації (оптичні ідентифікатори: Data Matrix, QR-коди), засоби визначення місцезнаходження в режимі реального часу (GPS);
- сенсори для відстеження змін середовища: датчики температури, освітленості, тиску; лічильники електроенергії, витрат води; камери.
- вбудовані комп'ютери (наприклад, моделі Raspberry Pi, Intel Edison).
- технології бездротових мереж (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN).

Система.

Процесор потокових даних. Інформація з датчиків надходитиме в сервіс-брокер повідомлень, який являє собою розподілену платформу потокової обробки даних. Цей модуль складається з

категорій повідомлень, на які можна підписатись підсистемам, що займаються власне створенням корисної послуги. Для цієї мети планується використання Apache Kafka – платформи, яка підтримує горизонтальне масштабування і механізм publish-subscribe.

Зберігання неструктурованих даних. «Озеро неструктурованих даних» являє собою noSQL базу даних, яка оптимізована для вставки великої кількості записів і здійснення операцій агрегації. Такі системи добре масштабуються горизонтально та можуть розгортатись на кластері машин. Запити, які охоплюють великі масиви даних, виконуються швидко та є ефективними.

Аналіз і візуалізація даних. Для того, аби отримати комплексний погляд на стан процесів міста, планується розробити сервіс, який надасть можливість проводити аналіз даних та їх візуалізацію. В режимі реального часу адміністратори платформи зможуть отримати стан процесів міста.

Система прогнозування та отримання інсайтів. Завдяки використанню алгоритмів машинного навчання (керованого з тренуванням на множині визначених тестових даних і некерованого) і систем нейронних мереж платформа зможе краще задовольняти потреби користувачів.

Обробка подій. Різні модулі системи можуть генерувати об'єкти-події, які будуть обробляться

у режимі реального часу. Це важливо під час реагування на надзвичайні, аномальні ситуації, які можуть виникнути (наприклад, аварія на дорозі, погіршення стану повітря, аварія в системі водопостачання чи електромережі).

Модуль для інтеграції сторонніх «розумних» рішень. Визначає публічний API системи; дає змогу стороннім програмним застосункам використовувати дані платформи для вирішення проблем міста.

Користувачі.

Мешканці міста зможуть взаємодіяти із системою завдяки використанню програмних застосунків (вебсервісів, мобільних додатків), які надаватимуть різноманітні сервіси: пошук вільного місця для паркування автомобіля, прокладання найкоротшого маршруту в місті, перевірка стану повітря, отримання сповіщень тощо.

Хмарна інфраструктура. Для розгортання численних сервісів платформи планується використовувати послуги хмарних провайдерів, які працюють за моделлю «платформа-як-сервіс» (PaaS – platform-as-a-service). Такі провайдери надають засоби оркестрації сервісів, балансування навантаження, моніторингу стану ресурсів, які використовуються, а також горизонтального масштабування під час зростання трафіку запитів користувачів. Вони вирішують питання підтримки фізичної інфраструктури (серверних машин), операційних систем і версій програмного забезпечення. Використання хмарних про-

вайдерів для розгортання компонентів платформи спростить впровадження системи в містах і дасть змогу заощадити кошти.

**Висновки.** Проаналізувавши дослідження в напрямі розвитку систем «розумного» міста було вирішено спроектувати та розробити холістичну платформу, яка здатна працювати з різними джерелами даних та інтегрувати їх для кращого вирішення проблем сучасних міст. У роботі показано, як використання передових інформаційних технологій, зокрема машинного навчання та Інтернету речей, робить можливим розроблення такої системи. Завдяки використанню методів машинного навчання можна автоматизувати більшість процесів сучасних міст і покращити якість послуг, які надаються населенню. Імплементация концепцій Інтернету речей дасть змогу отримати цінні дані щодо стану процесів і подій, які відбуваються в місті.

Головними перспективними напрямками вдосконалення системи є інтеграція з державними службами, правоохоронними органами. Розроблення нейронних мереж, їх конфігурація та оптимізація – це ітераційний процес, який вимагає декількох етапів. Нарешті, покращення інструментів моніторингу також важливий аспект, який потребує уваги. Крім того, потрібно розробити стратегію впровадження системи в містах, адже для запуску роботи платформи місто має підготувати відповідну фізичну інфраструктуру: встановити різноманітні датчики, сенсори, оновити систему вуличного освітлення тощо.

#### Список літератури:

1. Головкин В. Нейронные сети: обучения, организация и применение. Москва : ИПРЖР, 2008.
2. Імас О., Бугар А. Теорія рішень «розумного» міста та можливості її реалізації на базі єдиної муніципальної платформи. 2019. URL: <https://hub.kyivstar.ua/ua/teoriya-resheniy-umnogo-goroda-i-vozmozhnosti-ee-realizatsii-na-baze-edinoj-munitsipalnoy-platfomyi>.
3. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. Изд-во : Вильямс, 2002, 287 с.
4. Крислов В. Представление исходных данных в задачах нейросетевого программирования. Одесса : ОНПУ, 2003.
5. From transport to street lighting: The emergence of smart city platforms. URL: <https://www.euractiv.com/section/digital/opinion/tue-from-transport-to-street-lighting-the-emergence-of-smart-city-platforms>.
6. Greengard S. The Internet of Things. MIT Press, 2015, 230 p.
7. Harrison C., Eckman B., Hamilton R. Foundations for Smarter Cities. *IBM Journal of Research and Development*. 2010. Vol. 54. P. 1–16.
8. Kapoor A. Hands-On Artificial Intelligence for IoT: Expert machine learning and deep learning techniques for developing smarter IoT systems. Packt Publishing, 2019. 390 p.
9. Kranz M. Building the Internet of Things: Implement New Business Models, Disrupt Competitors, Transform Your Industry. Wiley, 1 edition, 2016. 272 p.
10. Slama D., Puhmann F., Morrish J., Bhatnagar R.M. Enterprise IoT: Strategies and Best Practices for Connected Products and Services. O'Reilly Media; 1 edition, 2015. 492 p.
11. Smart City Platforms: The Intelligent Core of Smart Cities. Beecham Research, 2015. URL: <http://beechamresearch.com/download.aspx?id=44>.
12. Stackowiak R. Big Data and The Internet of Things: Enterprise Information Architecture for A New Age. Apress; 1st ed. edition, 2015. 220 p.

13. Washburn D., Sindhu U., Balaouras S. Helping CIOs Understand “Smart City” Initiatives: Defining the Smart City, Its Drivers, and the Role of the CIO. Cambridge, MA, Forrester Research Inc., 2010.

14. Woods E. Smart City Platforms: IoT, Digital Solutions, and Data Technologies Enabling the City as a Service. Navigant Research, 2018. URL: <https://www.navigantresearch.com/reports/smart-city-platforms>.

### **Rospopa P.P. SMART CITY SYSTEM BASED ON NEURAL NETWORKS**

*In today's world cities are key economic, administrative, and geographical centers of society. The increasing pace of urbanization and the evolution of industry, science and management methods leading the need to find qualitatively new solutions, new foundations of interaction between city and its population. Cities need to learn how to provide new services and meet the growing needs of residents making their lives more comfortable, safer and easier. In other words, transform and turn from a form of “impersonal territory for survival and satisfaction of basic needs of inhabitants” to a form of “living creature” for which people are subjects of urban life with whom interactive communication is carried out. It is planned to use advanced communication and information processing technologies to accomplish these tasks.*

*The publication reveals the essence of a holistic smart city system which combines different data sources, allows to get a comprehensive view of the city processes and apply a systematic approach to city problem solving. The prerequisites for the need for such a system along with available solutions that partially meet the needs of modern cities in the world are described. The publication contains information about foundational technologies needed to implement the system including the use of neural networks to process data flows and generate useful insights, the Internet of Things (IoT) to collect data using sensors and controllers installed in different parts of the city, noSQL databases which are optimized for insertion of large number of records and performing aggregation operations, cloud infrastructure that provides deployment capabilities for server applications, real-time data analytics and metrics collection tools, reliable network.*

*System design, selected development principles and methodologies are also covered in given research. The architecture of the project must meet a number of non-functional requirements: the system must be able to scale well with a sharp increase in user traffic, be easily deployable in a cloud environment, recoverable and resilient to component malfunctions.*

**Key words:** *Smart City, neural network, machine learning, Internet of Things, big data analytics, service platform.*

**Терейковська Л.О.**

Київський національний університет будівництва і архітектури

**МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПАРАМЕТРІВ КЛАВІАТУРНОГО ПОЧЕРКУ**

Статтю присвячено проблемі створення засобів прихованого моніторингу особи та емоційного стану користувачів інформаційних систем. Визначено перспективність засобів моніторингу на основі аналізу клавіатурного почерку, побудованих із використанням згорткових нейронних мереж. Також показана недостатня адаптація наявних нейромережових засобів до значних умов поставленого завдання аналізу клавіатурного почерку. Запропоновано виправити вказаний недолік за рахунок розроблення методу визначення найбільш ефективного виду згорткової нейронної мережі. У результаті проведених досліджень обґрунтована можливість розгляду завдання розроблення зазначеного методу як багатокритеріальної оптимізації нейромережових засобів захисту інформації. Розроблено метод визначення найбільш ефективного виду згорткової нейронної мережі, призначеної для аналізу клавіатурного почерку. Етапи методу співвідносяться з визначенням вагових коефіцієнтів критеріїв ефективності, розрахунком значення функції ефективності для кожного допустимого виду нейромережової моделі, визначенням виду моделі з максимальним значенням функції ефективності та верифікацією отриманих результатів. За допомогою запропонованого методу визначено, що в умовах обмеженого доступу до баз даних параметрів клавіатурного почерку, наявності доступного і апробованого інструментарію для реалізації нейромережових засобів, прийнятної ресурсоемності програмно-апаратної реалізації, прийнятних термінів навчання і розпізнавання, а також достатньої точності розпізнавання найбільш ефективним видом згорткової нейронної мережі є SqueezeNet. У результаті комп'ютерних експериментів розраховано, що точність розпізнавання особи за допомогою SqueezeNet приблизно на 10-11% перевищує точність розпізнавання за допомогою інших видів згорткових нейронних мереж, що підтверджує ефективність розробленого методу. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень з адаптацією параметрів SqueezeNet до умов завдання аналізу клавіатурного почерку.

**Ключові слова:** клавіатурний почерк, ідентифікація особи, розпізнавання емоцій, згорткова нейронна мережа, засоби розпізнавання.

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах одним із найбільш актуальних завдань в області розроблення інформаційних систем як загального, так і спеціального призначення є створення високоефективних засобів прихованого моніторингу особистості та емоційного стану користувача [1; 4]. Такі засоби необхідні, наприклад, у системах дистанційного навчання для оптимізації подачі навчального матеріалу та ідентифікації слухачів під час тестування або в банківських інформаційних системах для попередження шахрайських дій під час отримання позик (фрод-скоринг). При цьому до основних переваг засобів моніторингу на основі аналізу клавіатурного почерку (КП) відносять: складність підроблення, невідчужуваність від особи користувача, можливість реєстрації параметрів із використанням тільки стандартного периферійного обладнання, а також широке застосування в інформаційних системах паролних і технологічних даних у вигляді набору символів [8; 9]. Хоча розробленню таких систем присвячено досить велику кількість нау-

ково-практичних робіт, проте дані [2; 6] свідчать про необхідність подальшого підвищення їх ефективності, що і зумовлює актуальність досліджень у даному напрямку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під поняттям КП зазвичай розуміють індивідуальну біометричну поведінкову характеристику особи, що визначає особливості набору тексту із клавіатури [2; 3]. Основними часовими параметрами КП є термін утримання клавіші (ТУК), термін між послідовним натисканням двох клавіш (ТМК) та відношення цих параметрів (ВТ). Крім того, можуть розраховуватись значення динаміки ТУК та ТМК. Розрахунок цих параметрів реалізується за допомогою виразів:

$$\tau_r(i) = t_u(i) - t_d(i), \quad (1)$$

$$\tau_b(i, i-1) = t_u(i) - t_d(i-1), \quad (2)$$

$$q_{br}(i, i-1) = \frac{\tau_b(i, i-1)}{\tau_r(i)}, \quad (3)$$



$$v_r(i, i-1) = \frac{\tau_r(i) - \tau_r(i-1)}{\tau_r(i)}, \quad (4)$$

$$v_b(i, i-1) = \frac{\tau_b(i) - \tau_b(i-1)}{\tau_b(i)}, \quad (5)$$

де  $\tau_r$  – ТУК;  $t_d, t_u$  – час натиснення та відпускання клавіші;  $\tau_b$  – ТМК;  $i$  – номер натиснення клавіші;  $q_{br}$  – ВТ;  $v_r, v_b$  – динаміка ТУК та ТМК.

У [1; 9] визначена доцільність аналізу параметрів КП за допомогою нейронних мереж, яка пояснюється доведеною ефективністю таких моделей для оперативного аналізу великого обсягу багатовимірних даних, що є характерною особливістю означеної задачі. Також результати [6; 8; 9] свідчать про перспективність застосування згорткових нейронних мереж (ЗНМ) для розпізнавання емоційного стану особи за КП. Так, у [8] розроблена ЗНМ типу LeNet, призначена для розпізнавання емоційного стану особи за КП. Крім того, в [3; 8] розроблені процедури представлення параметрів КП у вигляді квадратного кольорового або чорнобілого зображення, що нівелює труднощі, пов'язані з кодуванням вказаних параметрів. Хоча результати наведених досліджень і свідчать про ефективність розроблених ЗНМ, однак у цих же дослідженнях обґрунтована необхідність вдосконалення архітектури ЗНМ для підвищення точності розпізнавання та адаптації до значущих умов поставленої задачі аналізу КП. Разом із тим результати [1–3; 6; 8] вказують на відсутність методу розроблення архітектури ЗНМ, призначеної для аналізу параметрів клавіатурного почерку, що зумовлює необхідність проведення складних та ресурсоемних досліджень, спрямованих на визначення параметрів вказаної архітектури. При цьому першим етапом розроблення нейромережевої архітектури є визначення виду НММ, який є найбільш ефективним в умовах поставленої задачі.

**Постановка завдання.** Основною метою публікації є розроблення методу визначення виду згорткової нейронної мережі, що призначена для ідентифікації та розпізнавання емоційного стану особи на базі аналізу клавіатурного почерку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відповідно до поширеної методології побудови нейромережевих засобів захисту інформації [4; 5; 10] аналітичну модель методу визначення найбільш ефективного виду ЗНМ можливо записати у вигляді таких виразів:

$$\max_{V_i} = \{ V_1, V_2, \dots, V_I \}, \quad (6)$$

$$V_i = \sum_{k=1}^K \alpha_k R_k(n_i), \quad n_i \in N_d, \quad i=1, \dots, I. \quad (7)$$

де  $I$  – кількість допустимих видів ЗНМ;  $V_i$  – функція ефективності  $i$ -ої ЗНМ;  $\alpha_k = [0..1]$  – ваговий коефіцієнт  $k$ -го критерію ефективності;  $n_i$  –  $i$ -ий вид ЗНМ;  $N_d$  – множина допустимих видів ЗНМ;  $K$  – кількість критеріїв ефективності;  $R_k(n_i)$  – значення  $k$ -го критерію для  $i$ -го виду ЗНМ.

При цьому методологія передбачає, що адаптація процесу побудови нейромережевих засобів полягає у визначенні множини допустимих видів ЗНМ та у формуванні множини значимих критеріїв ефективності.

Відправною точкою вибору допустимих видів ЗНМ послужили результати досліджень в області теорії нейронних мереж [5; 7]. На підставі вказаних досліджень сформовано множину допустимих видів ЗНМ:

$$N_d = \{ n_{AN}, n_{Of}, n_{VG}, n_{Ic}, n_{Gn}, n_{MN}, n_{RN}, n_{Nn}, n_{EN}, n_{SN} \}, \quad (8)$$

де  $n_{AN}$  – AlexNet,  $n_{Of}$  – Overfeat,  $n_{VG}$  – VGG,  $n_{Ic}$  – Inception,  $n_{Gn}$  – GoogleNet,  $n_{MN}$  – MobileNet,  $n_{RN}$  – ResNet,  $n_{Nn}$  – Network-in-network,  $n_{EN}$  – ENet і  $n_{SN}$  – SqueezeNet.

Також визначено, що критерії ефективності повинні відображати пристосованість виду ЗНМ до умов поставленої задачі. Базуючись на практичному досвіді та результатах [1; 2], визначено, що основні вимоги до ЗНМ, які призначені для аналізу КП, пов'язані з формуванням навчальної вибірки, програмно-апаратною реалізацією мережі, процесом навчання та процесом розпізнавання. Також на підставі сформованих вимог до ЗНМ і [4; 10] визначено, що найбільш важливими критеріями ефективності виду ЗНМ є:  $R_1$  – наявність доступних баз даних параметрів КП,  $R_2$  – наявність доступного і апробованого інструментарію для реалізації ЗНМ,  $R_3$  – прийнятна ресурсоемність програмно-апаратної реалізації,  $R_4$  – прийнятний час навчання мережі,  $R_5$  – прийнятний час розпізнавання,  $R_6$  – достатня точність розпізнавання. Значення представлених в табл. 1 критеріїв ефективності для кожного допустимого виду ЗНМ визначені експертним шляхом.

Визначення множин допустимих видів ЗНМ та критеріїв ефективності дозволило запропонувати метод визначення найбільш ефективного виду ЗНМ, що складається з таких етапів:

1. Визначення вагових коефіцієнтів критеріїв ефективності. Для цього слід проаналізувати особливості умов поставленої задачі розпізнавання.

2. За допомогою виразу (7) розрахувати значення функції ефективності для кожного допустимого виду ЗНМ.

Таблиця 1

**Критерії ефективності для різних видів згорткових нейронних мереж**

Вид ЗНМ	Критерії ефективності					
	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$
$n_{AN}$	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7
$n_{Of}$	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,6
$n_{VG}$	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7
$n_{Ic}$	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7
$n_{Gn}$	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7
$n_{MN}$	0,5	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8
$n_{RN}$	0,5	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7
$n_{Nn}$	0,5	0,7	0,8	0,7	0,9	0,7
$n_{EN}$	0,7	0,9	0,9	0,8	0,7	0,8
$n_{SN}$	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8

Таблиця 2

**Значення функції ефективності для різних видів ЗНМ**

$n_{AN}$	$n_{Of}$	$n_{VG}$	$n_{Ic}$	$n_{Gn}$	$n_{MN}$	$n_{RN}$	$n_{Nn}$	$n_{EN}$	$n_{SN}$
0,6	0,59	0,6	0,6	0,6	0,73	0,69	0,69	0,8	0,82

3. Визначити найбільш ефективний вид ЗНМ. Для цього слід за допомогою виразу (6) розрахувати той вид ЗНМ, для якого значення функції ефективності є максимальним.

4. Провести верифікацію отриманих результатів.

Для перевірки доцільності використання запропонованого методу проведені експериментальні дослідження, спрямовані на визначення особи та емоційного стану користувача на основі аналізу параметрів КП. Прийняті такі умови використання ЗНМ: кількість осіб, що мають бути розпізнані, – 10; мають бути розпізнані 3 емоції (нейтральність, радість, страх); КП аналізується для текстів довжиною 12 символів; підлягають аналізу параметри ТУК, ТМК та динаміка ТУК. Найбільш суттєві обмеження поставленої задачі розпізнавання пов'язані з доступом до представницьких баз даних навчальних прикладів та обсягом обчислювальних ресурсів.

Відповідно до етапу 1 експертним шляхом визначені вагові коефіцієнти критеріїв ефективності:  $\alpha_1 = \alpha_3 = 0,3$ ;  $\alpha_2 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0,1$ , а розраховані відповідно етапу 2 значення функції ефективності наведені в табл. 2.

Відповідно до етапу 3 визначено, що найбільш ефективним видом ЗНМ є SqueezeNet, для якого значення функції ефективності є максимальним.

Відповідно етапу 4 проведені експериментальні дослідження, спрямовані на підтвердження ефективності SqueezeNet. ЗНМ була реалізована за допомогою пакету прикладних програм MATLAB 2018. Структура мережі, візуалізована за допомогою вбудованої у програмний комплекс MATLAB R2018 функції plot, показана на рис. 1. За аналогією з [3; 6] для навчання SqueezeNet використана база даних відфільтрованих зразків КП, що відповідають трьом вказаним емоціям для 10 осіб. У результаті проведених експериментів визначено, що в середньому точність розпізнавання особи за допомогою SqueezeNet становить приблизно 92,8%, а точність розпізнавання емоцій становить приблизно 79,5%, що приблизно на 10-11% більше, ніж точність розпізнавання за допомогою

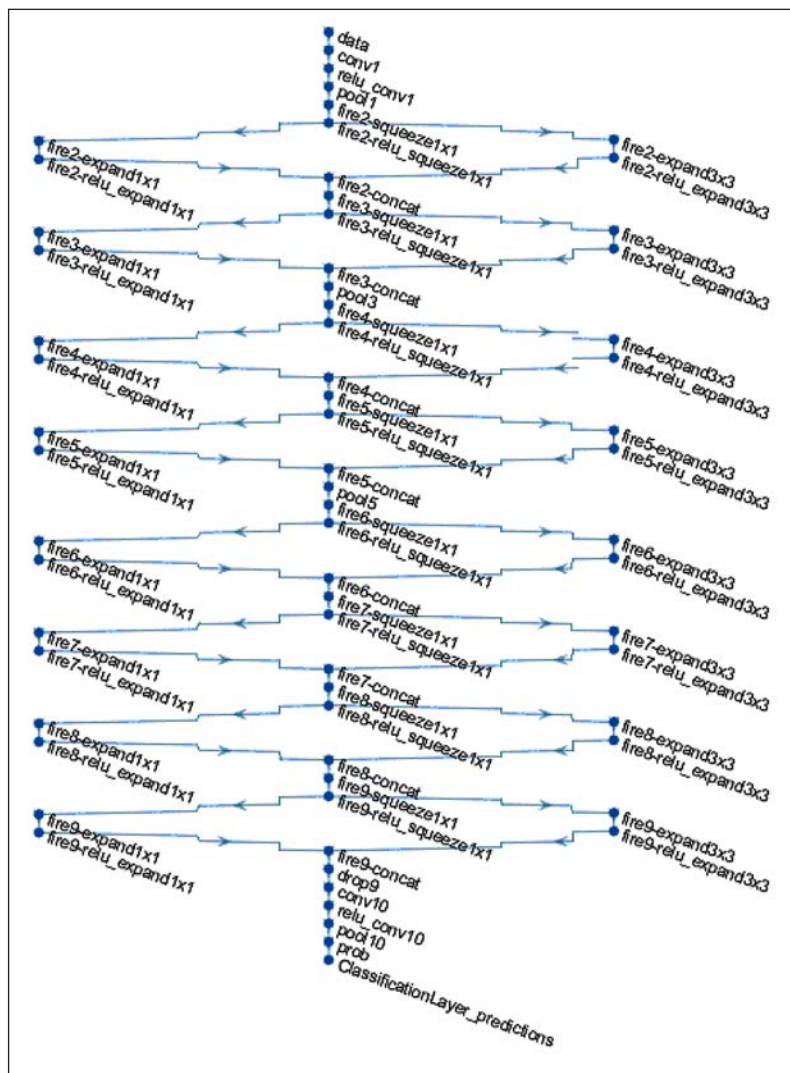


Рис. 1 Структура згорткової нейронної мережі SqueezeNet

ЗНМ виду LeNet [3, 6], що і підтверджує ефективність запропонованого методу. Зазначимо, що підвищити точність розпізнавання емоцій можна за рахунок збільшення обсягу навчальної вибірки та за рахунок адаптації параметрів SqueezeNet до поставленої задачі розпізнавання, що окреслює перспективи подальших досліджень в напрямку застосування ЗНМ для аналізу КП.

**Висновки.** Розроблено метод визначення виду згорткової нейронної мережі, що за рахунок застосування запропонованих критеріїв ефективності дозволяє обрати вид мережі, найбільш ефективний

в умовах задачі ідентифікації та розпізнавання емоційного стану особи на базі аналізу клавіатурного почерку. За допомогою запропонованого методу розроблена нейромережева модель SqueezeNet, точність якої приблизно на 10-11% вища, ніж точність інших видів згорткових нейронних мереж, що можуть бути використані за обмежених обчислювальних ресурсах та у випадку обмеженого доступу до навчальних баз даних. Показано доцільність співвіднесення подальших досліджень з адаптацію параметрів SqueezeNet до умов задачі аналізу клавіатурного почерку.

### Список літератури:

1. Кошева Н.А., Мазниченко Н.И. Подход к повышению надежности идентификации пользователей компьютерных систем по динамике написания паролей. *Системы обработки информации*. 2014. Вып. 6(122). С. 140–146.
2. 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.
3. Терейковська Л.О. Нейромережева модель розпізнавання емоційного стану операторів автоматизованих робочих місць за клавіатурним почерком. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського, серія «Технічні науки»*. 2019. Т. 30(69). Ч. 1. № 4. С. 129–133.
4. Терейковский И.А., Терейковская Л.А., Корченко А.О., Ахметов Б.Б. Нейросетевое распознавание рукописных символов в системе биометрической аутентификации. *Інформаційні технології в економіці та природокористуванні*. 2017. № 2. С. 29–44.
5. Akhmetov B., Tereykovsky I., Doszhanova A., Tereykovskaya L., Adranova, A. Determination of input parameters of the neural network model, intended for phoneme recognition of a voice signal in the systems of distance learning. *International Journal of Electronics and Telecommunications*. 2018. Volume 64. P. 425–432.
6. 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.
7. Iandola F.N., Han S., W. Moskewicz M.W. SqueezeNet: AlexNet level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size. *arXiv:1602.07360v4*. 2016. 13:81. URL : <https://arxiv.org/pdf/1602.07360.pdf>.
8. Liu. M., Guan. J. User keystroke authentication based on convolutional neural network. *Communications in Computer and Information Science*. 2019. Volume 971. P. 157–168.
9. Preeti Khanna, M.Sasikumar. Recognising Emotions from Keyboard Stroke Pattern. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*. 2010. Volume 11. No.9. P. 1–5.
10. Tereykovska L., Tereykovskiy I., Aytkhozhaeva E., Tynymbayev S., Imanbayev A. Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems. *News of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. 2017. Volume 6. No. 426. P. 217–224.

### **Tereikovska L.A. METHOD FOR DETERMINING THE TYPE OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS FOR ANALYSIS OF THE KEYBOARD HANDWRITING**

*The article is devoted to the problem of creating means for covert monitoring of the personality and emotional state of users of information systems. The prospects of monitoring tools based on the analysis of keyboard handwriting constructed using convolutional neural networks are determined. Inadequate adaptation of existing neural network tools to significant conditions of the task of analyzing keyboard handwriting is also shown. It is proposed to correct this drawback by developing a method for determining the most efficient type of convolutional neural network. As a result of the research, the possibility of considering the task of developing this method as a multi-criteria optimization of neural network information protection tools is substantiated. A method for determining the most effective type of convolutional neural network designed for the analysis of keyboard handwriting has been developed. The stages of the method are related to determining the weighting coefficients of the performance criteria, calculating the value of the efficiency function for each admissible type of neural network model, determining the type of model with the maximum value of the efficiency function,*

*and verifying the results obtained. Using the proposed method, it was determined that in conditions of limited access to the databases of keyboard handwriting parameters, the availability of available and tested tools for implementing neural network tools, acceptable resource consumption of hardware and software implementation, acceptable training and recognition periods, and sufficient recognition accuracy with the most effective type of convolution The neural network is SqueezeNet. As a result of computer experiments, it was calculated that the accuracy of personality recognition using SqueezeNet is approximately 10-11% higher than the accuracy of recognition using other types of convolutional neural networks, which confirms the effectiveness of the developed method. It is proposed to correlate the paths of further research with the adaptation of SqueezeNet parameters to the conditions of the task of analyzing keyboard writing.*

**Key words:** *keyboard handwriting, personality identification, emotion recognition, convolutional neural network, recognition tools.*



**Циба Т.Є.**

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

**Шевченко В.В.**

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

## ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ В АВТОМАТИЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Основний напрям, за яким зараз просувається виробництво в усьому світі, це автоматизація. Все, що раніше виконувалося самою людиною, її функції, не тільки фізичні, але й інтелектуальні, поступово переходять до техніки, яка сама виконує технологічні цикли і здійснює контроль за ними. Роль людини в багатьох галузях уже зводиться лише до контролю за автоматичним виробництвом.*

*Загалом під поняттям «управління технологічним процесом» розуміють сукупність операцій, необхідних для пуску, зупинки процесу, а також підтримки або зміни в потрібному напрямку фізичних величин. Технологічні процеси окремі машини, агрегати, апарати, пристрої, комплекси машин і апаратів, якими необхідно управляти, в автоматизації називають об'єктами управління або керованими об'єктами. Керовані об'єкти дуже різні за своїм призначенням.*

*Автоматизація технологічного процесу – це сукупність методів і засобів, призначена для реалізації системи або систем, що дозволяють здійснювати управління технологічним процесом без участі людини, або залишають за людиною право прийняття найбільш відповідальних рішень. Зазвичай у результаті автоматизації технологічного процесу створюється система управління технологічними процесами.*

*Часткова автоматизація має місце, коли в автоматичному режимі здійснюється одна операція або окремих цикл виробництва. При цьому допускається обмежена участь в ньому людини. Найчастіше часткова автоматизація має місце, коли процес протікає дуже швидко для того, щоб сама людина могла брати в ньому повноцінну участь, при цьому досить примітивні механічні пристрої, що зводяться в рух за допомогою електричного обладнання, на відміну від них, справляються.*

*Автоматизація зазвичай застосовується на вже діючому обладнанні, є доповненням до нього. Однак найбільшу ефективність воно показує, коли включено в загальну систему автоматизації з самого початку, тобто розробляється, виготовляється і встановлюється як її складова частина.*

*У цій роботі розглядається система автоматичної розмірної настройки ріжучого інструменту та підвищення точності обробки деталей в автоматичному виробництві.*

**Ключові слова:** автоматизація, автоматичне налаштування, датчик дотику, розмірне налаштування.

**Вступ.** У ході автоматичного виробництва в приладобудуванні основним параметром є точність обробки поверхні деталі, для досягнення якої встановлюються оптимальні налаштування обробки деталей. Зараз еталоном якості в цій галузі є використання верстатів з ЧПУ. Будь-який процес механообробки на верстатах супроводжується рядом похибок, що приводять до неточності виготовлення деталей.

**Постановка задачі.** Вивчивши процес обробки, можна зробити висновок, що втрати величини переміщення через наявність зазорів у ходових елементах верстата, а також втрати базових точок зміни холостих ходів супорта на робочі викликають випадкову похибку до 10 мкм за один

цикл обробки. Наявність таких значних похибок погіршує точність обробки деталей, що в разі обробки деталей підвищеної точності є просто неприпустимим.

Тому метою цієї роботи є розробка системи автоматичної корекції і налагодження верстатів з ЧПК, яка б змогла забезпечити високу точність обробки деталей, скоротити час проведення операції налагодження, зменшити кількість бракованих деталей.

### Пристрій та принцип роботи

На підставі досліджень встановлено, що дія раніше перерахованих причин похибок має незалежний характер і за величиною впливу приблизно рівна, за винятком похибки від

зношування інструментів. Більшість з факторів мають випадковий характер, і викликані ними похибки мають підсумуватися як випадкові величини. Тому сумарну величину похибки виготовлення деталей на верстатах з ЧПК можна оцінити приблизно по формулі:

$$\delta_{\Sigma} = (\overline{\delta_0} + \overline{\delta_{вим}} + \overline{\delta_{\rho}}) + \sqrt{K_1^2 \delta_{cm}^2 + K_2^2 \delta_{noz}^2 + K_3^2 \delta_{n.o}^2 + K_4^2 \delta_{\rho}^2}, \quad (1.1)$$

де  $\delta_i$  – полігон розподілу похибок або їх можливі максимальні відхилення зумовлені дослідженнями; перша сума похибок у дужках – сума систематичних похибок, що мають певний вектор напрямку; сума під коренем являє собою сумарний випадковий складник похибки;  $K_1, K_2$  і т.д. – коефіцієнти обліку закону розподілу похибок.

Зважаючи на те, що ГВС в основному застосовуються в дрібносерійному й серійному виробництві, де під час виникнення випадкових похибок проявляються асиметричні закони їхнього розподілу, коефіцієнти  $K_1, K_2, \dots, K_n$  можна приймати рівними 1,25. Тоді:

$$\delta_{\Sigma} = (\overline{\delta_0} + \overline{\delta_{вим}} + \overline{\delta_{\rho}}) + K \sqrt{\delta_{cm}^2 + \delta_{noz}^2 + \delta_{n.o}^2 + \delta_{\rho}^2} \quad (1.2)$$

Зіставляючи вираження похибок будь-якого циклу роботи ГВС і сумарної похибки (1.2) [9], можна уточнити похибку обробки на  $i$ -му циклі.

Похибка налагодження:

$$\overline{\delta_0} = \overline{\delta_{вим}} + \overline{\delta_{n.o}}. \quad (1.3)$$

Похибка від зношування інструмента  $\overline{\delta_{вим}} = m_i + a_i$ , де  $m$  – число відпрацьованих циклів даним інструментом.

Похибка установки інструмента в робоче положення для різання:

$$\overline{\delta_i} = (\overline{\delta_{cm_i}} + \overline{\delta_{noz_i}} + \overline{\delta_{\rho_i}}) \quad (1.4)$$

Похибка самого процесу різання:

$$\overline{\varepsilon_i} = \overline{\delta_{n.o_i}} + \overline{\delta_{\rho_i}}. \quad (1.5)$$

На підставі отриманих висновків можна одержати вираження для визначення поточної похибки обробки на  $i$ -му циклі:

$$\delta l_i = (\overline{\delta_{вим}} + \overline{\delta_{n.o}}) + m_i a_i + (\overline{\delta_{cm}} + \overline{\delta_{noz}} + \overline{\delta_{\rho}})_i + \overline{\delta_{n.o_i}} + \overline{\delta_{\rho_i}}. \quad (1.6)$$

Оскільки величина  $\delta l$  по всій довжині деталі різна, за характеристику точності береться її максимальне значення. Точність процесу обробки звичайно оцінюється відносною похибкою:

$$\delta_{від} = \delta l / l_0. \quad (1.7)$$

Якщо як приклад утворення такої похибки обробки розглянути процес точіння деталі на ГВС, то похибка отриманого діаметра деталі характеризується відхиленням дійсного радіуса  $R_d$  від номінального  $R_0$ , яке, відповідно, буде:

$$\delta R = R_0 - R_d. \quad (1.8)$$

У той же час дійсне значення розміру  $R_d$  є не постійним в різних місцях деталі й може бути виражене так:

$$R_d = \rho_{cp} + \delta\rho(z) + \delta\rho(\psi), \quad (1.9)$$

де  $\rho_{cp}$  – середній радіус-вектор дійсного розміру, характеристика середнього значення профілю деталі як результат рівня установки інструмента під час цього циклу проходить спочатку обробку розглянутої поверхні;  $\delta\rho(z)$  і  $\delta\rho(\psi)$  – векторні збільшення дійсного радіуса-вектора по довжині деталі (уздовж осі  $Z$ ) і по куту її повороту у поперечному перерізі.

Зміна розміру  $R_d$  по ходу обробки проявляється у вигляді різних геометричних відхилень формованої поверхні від ідеальної циліндричної: хвилястість, гранність, овальність, конусність, бочкоподібність й інші похибки форми (ДЕРЖСТАНДАРТ 24642-81).

Різниця номінального і середнього дійсного розмірів

$$R_0 - \rho_{cp} = \delta_R \quad (1.10)$$

являє собою детермінований постійний складник похибки обробки цієї поверхні, а величина  $\delta_R$  – її змінні складники.

Відповідно до сталого поняття отриманий після обробки профіль поверхні деталі є результатом сумарного впливу на нього як попередньо встановлених під час настроювання устаткування певних організаційно-керуючих параметрів процесу обробки, обраних по величині з умови одержання найвищої його точності, так і такі, що завжди мають місце і обурюють шкідливі фактори, що погіршують точність обробки. Вплив таких факторів під час проведення процесу обробки має різний характер. Частина з них робить систематичний вплив, що обурює, на процес формування профілю деталі й викликає детерміновану складову похибку, а інші мають змінний або стохастический характер [3].

Виходячи із цих передумов і враховуючи, що вплив змінних факторів викликає різні гармонійні коливальні переміщення вершини інстру-

мента в пружній технологічній обробній системі, отриману й утворену з погрішностями поверхні деталі можна представити у вигляді гармонійного ряду Фур'є. Вираження утворюючої циліндричної поверхні деталі уздовж її осі Z при гострінні, або траєкторія переміщення вершини різця щодо деталі буде мати вигляд:

$$X(z) = X_{cp} + \sum_1^n \delta X_k \cos(k\varphi + \varphi_k), (k = 1, 2, \dots, n), \quad (1.11)$$

де  $X(z)$  – поточна координата профілю деталі або вершини інструмента під час роботи уздовж осі Z – Z ;  $X_{cp}$  – середня лінія профілю як рівень настроювання інструмента на даному циклі;  $\delta X_k$  – різні гармонійні зміни координати від різних, що обурюють, n гармонік, які сумовуються у порядку убування ступеня впливу або зростання порядкового номера гармоніки k ;  $\varphi_k$  – початкові фазові зрушення гармонік.

Описати прямолінійну утворюючої поверхні обробленої деталі або траєкторію переміщення вершини обробного інструмента щодо деталі по координаті X уздовж її осі Z – Z можна за допомогою ряду Тейлора. Розкладаючи рівняння прямої лінії в ряд Тейлора, у першому наближенні одержуємо:

$$X(z) = X_0 + z \tan \alpha + \delta X_0 + \delta z \tan \alpha + \frac{z \delta \alpha}{\cos^2 \alpha}, \quad (1.12)$$

де  $(X_0 + Z \tan \alpha)$  – нульовий член ряду, що відображає номінальне значення одержуваного розміру на початку деталі, і його подальша зміна уздовж її осі Z, якщо  $\alpha \neq 0$ . При  $\alpha > 0$  можна одержати конусну поверхню й т.д.;  $\delta X_0$  – систематична похибка процесу як зсув рівня настроювання, або похибка позиціонування вершини інструмента в початкових умовах даного циклу;  $\delta Z \tan \alpha$  відхилення профілю як змінний, монотонно мінливий складник похибки, що викликає неузгодженість необхідної лінії профілю з дійсною його траєкторією при  $\alpha \neq 0$ ;  $z \delta \alpha / \cos^2 \alpha$  періодична похибка як різні відхилення профілю по куту  $\alpha$ , що приводять до утворення випадкових похибки і похибки форми: хвилястість, гранність і так далі.

Якщо в даній операції виробляється одночасно й обробка торця (попереднє його підрізування для створення вихідної вимірювальної бази, що звичайно робиться під час роботи на верстатах ГВС), то у рівняння можна включити додаток  $X \delta \alpha / \sin^2 \alpha$  як член ряду, що враховує биття даного торця за наявності перекосу осі деталі в момент її закріплення у верстаті.

Наведені вираження (1.11) і (1.12) хоча й дають можливість одержувати математичну модель тра-

єкторії переміщення вершини інструмента, але не розкривають структури виробничої похибки, що утворюється. Розглянемо утворення такої похибки по стадіях роботи ГВС в умовах виробництва.

Загальну похибку обробки  $\delta L$  якого-небудь розміру на ГВС як відхилення від номіналу  $L_0$  виходить на i-м циклі, можна представити у вигляді:

$$\delta l_i = \delta l_0 + \delta i, \quad (1.13)$$

де  $\delta L_0$  – детермінований постійний складник похибки, зумовлений загальним зсувом вихідного настроєчного розміру  $L_n$  на дану обробку щодо номіналу  $L_0$  під час попереднього настроювання верстата на операцію

$$\delta l_n = l_0 - l_n, \quad (1.14)$$

розглянуту тут як вихідний рівень відхилення початку процесу механообробки партії деталей, зумовленого характеристиками процедури настроювання ГВС на виробництві.

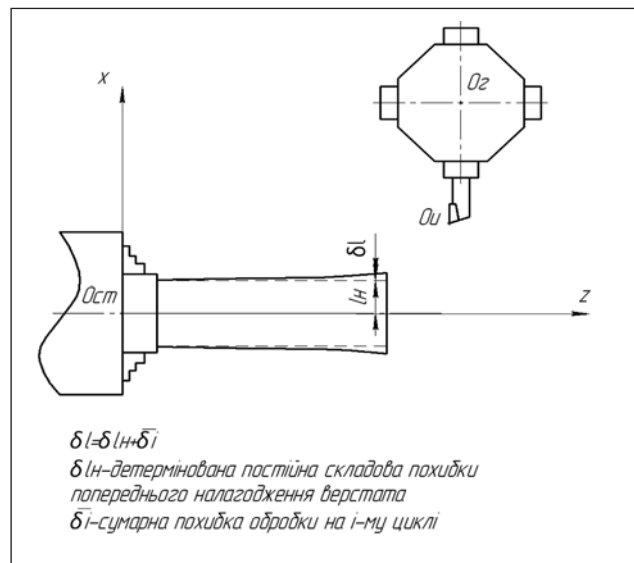


Рис. 1. Похибка виготовлення деталі точінням на ГВС

У цьому випадку це методичний структурний складник загальної похибки, що зумовлена методикою настроювання верстатів, і похибкою настроювання їх на розмір;  $\delta i$  – загальна похибка обробки i-го циклу як сумарна поточна змінна похибка даного процесу (рис. 1) [2].

За багаторазового відтворення процесу обробки розглянутої поверхні деталей на ГВС завжди виникає змінна похибки  $\lambda_i$  установки робочої вершини інструмента на вихідну позицію перед початком кожного циклу як зсув рівня настроювання  $L_{ni}$  з первісного:  $L_n$  :

$$\bar{\lambda} = L_n - L_{ni} \quad (1.15)$$

У процесі проведення самої механообробки завжди виникає похибка обробки – змінний складник  $\varepsilon_i$ , характерний для даного циклу як випадковий складник процесу. Причинами появи цього складника є пружні деформації технологічної системи через періодичну зміну сил різання, вібраційні явища, що супроводжують цей процес, тощо. Тоді поточна похибка  $i$ -го циклу [3]

$$\bar{\Delta}_i = \bar{\lambda}_i + \bar{\varepsilon}_i \quad (1.16)$$

Якщо проаналізувати похибку  $\bar{\lambda}_i$ , то можна зробити висновок, що зсув рівня установки вершини обробного інструмента від первісного рівня настроювання відбувається за рядом причин. Так, під час механообробки завжди існує знос інструмента, величина якого може порівняно швидко досягти значення допуску на деталь, оброблювану на даній операції, при збереженні інструментом своєї працездатності. Таке розмірне зношування інструмента має пряму залежність від числа проведених циклів обробки й може залежно від параметрів процесу бути охарактеризоване певним систематичним збільшенням – трендом  $\bar{\alpha}_i$  як характеристикою зношування інструмента за один цикл.

Одночасно під час механічної обробки в зоні різання виникають різні теплові процеси через інтенсивне тертя інструмента й деталі, а також у місцях тертя рухливих елементів верстата, теплові потоки викликають температурні деформації системи, міняючи взаємне розташування елементів обробної системи, і вносить тим самим додаткові похибки.

Установка різального інструменту в певну позицію – стартову точку на початку кожного циклу – супроводжується завжди зсувами через неточність спрацьовувань системи переміщень робочих органів верстата, їхніх пружних деформацій у крапках стику й наявності зазорів.

Ці причини викликають змінну похибку установки інструмента у робоче положення  $\delta_i$ , що має нелінійну за часом залежність. Тоді загальна сумарна похибка обробки буде мати структуру на кожному циклі:

$$\delta l_i = \Delta_0 + \bar{\alpha}_i + \bar{\delta}_i + \bar{\varepsilon}_i, (1 < i \leq n), \quad (1.17)$$

де  $\bar{\lambda}_i = \bar{\alpha}_i + \bar{\delta}_i$  – погрішність настроювання обробної системи на  $i$ -м циклі роботи.

Як видно з отриманих рівнянь, величина похибки може бути істотною, що вимагає вжи-

вання певних заходів з підвищення точності процесу обробки на ГВС, розробки і впровадження методів керування якістю процесу.

Існує кілька методів такого керування якістю, які можна віднести до трьох напрямів:

1. Попереднє цілеспрямоване варіювання параметрами процесу механообробки під час проектування технологічного процесу. До таких заходів можна віднести підбір відповідних режимів обробки; певної схеми обробки; відповідної схеми закріплення заготовки на верстаті; найбільш підходящої послідовності переходів і проходів; більше жорстких баз тощо.

Але цей метод пасивного керування якістю малоефективний, оскільки ґрунтується на малодостовірних, апріорних даних без обліку реальних умов обробки.

2. Керування якістю за рахунок періодичного введення в процес обробки коригувального керуючого впливу – вектора, що компенсує похибку під час допомоги керуючої програми ЧПК.

Знаючи структуру технологічної похибки (1.6) і встановивши деякі величини її складників для різних варіантів роботи ГВС, можна розробити відповідну модель зміни такої похибки по ходу процесу обробки партії деталей і створити алгоритм введення у КП певного вектора компенсації для підвищення вихідної точності. Такий метод зараз широко застосовується на ряді виробництв. Він ефективніше попереднього пасивного методу, ставиться до активних методів, але точність спрацьовування не завжди висока і надійність забезпечення точності не гарантована, оскільки такий метод не враховує реальної ситуації процесу різання, маючого часто різкі і досить значні відхилення від середньостатистичних норм.

3. Активне керування якістю за рахунок розробки і впровадження автоматичних систем керування характеристиками механообробки. За своїми можливостями вони підрозділяються на наступні види:

а) системи керування точністю обробки;

б) системи торкання, що визначають момент початку обробки під час торкання інструмента і деталі;

в) системи автоматичного розмірного настроювання різального інструменту на верстаті;

г) системи визначення попереднього стану процесу обробки, що страхують ГВС від великих поломок;

д) системи автоматичної діагностики процесу механообробки визначальний ступінь працездатності й надійності процесу;



е) адаптивні системи самонастроювання і саморегулювання, що працюють за оптимальним алгоритмом точності й надійності процесу механообробки, включаючи і його постійну діагностику [3].

**Висновки.** Як показує практика, перші системи більш прості, але їхні можливості обме-

жені. Останні системи більш універсальні, мають більші можливості, але засоби їхньої реалізації вимагають глибокого пророблення інформативності параметрів процесу, їхнього дешифрування й розробки на цій основі складних алгоритмів керування за допомогою процесорної техніки.

#### Список літератури:

1. Остаф'єв В. А., Тимчик Г. С., Шевченко В. В. Адаптивна система управління. *Механізація і автоматизація управління*. Київ, №1, 1983. с. 18–20.
2. Шевченко В. В. Контроль стану ріжучого інструменту з допомоги електричних сигналів. *Збірник наукових праць V науково-технічної конференції Приладобудування: можливості та перспективи*. (Київ, 25–26 квітня 2006 р.). Київ, 2006. С. 112–113.
3. Шевченко В. В. Система контролю процесу обробки деталей в умовах «безлюдній технології» / В. В. Шевченко, І. В. Капінос, Д. О. Грабовський. *Прогресивні технології і прилади*. Луцк. 2011. С. 142–143.

#### Tsiba T.E., Shevchenko V.V. INCREASING THE ACCURACY OF PARTS WORKING IN AUTOMATIC MANUFACTURING

*The main direction in which production is being promoted worldwide is automation. Everything that was previously performed by the man himself, his functions, not only physical but also intellectual, are gradually moving to technology, which itself performs technological cycles and exercises control over them. The role of man in many industries is now limited to the control of automatic production. In the general case, the term “process control” refers to the set of operations required to start, stop the process, as well as maintain or change in the desired direction of physical quantities.*

*Processes separate machines, units, apparatus, devices, complexes of machines and apparatus that need to be managed, in automation are called control objects or managed objects. Managed objects are very different in purpose. Process automation is a set of methods and tools designed to implement a system or systems that allow you to manage the process without human involvement, or leave the person the right to make the most responsible decisions. As a rule, as a result of process automation, a process control system is created. Partial automation occurs when one operation or a separate production cycle is performed in automatic mode. However, a limited participation of a person is allowed.*

*Often, partial automation takes place when the process is very fast in order for the person himself to be able to participate fully in it, with rather primitive mechanical devices being propelled by electrical equipment, unlike them coping. Automation, as a rule, applies to existing equipment, is an addition to it. However, it is most effective when it is included in the overall automation system first – immediately developed, manufactured and installed as part of it. This paper discusses the system of automatic dimensional adjustment of the cutting tool and improving the precision of machining of parts in automatic production.*

**Key words:** Automation, auto tuning, touch sensor, dimensional tuning.

**Шайдурова К.А.**

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ГАРАНТОВАНИЙ ПОРЯДОК ДОСТАВКИ ПОВІДОМЛЕНЬ У ХМАРНИХ СИСТЕМАХ

*Однією з найважливіших абстракцій для хмарних розподілених систем є консенсус – узгодженість між усіма вузлами щодо певного питання. Досягнення консенсусу є провідним для гарантування порядку доставки повідомлень під час асинхронної обробки. Під час досягнення консенсусу додатки можуть використовувати його для різних цілей – процесу реплікації, гарантії відмовостійкості вузлів, а також захисту від втрати даних. Щоб забезпечити роботу хмарних розподілених систем потрібно допустити можливість часткових відмов і вбудувати в програмне забезпечення механізми забезпечення відмовостійкості наряду зі збереженням порядку доставки. Будь-які відмови або затримки у роботі вузлів можуть призвести до втрати повідомлень та, відповідно, до порушення порядку їх отримання та обробки.*

*Гарнтований порядок доставки є важливим для випадків, коли швидкість обробки повідомлень є менш критичною, ніж обробка даних в тому порядку, в якому вони надходили від споживача, наприклад, в банківських операціях, аукціонах. У цій статті проведено аналіз наявних алгоритмів консенсусу та вимог, що ставляться до них. Також розкрито роботу брокера повідомлень, що гарантує порядок доставки повідомлень з використанням алгоритму консенсусу Raft. У статті викладено опис механізму вибору лідера серед вузлів видавців та споживачів для забезпечення реплікації записів та можливості продовжити роботу через перевибори в разі, якщо поточний лідер перестав надсилати періодичне серцебиття. Також у статті наведено механізм зміни складу кластера, який передбачає використання проміжної конфігурації, яка має бути записана кворумом вузлів перед тим, як буде зроблено запис нової конфігурації, що запобігає обранню двох лідерів, які функціонують одночасно. Описана запобіжна перевірка, що не дає можливості відключеним вузлам постійно ініціювати нові вибори, тим самим сповільнюючи роботу системи.*

**Ключові слова:** консенсус, загальний порядок передачі, відмовостійкість, брокер повідомлень, реплікація, Raft.

**Постановка проблеми.** Гарантування порядку доставки повідомлень у хмарних системах стикається з проблемою неможливості досягнення консенсусу в асинхронних розподілених системах. Якщо можливий збій хоча б одного процесу в системі, проблема досягнення консенсусу не має детерміністичного рішення. Для практичного застосування дотримання всіх вимог консенсусу зазвичай не є критичним або може бути компенсоване додатковими запобіжними механізмами системи. Тому для забезпечення гарантування порядку повідомлень в брокерах повідомлень можна застосувати алгоритми з менш жорсткими вимогами до консенсусу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У галузі розподілених обчислень є «Проблема загального порядку передачі». Загальний порядок передачі передбачає, що повідомлення повинні бути доставлені всім учасникам у будь-якому порядку, доки він однаковий для всіх. Доставка повідомлень FIFO в розподіленій системі – це

власне окремий випадок проблеми із додатковим обмеженням, накладеним на передачу повідомлень [7].

Проблема загального порядку передачі еквівалентна проблемі досягнення розподіленого консенсусу. Проблема консенсусу визначається таким чином: кожен процес пропонує початкове значення для інших, і, незважаючи на збої, всі функціонуючі процеси повинні узгодити спільне значення, яке повинно бути одним із запропонованих. Ця проблема не має детерміністичного рішення в асинхронних розподілених системах, в яких можливий збій хоча б одного процесу – так званий результат неможливості Фішера-Лінча-Патерсона (FLP) [2]. По суті, неможливість досягнення консенсусу та загального порядку передачі впливає із притаманних асинхронним системам труднощів визначити, чи дійсно процес вийшов з ладу чи є лише дуже повільним.

Результати FLP дослідження свідчать про те, що на практиці цю проблему можна вирішити,

лише уточнюючи вимоги до досягнення консенсусу. Рішення конкретних практичних задач зазвичай потребує вдосконалення моделей розподілених обчислень, які відобразили б реалістичні припущення щодо часу відгуку процесора та часу зв'язку, а також формулювання менш жорстких вимог щодо вирішення проблем досягнення консенсусу та загального порядку передачі [3].

Наприклад, вимога щодо обов'язковості прийняття рішення може виконуватися не у ста відсотках випадків. Один із способів обійти цю перешкоду – використовувати паузи (тайм-аути). Якщо не прийнято рішення про спільне значення в системі, можна взяти тайм-аут і після його закінчення почати процес досягнення консенсусу спочатку. Цей принцип використовують такі алгоритми, як Paxos і Raft. Інший підхід – зняти вимогу того, що консенсус має бути детермінованим. Цей підхід використовується в алгоритмі Бен-Ора [5].

**Постановка завдання.** Розробити алгоритм роботи брокера повідомлень, який гарантує порядок доставки повідомлень, що включає в себе також гарантії відмовостійкості та захист від втрати даних.

**Виклад основного матеріалу.** Алгоритми консенсусу використовуються в брокерах повідомлень для обрання лідера або узгодження значення реплікаційного фактору, що має безпосередній вплив на гарантування порядку доставлення повідомлень.

Визначимо систему, яка охоплює видавця / -ів, а також одержувача / -ів повідомлень. В простому випадку одного видавця та одного одержувача система виглядала б так: один видавець передає повідомлення до черги повідомлень, на яку підписаний один одержувач. Визначення порядку повідомлень ускладнюється зі збільшенням кількості видавців або одержувачів. У ситуації, коли кілька одержувачів підписані на певну чергу повідомлень (або тему), навіть якщо повідомлення отримуються з теми в правильному порядку, немає гарантій, що цей порядок буде збережений, коли повідомлення будуть оброблятися одержувачами. Якщо порядок обробки важливий, то одержувачам потрібно буде координуватись через деяку систему зберігання ACID.

Аналогічно, кілька видавців, що відправляють повідомлення на одну і ту ж тему, унеможливають збереження порядку повідомлень.

Як визначити порядок повідомлень, що опубліковані від різних видавців? Або самі видавці повинні скоординуватися, або сама служба доставки повідомлень повинна приєднувати

порядок замовлення до кожного вхідного повідомлення. Кожне повідомлення повинно містити інформацію, що визначає його місце в загальному порядку повідомлень. Це може бути або часовою позначкою (яку отримують усі сервери з одного джерела, щоб уникнути проблем розсинхронізації часу), або порядковим номером (отриманий з одного джерела з гарантіями ACID). Проте порядок отримання відповіді від вузла, який вираховує час, може не співпадати з порядком відправлення до нього запитів, а координація незалежних годинників на вузлах системи стикається з проблемою «дрейфу годин» – явища, за якого годинник відраховує час з трохи різною швидкістю [4].

Тому для вирішення проблеми гарантованої доставки повідомлень в системі «видавець / споживач» пропонується використовувати одного видавця, що надсилає повідомлення через один сервер (в одну тему) до одного одержувача. Асинхронна обробка зберігається в рамках поділу теми на підрозділи, де повідомлення групуються за певним критерієм та обробляються паралельно по групах. Порядок повідомлень зберігається в рамках підрозділу. Для створення реплік та гарантій збереження даних за відмови видавця, одержувача або вузла, де формується черга повідомлень, пропонується використати алгоритм консенсусу Raft для визначення лідера-видавника та лідера-споживача.

Raft – алгоритм, який працює з поправкою на те, що консенсус не завжди може бути досягнуто у фіксований час. Важливою особливістю, що відрізняє Raft, є використання загального (колективного) тайм-ауту для отримання результату (прийняття рішення). У Raft, якщо стався збій і перезавантаження, необхідний період очікування як мінімум в один раунд тайм-ауту перед тим, як буде зроблена нова спроба оголосити лідера, і таким чином гарантовано успішне отримання рішення.

Результат застосування Raft еквівалентний результату застосування Paxos[1]. Raft є таким же ефективним, як і Paxos, але його структура відрізняється. Raft відокремлює ключові елементи консенсусу, такі як вибори керівника, реплікацію журналу та забезпечення безперебійності, і забезпечує більш високий ступінь узгодженості для зменшення кількості станів системи, які необхідно враховувати. Raft також включає новий механізм зміни членства в кластері, який використовує перекриття кворумів для гарантування безпеки.

За допомогою Raft всі читання та записи проходять через лідера, завдання якого – здійснити

реплікацію записів на вузли послідовників. Коли клієнт намагається зробити читання / запис з вузла послідовника, йому повідомляється, хто є лідером, і що він має надсилати всі записи до цього вузла. Лідер підтвердить клієнту те, що запис було здійснено, лише після того, як кворум вузлів-послідовників підтвердив, що вони записали дані на сервер. Кворум – це більшість вузлів. Кластер з трьох вузлів має кворум з двох, кластер з п'яти має кворум з трьох. Кожен вузол зберігає всі повідомлення в структурі журналу, де кожне повідомлення має свій індекс. Завдання алгоритму консенсусу – забезпечити, щоб усі вузли мали однакові повідомлення з однаковими індексами у своєму журналі [6].

Raft включає в себе такі основні дії:

- вибори лідера;
- реплікація журналу.

Вибори лідера — це процес узгодження лідера. Raft не допускає одночасно двох функціональних лідерів.

Кожен вузол може бути в одному з трьох станів:

*Послідовник.* У цьому стані вузол не видає запитів, але пасивно чекає надходження запитів від лідера чи кандидатів.

*Кандидат.* Використовується для виборів лідера. Коли послідовник виявить, що зв'язок з лідером втрачено, він переходить у стан кандидата та починає надсилати запити на голосування на всі інші вузли.

*Лідер.* Відповідальний за взаємодію з клієнтами та реплікацію журналу до послідовників.

Коли вузол запускається, він набуває статусу послідовника і чекає серцебиття від лідера. Якщо час очікування вийшов, він набуває статусу кандидата і надсилає запит на голосування всім членам кластеру. Якщо інші вузли також вичерпали час очікування серцебиття лідера, вони можуть одночасно надсилати запити на голосування. Якщо кандидат не отримає більшість голосів, то вузол переходить у стан «Послідовник». Тільки якщо вузол отримає більшість голосів, він стане лідером. Перший вузол, який надсилає свої запити на голосування, зазвичай стає лідером.

Як тільки вузол стає лідером, він посилає періодичне серцебиття всім послідовникам. Якщо лідер виходить з ладу або зупиняється, то коли в послідовників сплине період очікування отримання серцебиття від лідера, вони знову почнуть відправляти запити на голосування, і один з них стане новим лідером.

Ера – монотонний лічильник, який використовується для виявлення застарілих вузлів, які,

можливо, були вимкнені деякий час і мають застарілу інформацію. Кожен раз, коли послідовник стає кандидатом, він збільшує значення своєї ери і включає її у свої запити на голосування. Після обрання лідера ера не змінюється до наступних виборів. Поточна ера включена у всі повідомлення, якими обмінюються вузли, як механізм безпеки.

Для перемоги на виборах є три правила:

1. Більшість вузлів повинні відповісти позитивним голосом.

2. Коли кандидат надсилає запит на голосування, він включає до нього значення терміну, який він вважає поточним, + 1. Приймальний вузол перевіряє, що термін більший за його власний. Це запобігає здобуттю лідерських позицій ушкодженими вузлами (які, можливо, були відключені протягом деякого часу).

3. Кандидат включає в запит на голосування останній індекс свого журналу. Вузол буде відхиляти повідомлення, якщо індекс менший за його власний індекс останнього запису до журналу. Це гарантує, що вузол, який не має останніх записів, не може стати лідером, оскільки це може призвести до втрати даних.

Реплікація журналу виконується лідером, який надсилає своїм послідовникам повідомлення на додання записів. Послідовники вказують лідеру індекс свого останнього запису, і лідер надсилає повідомлення на додання записів, починаючи з указанного індексу. Це означає, що лідер може здійснювати реплікацію записів журналу як до послідовника, який містить майже всі останні записи, так і до послідовника, який щойно приєднався і не має даних взагалі. Повідомлення на додання записів виконує функцію серцебиття і періодично надсилається всім послідовникам, навіть якщо нових даних немає. Таким чином відбувається запис повідомлень від лідера-видавника до журналів всіх послідовників, а після отримання підтвердження від кворуму і до відповідної кількості реплік теми в черзі повідомлень. Аналогічно відбувається зчитування даних споживачами. Лідер-споживач передає послідовникам інформацію про останні опрацьовані повідомлення для того, щоб в разі його зупинки новий лідер мав інформацію про індекс останньої обробленої партії повідомлень та знав, з якого моменту продовжувати зчитування з черги повідомлень.

Однією з вимог до Raft є те, що коректність роботи алгоритму не повинна залежати від часу: система не повинна давати невідповідних результатів лише тому, що якась подія відбувається



швидше або повільніше, ніж очікувалося. Однак доступність (здатність системи своєчасно реагувати на клієнтів) неминуче повинна залежати від часу. Наприклад, якщо обмін повідомленнями триватиме довше, ніж типовий час між аваріями сервера, часу функціонування кандидатів не вистачить для виграшу виборів, а без стійкого лідера Raft не може працювати.

Вибори лідерів – це аспект алгоритму, де дотримання термінів є дуже важливим. Raft зможе обирати та підтримувати стабільного лідера в тому випадку, якщо система буде виконувати наступні вимоги щодо термінів:

### *Час передачі «тайм-аут виборів» MTBF*

У цій нерівності час передачі – середній час, необхідний для того, щоб сервер передавав повідомлення паралельно кожному серверу в кластері та отримав від них відповіді; тайм-аут вибору – час, необхідний для голосування та вибору лідера; MTBF – це середній наробіток між відмовами для одного сервера. Час передачі повинен бути на порядок меншим за тайм-аут виборів, щоб лідери могли надійно надсилати серцебиття та запобігати ініціації повторних виборів; зважаючи на те, що тайм-аут виборів для кожного вузла встановлюється випадково з певного фіксованого інтервалу, ця нерівність робить поділ голосів мало-вірогідним. Тайм-аут виборів має бути на кілька порядків меншим, ніж MTBF, щоб система стабільно працювала.

В ситуації, коли необхідно реорганізувати мережу – змінити конфігурацію, додавши або відокремивши певні вузли, вузли потенційно можуть перейти в режим split-brain. Щоб механізм зміни конфігурації був безпечним, під час переходу не повинно бути жодного моменту, коли можливо обирати двох лідерів з однаковою епохою. Будь-який підхід, коли сервери переходять безпосередньо від старої конфігурації до нової, є небезпечним. Неможливо атомарно перемикнути всі сервери відразу, тому кластер потенційно може розколотися на дві незалежні частини з кворумами під час переходу.

З метою забезпечення безпеки зміна конфігурації повинна відбуватися в дві фази [1].

Спочатку кластер переходить до перехідної конфігурації, яка називається консенсус стику. А після того, як консенсус стику був записаний кворумом, система переходить до нової конфігурації.

Консенсус стику поєднає в собі і стару, і нову конфігурацію:

1) записи журналу реплікуються на всі сервери в обох конфігураціях;

2) будь-який сервер з будь-якої конфігурації може стати лідером;

3) досягнення згоди (для виборів та запису) вимагає окремих кворумів від вузлів зі старої та нової конфігурації. Консенсус стику дозволяє окремим серверам переходити між конфігураціями в різний час, що не загрожує безпеці. Крім того, консенсус стику дозволяє кластеру продовжувати обслуговувати клієнтські запити протягом усієї зміни конфігурації.

Конфігурації кластерів зберігаються та передаються за допомогою спеціальних записів у журналі.

Коли лідер отримує повідомлення про зміну конфігурації, він зберігає та передає послідовникам конфігурацію консенсусу стику –  $C<old,new>$ . Сервер завжди використовує найновішу конфігурацію у своєму журналі, щоб приймати рішення, навіть якщо запис кворумом послідовників ще не здійснено. Коли консенсус стику записано кворумом, лідерами можуть стати лише сервери з  $C<old,new>$  у своїх журналах.

Тепер для лідера безпечно створити запис у журналі, що описує  $C<new>$ , і передати його послідовникам. Знову ж таки, ця конфігурація набуде чинності на кожному сервері, як тільки вона з'явиться. Коли нова конфігурація була записана кворумом послідовників за правилами  $C<new>$ , стара конфігурація вже не має значення, і сервери, які за новою конфігурацією мають бути відключені, можуть бути відключені.

Проте постає проблема видалених серверів (ті, які не входять до  $C<new>$ ), які можуть порушити роботу кластеру. Ці сервери не отримуватимуть серцебиття лідера, тому після закінчення часу очікування вони почнуть надсилати запит на вибори з новою епохою, і це призведе до того, що поточний лідер перейде до стану послідовника. Зрештою, нового лідера буде обрано, але видалені сервери по тайм-ауту знову почнуть розсилати запит на вибори та процес повториться, що призведе до поганої доступності брокера.

Щоб запобігти цій проблемі, сервери ігнорують запит на вибори, поки вони вважають, що лідер функціонує. Зокрема, якщо сервер отримує запит на вибори в межах мінімального часу очікування виборчих слухань після отримання серцебиття від поточного лідера, він не оновлює свою епоху і не надає свій голос.

Це не впливає на звичайні вибори, де кожен сервер чекає принаймні мінімальний час очікування виборчих слухань перед початком виборів. Однак це допомагає уникнути збоїв на видалених серверах: якщо лідер може надіслати серцебиття

до кластеру, тоді він не буде переобраний за рахунок запитів на вибори з більшим значенням ери.

**Висновки.** Задача гарантування порядку доставки повідомлень в хмарних системах напряму пов'язана з розв'язанням проблеми досягнення консенсусу та загального порядку передачі в розподілених системах. На практиці ця проблема вирішується через пом'якшення вимог до досягнення консенсусу. Є два підходи: допус-

кається або отримання недетермінованого консенсусу, або недосягнення консенсусу у певних випадках. Для гарантування порядку доставки для брокерів повідомлень пропонується використати схему «один видавець, що надсилає повідомлення через один сервер (до однієї теми) до одного одержувача», поєднану з алгоритмом консенсусу Raft, який використовує тайм-аути для боротьби з випадками недосягнення консенсусу.

#### Список літератури:

1. In search of an understandable consensus algorithm (extended version) / Diego Ongaro, John K. Ousterhout. *USENIX Annual Thechnical Conference* – 2014.
2. Impossibility of Distributed Consensus with One Faulty Process / Michael Fisher, Nancy Lynch, Michael Paterson. *Journal of the Assccktion for Computing Machinery*. April 1985. Vol. 32, No. 2. pp. 374–382.
3. Клеппман М. Высоконагруженные приложения. Программирование, масштабирование, поддержка. Санкт-Петербург : Питер, 2018. 640 с. : ил. (Серия «Бестселлеры О’Reilly»).
4. Ordering messages : довідкова документація. 2019. URL: <https://cloud.google.com/pubsub/docs/ordering>.
5. Preethi Kasireddy How Does Distributed Consensus Work? : стаття. 2018. URL: <https://medium.com/s/story/lets-take-a-crack-at-understanding-distributed-consensus-dad23d0dc95>.
6. Vanlightly J. Quorum Queues Internals – A Deep Dive [Електронний ресурс]: стаття – 2019. URL: <https://www.cloudamqp.com/blog/2019-04-03-quorum-queues-internals-a-deep-dive.html>.
7. Yovtchev Tsviatko SQS FIFO Queues: Message Ordering and Exactly-Once Processing Guaranteed? : стаття. 2019. URL: <https://www.ably.io/blog/sqs-fifo-queues-message-ordering-and-exactly-once-processing-guaranteed/>.

#### **Shaidurova K.A. GUARANTEED MESSAGE DELIVERY ORDER IN THE CLOUD-BASED SYSTEMS**

*One of the most important abstractions of cloud-shared systems is consensus – consistency between all nodes regarding a particular issue. Consensus is a key factor that is needed to provide order guarantees during message delivery. Consensus is also used for a variety of purposes – in the replication process, for fault-tolerance guarantees, and for data safety. In cloud-based distributed systems you need to take into account the possibility of a node failure and add a build-in mechanism that provides fault-tolerance and order guarantees.*

*The ordering guarantees during message delivery is important in cases where the availability is less crucial than the right ordering, for example, in bank account operations or bidding operations at auctions. This article contains the analysis of different consensus algorithms and their requirements. It also discloses the work of a message broker that guarantees message ordering with a help of Raft consensus algorithm. The article contains the description of leader-election mechanism among nodes of publishers and consumers in the clusters to ensure a correct replication and fault-tolerance with a help of reelection process in case of a leader node failure. In addition, the article shows a process of cluster change that uses a commit of an intermediate configuration before a new configuration is written to the nodes, which stops two leaders from functioning at the same time. In the article the preventative mechanism is described that does not allow new election votes for a small time period after the leader heartbeat has been received, which prevents nodes, that were deleted from the cluster, from constantly starting reelection process.*

**Key words:** consensus, total order transaction, fault tolerance, message broker, replication, Raft.

**Шаповалова М.І.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Водка О.О.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## КОМП'ЮТЕРНІ МЕТОДИ ПОБУДОВИ ПАРАМЕТРИЧНИХ СТАТИСТИЧНО ЕКВІВАЛЕНТНИХ МОДЕЛЕЙ МІКРОСТРУКТУРИ ВИСОКОМІЦНОГО ЧАВУНУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЙОГО ПРУЖНИХ ХАРАКТЕРИСТИК<sup>1</sup>

*Аналіз мікроструктури матеріалу є однією з важливих частин контролю якості виготовленої продукції. Дослідження мікроструктури дає змогу отримати інформацію про стан матеріалу з оцінкою зображення його структури і не потребує додаткового обладнання для проведення випробувань і створення зразка. В роботі проводиться аналіз чавуну з включеннями сфероїдального графіту. Цей матеріал знайшов широке застосування у машинобудуванні. Використання високоміцного чавуну під час виробництва відповідальних вузлів: осей підвіски, шатунів, зубчастих коліс, розподільних валів, елементів гальмування – сприяє зниженню енерговитрат і здешевленню кінцевого продукту.*

*У роботі пропонуються комп'ютерні методи побудови параметричних статистично еквівалентних моделей мікроструктури чавуну з включенням графіту сфероїдальної форми. Аналізуються металографічні зображення матеріалу засобами бібліотеки комп'ютерного бачення OpenCV. Виявляються контури, що охоплюють графітові включення у фериті. Робиться припущення, що графіт має форму кола. Проводиться апроксимація показників дисперсії та математичного очікування радіусів для знаходження залежності розмірів включень від їхньої концентрації. Ця залежність дає змогу реалізувати генерацію статистично еквівалентної штучної мікроструктури чавуну. Для знаходження пружних характеристик матеріалу будується скінченно елементна модель. Для проведення обчислень вважається, що ферит – це ізотропний матеріал, а графіт – має гексагональну структуру кристалічної решітки. Напружений стан розглядається на основі плоских моделей.*

*Проводиться 200 чисельних експериментів для 17-ти значень різноманітних концентрацій включень. Отримані результати для пружних констант статистично усереднені, та встановлюються залежності коефіцієнта Пуассона, модуля пружності та зсуву від концентрації включень. Для оцінки достовірності отримані значення порівнюються з даними, отриманими за допомогою правила суміші. Результати застосування правила підтверджують коректність побудованих моделей. Однак верхня межа довірчого інтервалу перевищує верхню оцінку модуля пружності. Це пояснюється складністю реальних властивостей графіту, та неможливістю врахування орієнтації головних осей кристалів графіту, відповідно до правила суміші. Тому порівняння відбувається лише за середніми значеннями.*

**Ключові слова:** високоміцний чавун, мікроструктура, обробка зображень, метод скінченних елементів, властивості матеріалу.

**Постановка проблеми.** Використання матеріалів із складною внутрішньою будовою (різноманітні метали та сплави, композитні матеріали та ін.), потребують детального вивчення їх внутрішньої будови. Для розуміння поведінки конструкції під час експлуатації, необхідно знати механічні властивості матеріалу та граничні значення напружень, при яких можлива безвідмовна

робота. Оцінюючи внутрішню структуру зразка на мікрорівні, широко використовується метод аналізу зображення мікроструктури. Одним з матеріалів, який знайшов застосування у машинобудуванні є високоміцний чавун. Його використовують у відповідальних вузлах, таких як: зубчасті колеса, коробка передач, важелі підвіски та ін. Основною особливістю такого чавуну є відносно проста мікроструктура. На рис. 1 наведено мікроструктуру високоміцного чавуну, що має феритну основу з включенням зернистого графіту, згрупованого у сферичну форму.

<sup>1</sup> Робота виконана за підтримки МОН України в межах реалізації науково-дослідної роботи «Розроблення методів математичного моделювання поведінки нових і композиційних матеріалів для оцінки ресурсу та прогнозування надійності елементів конструкцій» (№ ДР 0117U004969).

Відомі декілька основних підходів аналізу макроструктури матеріалу. До першої групи [1–6] належать експериментальні чи прямі дослідження. Для них необхідно створити зразок шляхом попередньої обробки та провести експеримент із прикладанням механічного навантаження [4–6], температури [1–2] чи інших зовнішніх факторів. За результатами експериментів аналізуються показники міцності, пружності, пластичності та робиться висновок, який вплив має відповідна мікроструктура на: розвиток тріщини [1], фазовий склад [2], твердість досліджуваного зразка [6].

Другу групу досліджень [7–13] об'єднує застосування технологій комп'ютерного бачення. Розпізнавання образів зображення використовують для: класифікації структури за відповідними ознаками [7; 10]; оцінки кількості дефектів (вироджених графітових вузликів [8]); сегментації складних мікроструктур [11], знаходження розмірів частинок і розподілу їх на площині, а також застосовуються як вхідні дані для тренування нейронних мереж для прогнозування властивостей матеріалу відповідно до зображення його мікроструктури [12–13].

Як ще один напрям аналізу варто відмітити роботи [14–18], що пропонують моделювати досліджувану мікроструктуру засобами методу скінче-

них елементів. Однак геометрія структури часто переноситься у скінченну модель повністю із зображення чи занадто спрощується, що обмежує застосування методу лише відповідною концентрацією та характером розміщення включень.

У роботі пропонується створити методика для досліджень мікроструктури без додаткового проведення натурного експерименту, використати переваги комп'ютерного бачення для розпізнавання мікроструктури. Запропонована методика спирається на генерацію статистично еквівалентної геометрії мікроструктури, не прив'язуючись до конкретного зображення. Включає аналіз напружено деформованого стану та еквівалентних пружних констант методом скінчених елементів.

Постановка завдання. За вихідні дані у роботі беруться зображення мікроструктури високоміцного чавуну із ГОСТ (рис. 2) [19]. Розглянуто п'ять випадків концентрації шаровидного графіту у матеріалі: ШГ2 (2%), ШГ4 (4%), ШГ6 (6%), ШГ10 (10%), ШГ12 (12%), для виявлення залежності параметрів міцності досліджуваного матеріалу від концентрації і розмірів включень графіту.

Робота передбачає моделювання структури високоміцного чавуну синтетичним шляхом, опираючись на дійсні зображення його мікроструктури. Необхідно враховувати можливість випадкового

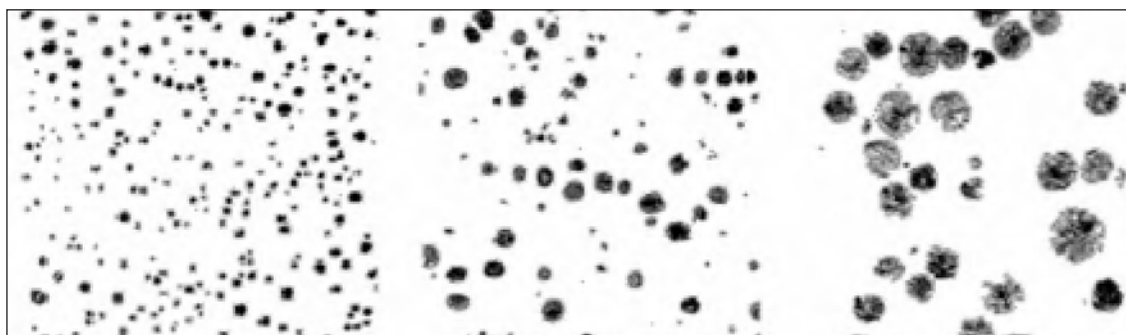


Рис. 1. Види мікроструктури високоміцного чавуну [19]

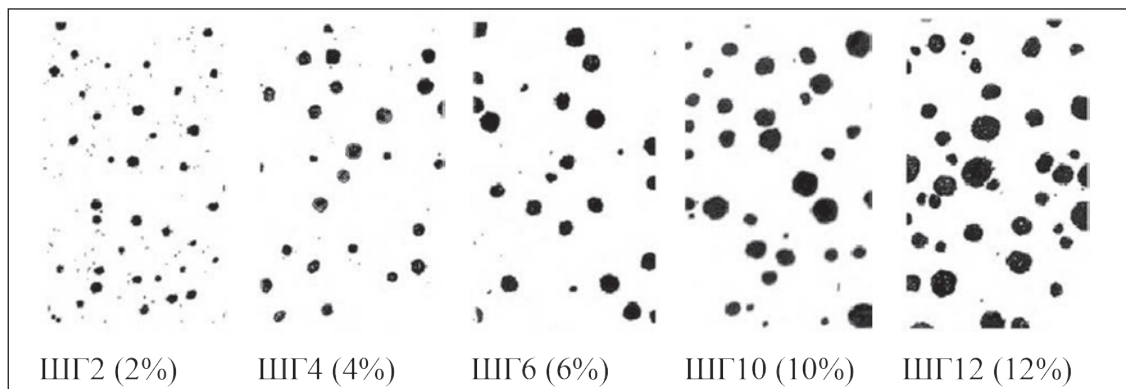


Рис. 2. Мікроструктура високоміцного чавуну [19]



розташування включень на площині, та розглянути можливість варіації їх концентрації в залежності від розмірів графіту. Визначити пружні властивості досліджуваного матеріалу шляхом моделювання скінчено елементної моделі. Отримати характеристики модуля пружності, зсуву та коефіцієнта Пуассона, як функції концентрації включень.

**Обробка зображень.** Обробка зображень мікроструктури реалізується на високорівневій мові програмування Python з використанням бібліотеки комп'ютерного бачення OpenCV. Алгоритм обробки зображень включає поступові кроки. На першому кроці зроблена бінаризація – заміна вхідного три-канального кольорового зображення чорно-білим. Виявлені порогові значення та реалізовано приведення кожного пікселя до відповідного кольору. Далі проводиться операція розмиття (blurring) та морфологічні перетворення ерозії (opening) та дилатації (closing). Набір цих операцій дозволяє позбутись шумів та виконати фільтрацію зображення мікроструктури чавуну, для видалення невеличких темних плям графіту у фериті, та навпаки, закриття світлих отворів у графіті. Результати обробки вхідних зображень наведено на рис. 3.

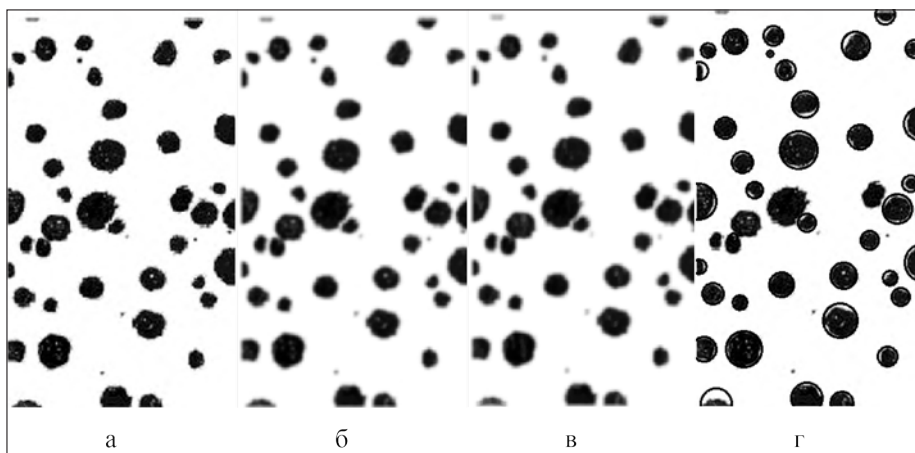
Наступний крок аналізу зображень полягає у виявленні границь переходу від одного типу матеріалу до іншого. Популярним алгоритмом для вирішення цієї проблеми виступає – Canny Edge Detection, багатоступінчатий алгоритм бібліотеки OpenCV [20]. Він поєднує у собі декілька кроків: зменшення шуму, пошук градієнта інтенсивності зображення, немаксимальне придушення (тобто перевірка кожного пікселя зображення на локальний максимум у напрямку градієнта), поріг гісте-

резису (виявляє «впевнені границі» та відкидає не допустимі ребра). У OpenCV зазначений алгоритм реалізовано у функції cv2.Canny(), аргументами якої виступають вхідне зображення, мінімальне та максимальне значення порогу, та розмір ядра Собеля, який використовується для пошуку градієнтів зображення [21].

Під час дослідження мікроструктури високоміцного чавуну робиться припущення, що графітні включення мають форму кола, тому пошук охопленого контуру здійснювався за допомогою функції minEnclosingCircle (коло мінімального розміру, що повністю оточує об'єкт). Для кожної такої ділянки розраховується площа та знаходиться центр мас, який, у свою чергу, приймається за центр знайденого кола. Результат знаходження контуру, що відділяє включення графіту, зображений на рис. 3, г.

Генерація статистично еквівалентної мікроструктури шаровидного чавуну можлива завдяки встановленню залежності розмірів включень від їх концентрації. Для кожного випадку концентрації отримано дані щодо кількості та розмірів включень графіту на площині. Розраховано середнє значення та розкид випадкової величини відносно її математичного очікування.

За наявності даних математичного очікування, дисперсії радіусів включень та про їхню кількість на одиницю площини описується функція залежності розміру включень від концентрації. Використовуючи модуль optimize.curve\_fit бібліотеки SciPy проводиться апроксимація. Через коефіцієнти апроксимації вищезазначені показники функцій концентрації набувають вигляду (1). Графік залежності математичного очікування радіусів  $M[R]$  та їхня дисперсія



**Рис. 3. Обробка зображень мікроструктури чавуну:**  
а – вхідне зображення; б – процедура розмиття;  
в – морфологічні перетворення; г – визначені контури включень

$D[R]$  наведено на рис. 4. Щільність розподілу графіту залежно від розміру радіуса включень та їхньої концентрації на площині зображено на рис. 5.

$$M[R] = 18,308 \cdot (\psi - 0,048)^{0,123};$$

$$\sqrt{D[R]} = 9,683 \cdot (\psi - 0,045)^{0,314} \quad (1)$$

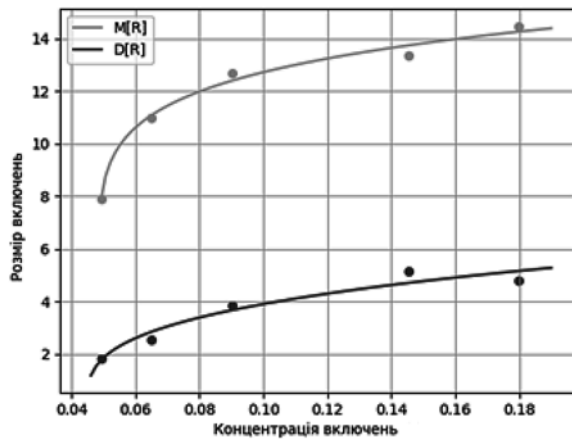


Рис. 4. Залежність розміру включень від їх концентрації

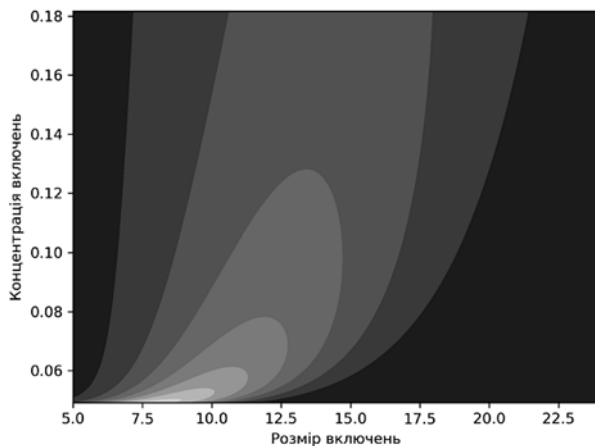


Рис. 5. Щільність розподілу включень графіту

Для підтвердження якості запропонованої апроксимації розраховується коефіцієнт детермінації. Для математичного очікування радіусів включень:  $R^2_M = 0.988$ , для дисперсії –  $R^2_D = 0.943$ , це свідчить про достатньо високу якість запропонованої моделі.

#### Генерація статистично еквівалентної штучної мікроструктури.

Для генерації штучної мікроструктури шаровидного чавуну робиться припущення, що характер включень підкорюється нормальному закону розподілу випадкової величини (2). Засобами бібліотеки NumPy реалізується алгоритм випадкової генерації радіусів включень методом numpy.random.normal. Як параметри функції виступають: математичне очікування та дисперсія радіусів згідно з формулою (1).

$$f(R) = \frac{1}{D[R]\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(R-M[R])^2}{2D[R]^2}}, \quad (2)$$

де  $R$  – радіус включень;  $M[R]$  – математичне очікування розмірів включень;  $D[R]$  – дисперсія радіусів включень графіту.

Запропонована схема формує радіуси включень графіту випадковим шляхом до тих пір, поки їх сумарна площа, поділена на задану площу зображення, менша за бажану концентрацію (3). Кількість таких радіусів  $N$ , визначається згідно з (4), де  $N$  – кількість радіусів  $R$ ;  $\psi$  – бажана концентрація графіту у чавуні;  $S$  – загальна площа досліджуваної мікроструктури;  $M[R]$  – математичне очікування розмірів включень.

$$\sum_N \frac{\pi \cdot R^2}{S} < \psi, \quad (3)$$

$$N = \frac{\psi \cdot S}{\pi \cdot M[R]^2}, \quad (4)$$

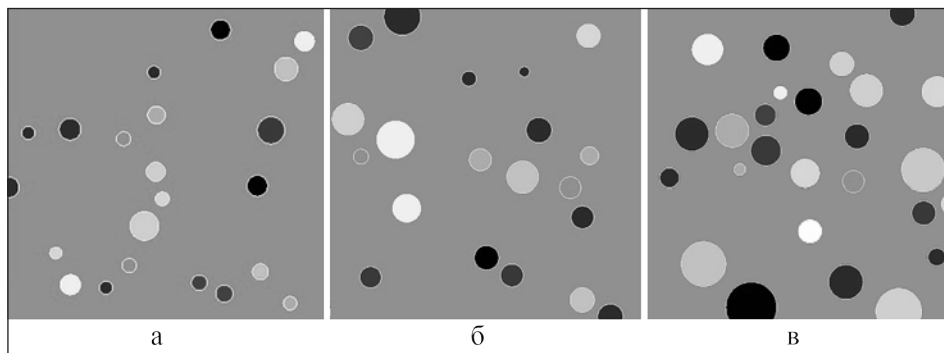


Рис. 6. Штучно змодельована мікроструктура високоміцного чавуну з відповідною концентрацією: а –  $\psi = 0,054$ ; б –  $\psi = 0,1$ ; в –  $\psi = 0,1854$  долі концентрації

Розміщення радіусів на площині модельованої мікроструктури чавуну відбуваються також випадково, та реалізується функцією рівномірного розподілу величини – `numpy.random.uniform`. У ролі параметрів виступають заздалегідь задані розміри зображення. Однак вводяться обмеження, стосовно яких не дозволяється перетин кіл графіту, та заборона дотичності радіусів до контуру мікроструктури. Перше обмеження обумовлене фізикою формування зерен графіту, а друге – технологією подальшого обчислення. Результат штучної генерації мікроструктури шаровидного графіту зображено на рис. 6.

**Скінчено елементна модель.** Побудова скінчено елементної моделі основана на геометрії (рис. 6), отриманої після штучної генерації мікроструктури чавуну. Для побудови скінчено елементної сітки використовується двомірний 8-вузловий скінченний елемент з двома степенями свободи у кожному вузлі. Результат розбиття на сітку скінченних елементів зображено на рис. 7. Для проведення обчислень вважається, що ферит – це ізотропний матеріал, у табл. 1 наведені його механічні властивості, тоді як графіт – має гексагональну структуру кристалічної решітки, відповідні пружні константи наведено у табл. 2.

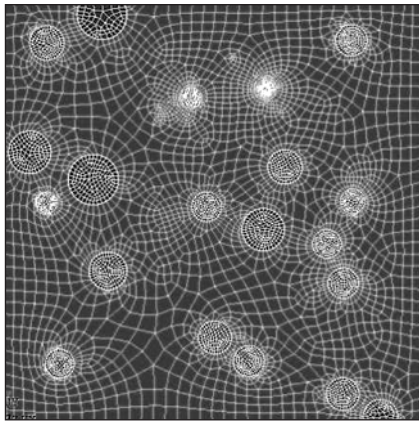


Рис. 7. Скінчено-елементна модель мікроструктури чавуну для випадку концентрації включень 0,1 долі

Таблиця 1

Властивості матеріалу фериту

E, GPa	ν
210	0.3

Таблиця 2

Властивості матеріалу графіту

$E_x, E_z$ , GPa	$E_y$ , GPa	$\nu_{xy}$	$\nu_{yz}$	$\nu_{zx}$	$G_{xy}, G_{xz}$ , GPa	$G_{yz}$ , GPa
1025	36	0.34	0.012	0.16	0.18	4.35

Виходячи на макрорівень, структурні елементи вважаються однорідними анізотропними матеріалами з усередненими пружними характеристиками. Фізичні залежності анізотропного матеріалу у загальному випадку анізотропії мають вигляд (5).

$$\langle \varepsilon_{ij} \rangle = A_{ijkl} \langle \sigma_{kl} \rangle, \quad (i, j, k, l = 1, 2, 3), \quad (5)$$

де  $A_{ijkl}$  – пружні константи еквівалентного однорідного матеріалу;  $\langle \sigma_{ij} \rangle$ ,  $\langle \varepsilon_{ij} \rangle$  – середнє значення деформації та деформація, визначена як інтеграл по об'єму (6).

$$\langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int_V \sigma_{ij} dV; \quad \langle \varepsilon_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int_V \varepsilon_{ij} dV. \quad (6)$$

У більшості випадків структура досліджуваного матеріалу має відповідну симетрію, тому усереднення пружних властивостей дозволяє розглядати такий матеріал, як ортотропний. У випадку, коли у координатних площинах прийнята система координат паралельна площинам симетрії пружних властивостей ортотропного матеріалу, закон Гука можна представити у матричній формі (7) [17].

$$\begin{bmatrix} \langle \varepsilon_x \rangle \\ \langle \varepsilon_y \rangle \\ \langle \varepsilon_z \rangle \\ \langle \gamma_{xy} \rangle \\ \langle \gamma_{yz} \rangle \\ \langle \gamma_{zx} \rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{66} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \langle \sigma_x \rangle \\ \langle \sigma_y \rangle \\ \langle \sigma_z \rangle \\ \langle \sigma_{xy} \rangle \\ \langle \sigma_{yz} \rangle \\ \langle \sigma_{zx} \rangle \end{bmatrix}. \quad (7)$$

У технічних програмах часто використовують такі позначення:

$$\begin{aligned} a_{11} &= \frac{1}{E_x}; \quad a_{22} = \frac{1}{E_y}; \quad a_{33} = \frac{1}{E_z}; \quad a_{12} = -\frac{\nu_{yx}}{E_y} = -\frac{\nu_{xy}}{E_x}; \\ a_{13} &= -\frac{\nu_{zx}}{E_z} = -\frac{\nu_{xz}}{E_x}; \quad a_{23} = -\frac{\nu_{yz}}{E_z} = -\frac{\nu_{zy}}{E_y}; \\ a_{44} &= \frac{1}{G_{xy}}; \quad a_{55} = \frac{1}{G_{yz}}; \quad a_{66} = \frac{1}{G_{zx}}. \end{aligned} \quad (8)$$

де  $E_x, E_y, E_z$  – модуль Юнга;  $\nu_{xy}, \nu_{yz}, \nu_{zx}$  – коефіцієнт Пуасона;  $G_{xy}, G_{yz}, G_{zx}$  – модуль зсуву.

За досліджуваний зразок беруться плоскі штучно змодельовані зображення мікроструктури чавуну, тому правильним буде розраховувати напружений стан на основі плоских моделей. Тому модернізуємо формулу (7) для випадку напруженого стану площини. Тоді закон Гука, записаний через константи (8) прийме вигляд (9):

$$\begin{bmatrix} \langle \varepsilon_{xx} \rangle \\ \langle \varepsilon_{yy} \rangle \\ \langle 2\varepsilon_{xy} \rangle \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_x} & -\frac{\nu_{yx}}{E_y} & 0 \\ -\frac{\nu_{xy}}{E_x} & \frac{1}{E_y} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{xy}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \langle \sigma_{xx} \rangle \\ \langle \sigma_{yy} \rangle \\ \langle \sigma_{xy} \rangle \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Отримано симетричну матрицю, для знаходження всіх констант необхідно виконати чотири числові експерименти. На рис. 8 зображена схема навантаження моделі, результати якої дозволяють створити систему лінійних алгебраїчних рівнянь відносно коефіцієнта Пуассона, модуля пружності та зсуву.

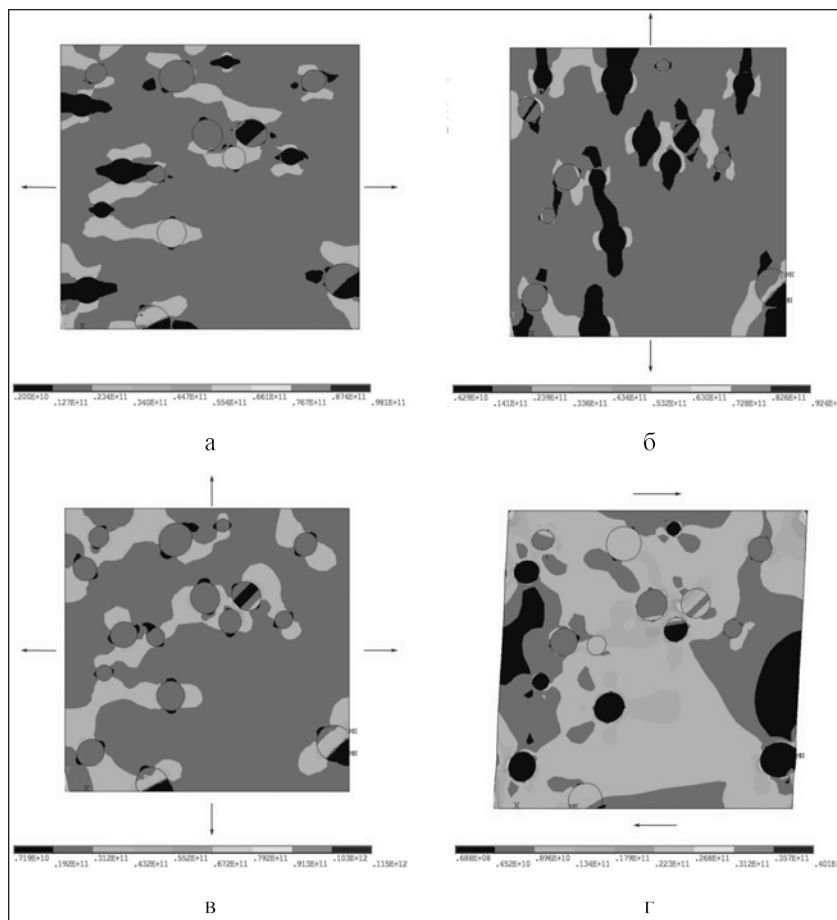
**Результати дослідження мікроструктури чавуну.** На рис. 8 зображені результати напружено деформованого стану мікроструктури високоміцного чавуну із включенням сферичного графіту за чотирма видами навантаження. Вважаючи орієнтацію включень довільною, необхідно проводити серію числових експериментів, для отримання пружних констант.

Не маючи точних даних, відносно напрямленості включень, прийнято рішення застосовувати метод Монте-Карло, для визначення можливих варіантів напруженого стану. У рамках цього методу орієнтація кристалів вважається випадковою. Було проведено 200 чисельних експериментів для 17-ти значень різноманітних концентрацій включень. Отримані результати для пружних констант статистично усереднюються, та встановлюються залежності коефіцієнта Пуассона, модуля пружності та зсуву від концентрації включень (рис. 9). Як довірчий інтервал для розрахункових даних береться залежність (10), що для нормального розподілу випадкової величини відповідає 99,7% вірогідності потрапляння результатів до вказаної ділянки.

$$\alpha = M \pm 3 \cdot \sqrt{D}, \quad (10)$$

де  $M$  та  $D$  – математичне очікування та дисперсія відповідних пружних констант.

Для апроксимації функції результатів залежності характеристик матеріалу генерованої мікро-



**Рис. 8.** Еквівалентні напруження фон Мізеса в мікроструктурі при різних видах навантажень: а – розтягнення вздовж X; б – розтягнення вздовж Y; в – розтягнення вздовж X і Y; г – зсув в площині XY



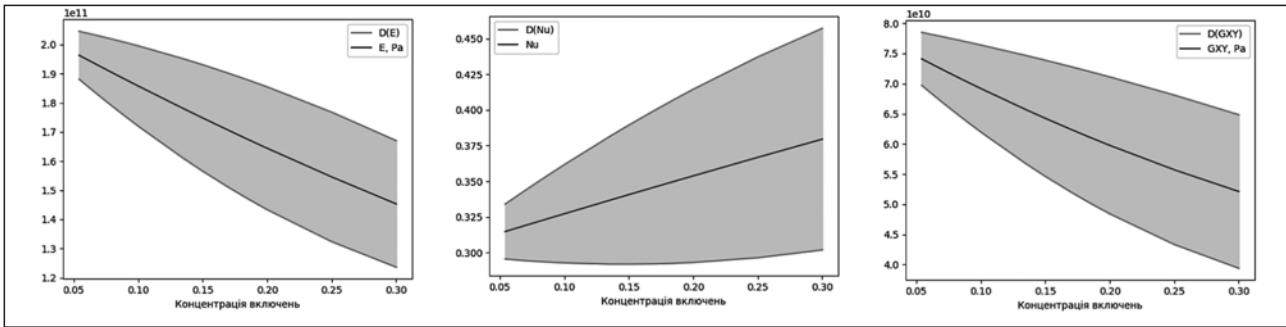


Рис. 9. Залежність пружних характеристик матеріалу від концентрації включень: а – модуль пружності  $E(\psi)$ ; б – коефіцієнт Пуассона  $\nu(\psi)$ ; в – модуль зсуву  $G(\psi)$

Таблиця 3

Поліноміальні коефіцієнти для залежності характеристики матеріалу від концентрації включень

	$P_2$	$P_1$	$P_0$
$M[E(\psi)]$	$1.1377 \cdot 10^{11}$	$-2.4781 \cdot 10^{11}$	$2.0942 \cdot 10^{11}$
$M[\nu(\psi)]$	-0.0429	0.2786	0.2998
$M[G(\psi)]$	$8.8999 \cdot 10^{10}$	$-1.2099 \cdot 10^{11}$	$8.0398 \cdot 10^{10}$
$\sqrt{D[E(\psi)]}$	$-1.1078 \cdot 10^{11}$	$5.7541 \cdot 10^{10}$	$-5.7803 \cdot 10^7$
$\sqrt{D[\nu(\psi)]}$	-0.1555	0.1343	$-4.0715 \cdot 10^{-4}$
$\sqrt{D[G(\psi)]}$	$-4.6023 \cdot 10^{10}$	$2.7608 \cdot 10^{10}$	$1.0091 \cdot 10^8$

структури чавуну від включень графіту (рис. 9), використовується метод Polyfit бібліотеки NumPy. Параметрами функції виступають вектори концентрації  $\psi$  в діапазоні [0.054, 0.3], та відповідної усередненої характеристики матеріалу. Для даної задачі мінімізується поліном 2-го ступеню виду (11). Знайдені поліноміальні коефіцієнти для математичного очікування та середньо квадратичного відхилення усереднених характеристик наведені у табл. 3.

$$p(x) = p_0 \cdot x^2 + p_1 \cdot x + p_2, \quad (11)$$

Усереднені результати за двомастами чисельними експериментами для модуля пружності, коефіцієнта Пуассона та модуля зсуву для 17-ти концентрацій включень графіту наведено в табл. 4.

Для оцінки достовірності, отримані результати порівнювались із результатами отриманими за допомогою правила суміші (12). Такий підхід дає можливість визначити оцінку верхньої та нижньої межі модуля пружності. Ці оцінки відповідають паралельним і перпендикулярним структурним елементам (рис. 10). З аналізу отриманих результатів видно, що математичне очікування еквівалентного модуля пружності знаходиться між верхньою

Таблиця 4

Пружні характеристики досліджуваного матеріалу

№	$\psi$	E, GPa	$\nu$	G, GPa
1	0.054	196.27	0.315	74.20
2	0.057	195.96	0.317	73.50
3	0.060	194.94	0.317	73.60
4	0.065	193.78	0.318	72.90
5	0.070	192.27	0.318	72.20
6	0.075	191.34	0.320	71.80
7	0.080	189.97	0.321	71.30
8	0.085	189.27	0.325	70.80
9	0.090	188.49	0.325	70.20
10	0.100	186.09	0.327	69.00
11	0.135	177.51	0.336	65.90
12	0.150	174.88	0.343	64.60
13	0.170	170.88	0.345	62.30
14	0.185	167.20	0.351	60.90
15	0.200	164.44	0.352	59.70
16	0.250	154.53	0.368	55.30
17	0.300	145.35	0.379	52.40

та нижньою границею оцінки за правилом суміші, що підтверджує коректність побудованих моделей. Однак із рис. 10 добре видно, що верхня межа довірчого інтервалу перевищує верхню оцінку

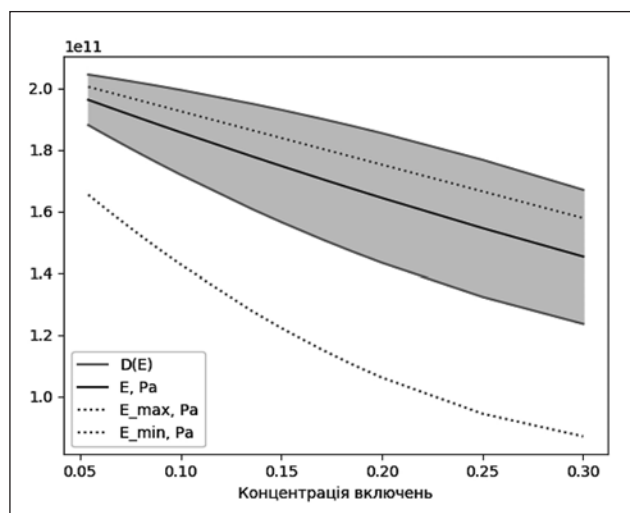


Рис. 10. Верхня та нижня межі модуля пружності генерованої мікроструктури

модуля пружності. Це пояснюється тим, що правило суміші не враховує випадкову орієнтацію головних осей кристалів графіту, а порівняння можливе лише за середніми значеннями. Також це пояснюється тим, що реальні властивості графіту набагато складніші за ізотропні, що передбачає правило суміші.

$$E_{max} = \psi \cdot E_g + (1 - \psi) \cdot E_f;$$

$$E_{min} = \left( \frac{\psi}{E_g} + \frac{1 - \psi}{E_f} \right)^{-1}, \quad (12)$$

де  $\psi$  – концентрації в діапазоні  $[0.054, 0.3]$ ;  $E_g$  – модуль пружності графіту;  $E_f$  – модуль пружності фериту.

**Висновки.** Під час роботи створено алгоритм дослідження пружних механічних властивостей високоміцного чавуну. Проведено розпізнавання сфероїдальних включень графіту на мікроструктурних зображеннях. Отримано залежності розмірів включень від їхньої концентрації та запропоновано методику штучної генерації мікроструктури чавуну. Проведено скінчено елементний аналіз створеної структурної моделі, отримані формули визначення модуля пружності, коефіцієнта Пуассона та модуля зсуву. Побудовано залежності пружних характеристик від вмісту включень графіту. Для оцінки результатів застосували правило суміші до усереднених показників модуля пружності. Спостерігається схожість форми та характеру верхньої та нижньої меж очікуваних та отриманих вимірювань. Результати чисельного моделювання показали добре співвідношення розрахункових значень коефіцієнта Пуассона, модуля пружності та зсуву з довідковими даними.

#### Список літератури:

1. Sikoraab P., Elrahmanac M., Chunga S.-Y., Cendrowskid K., Mijowskad E., Stephana D. Mechanical and microstructural properties of cement pastes containing carbon nanotubes and carbon nanotube-silica core-shell structures, exposed to elevated temperature. *Cement and Concrete Composites*. January 2019. № 95. P. 193–204.
2. Salinas A., Celentano D., Carvajal L., Artigas A., Monsalve A. Microstructure-based constitutive modelling of low-alloy multiphase TRIP steels. *Metals*. 2019. №: 9 (2). P. 250.
3. Xu H., Zhu M., Marcicki J., Yang X. G., Mechanical modeling of battery separator based on microstructure image analysis and stochastic characterization. *J. Power Sources*. March. 2017. № 345. P. 137–145.
4. Seungwoo S., Lee Y.H., Choi D.-W., Cho K.-R., Shin S.M., Lee Y., Kang S.-H., Lee Z. Investigation of the microstructure of laser-arc hybrid welded boron steel. *JOM*. August 2018. № 70 (8). P. 1548–1553.
5. Zhang Y., Fan Y., Zhao X., Du A., Ma R., Wu J., Cao X. Influence of graphite morphology on phase, microstructure, and properties of hot dipping and diffusion aluminizing coating on flake/spheroidal graphite cast iron. *Metals*. April 2019. № 9 (4). P. 450.
6. Ramakrishnan G., Dinda P. Microstructure and mechanical properties of direct laser metal deposited Haynes 282 superalloy. *Materials Science and Engineering: A*. March 2019. № 748 (4). P. 347–356.
7. DeCost B.L., Holm E.A. A computer vision approach for automated analysis and classification of microstructural image data. *Comput. Mater. Sci*. December 2015. № 110. P. 126–133.
8. Renato F., PereiraValberto E.R. da Silva Filho, Lorena B. Moura, Arun N.K., Auzuir R. de Alexandria Automatic quantification of spheroidal graphite nodules using computer vision techniques. *J Supercomput*. September 2018. P. 1–14.
9. Campbell A., Murray P., Yakushina E., Marshall S., Ion W. New methods for automatic quantification of microstructural features using digital image processing. *Materials & Design*. 2018. № 141. P. 395–406.
10. Kwon O., Kim H., Ham M., Kim W., Kim G., Cho J., Kim N., Kim K. A deep neural network for classification of melt-pool images in metal additive manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*. October 2018.
11. DeCost B., Lei B., Francis T., Holm E. High throughput quantitative metallography for complex microstructures using deep learning: A case study in ultrahigh carbon steel. *Microscopy and Microanalysis*, 2019. № 25 (1). P. 21–29.
12. Fragassa C., Babic M., Bergmann C., Minak G. Predicting the tensile behaviour of cast alloys by a pattern recognition analysis on experimental data. *Metals*. 2019. № 9 (5). P. 557.

13. Shapovalova M.I., Vodka O.O. Image microstructure estimation algorithm of heterogeneous materials for identification their chemical composition. *IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, July 2019. Lviv, Ukraine.
14. Hua F., Yang Y., Guo D., Tong W., Z Hu – Cailiao Kexue Yu Jishu Elasto-plastic FEM analysis of residual stress in spun tube. *J. Mater. Sci. Technol.* 2004. № 20. P. 379–382.
15. Seriacopi V., Fukumasu N.K., Souza R.M., Machado I.F. Finite element analysis of the effects of thermo-mechanical loadings on a tool steel microstructure. *Engineering Failure Analysis*. March 2019. № 97. P. 383–398.
16. Park H.K., Jung J., Kim H.S. Three-dimensional microstructure modeling of particulate composites using statistical synthetic structure and its thermo-mechanical finite element analysis. *Comput. Mater. Sci.* Jan. 2017. № 126. P. 265–271.
17. Fischer C., Reichenbacher A., Metzger M., Schweizer C. Computational assessment of the microstructure-dependent thermomechanical behaviour of AlSi12CuNiMg-T7—methods and microstructure-based finite element analyses. *Advances in Mechanics of High-Temperature Materials*. 2020.
18. Vodka O.O. Processing microsection images to determine elastic characteristics of cast iron. *IEEE Ukraine SYW-2018 Congress. Student, Young Professional and Women in Engineering*. October 2018. Kyiv, Ukraine.
19. ГОСТ 3443-87 Отливки из чугуна различной формы графита. Методы определения структуры (ISO 945-75\*). [Взамен ГОСТ 3443-77]. Москва : Стандартинформ, 2005.
20. OpenCV-Python Tutorial's documentation. URL: [https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py\\_tutorials](https://opencv-python-tutroals.readthedocs.io/en/latest/py_tutorials).
21. Open source computer vision. Contour features. URL: [https://docs.opencv.org/master/dd/d49/tutorial\\_py\\_contour\\_features.html](https://docs.opencv.org/master/dd/d49/tutorial_py_contour_features.html).

**Shapovalova M.I., Vodka O.O. COMPUTER METHODS FOR CONSTRUCTING PARAMETRIC STATISTICALLY EQUIVALENT MODELS OF HIGH-STRENGTH CAST IRON MICROSTRUCTURE TO ANALYZE IT'S ELASTIC CHARACTERISTICS**

*The analysis of microstructure material is one of the important parts of the manufactured products quality control. The microstructural study allows obtaining information about the state of the material by the structure image and does not require additional equipment for testing the sample. The paper analyzes cast iron with the inclusion of spheroidal graphite. This material is widely used in mechanical engineering. Suspension axles, connecting rods, gears, shafts, braking elements are produced from ductile iron.*

*The paper proposes computer methods for constructing parametric statistically equivalent models of high-strength cast iron microstructure to analyze its elastic characteristics. The metallographic images of the material are studied using the OpenCV computer vision library. Contours of graphite inclusions are determined. Graphite is assumed to have a circular shape. The mathematical expectation and variance of the inclusions size are approximated. The dependence of the inclusions size and their concentration is found. According to this dependence, a statistically equivalent artificial microstructure of cast iron is generated. A finite element model is built to find the elastic characteristics of the material. It is accepted that ferrite is an isotropic material, and graphite has a hexagonal crystal lattice structure. The stress state is considered based on flat models.*

*Two hundred numerical experiments are carried out for 17 values of the inclusions concentration. The results obtained for elastic constants are statistically averaged. The dependences of the Poisson coefficient, elastic modulus, and displacement on the concentration of inclusions are established. To assess the reliability of decisions, the mixture rule is applied. The results of the rule applying confirm the correctness of the constructed models. However, the upper boundary of the confidence interval exceeds the upper estimate of the elastic modulus. This result arises from the complexity of the real properties of the graphite material, and also because the orientation of the main axes of graphite crystal cannot be determined. Therefore, a comparison is possible only on average and value.*

**Key words:** cast iron, microstructure, image processing, finite element method, material properties, elastic modulus.

**Шкарупило В.В.**

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

**Євдокимов В.Ф.**

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

**Душеба В.В.**

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

## **ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМАЛЬНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

*У наш час застосування формальних методів стає все більш поширеним явищем у різноманітних предметних областях. Шляхи їх використання охоплюють сценарії як комерційного, так і некомерційного характерів. Особливої уваги при цьому заслуговують системи критичного призначення – системи, відмови або збої в роботі яких можуть призвести до критичних наслідків. Прикладами відповідних предметних областей можуть слугувати космічна галузь, енергетика тощо. В роботі увага приділяється методам перевірки на моделі – представникам формальних методів. Характерною ознакою останніх є можливість автоматизації процедури їх застосування. Це слугує позитивним фактором з позиції практичного їх використання в задачах прикладного характеру. Суттєвим недоліком формальних методів є експоненційний характер росту часових витрат на процедуру формальної верифікації від числа змінних станів системи переходів в основі формальної специфікації, що підлягає автоматизованій перевірці. Така специфіка зумовлює потребу пошуку компромісних рішень з позиції корисного ефекту від верифікації, супутніми цьому процесу часовими витратами і доступними обчислювальними ресурсами. В роботі увага приділяється програмному складнику систем критичного призначення. З урахуванням складності таких систем і зазначеного недоліку методів перевірки на моделі, формулюється завдання роботи. Воно полягає в аналізі аспектів застосування формальних методів для перевірки систем критичного призначення. За результатами проведеного аналізу формулюється перелік рекомендацій для застосування методів перевірки на моделі під час проектування систем критичного призначення. Як демонстративний приклад в роботі було узятو космічну галузь – розглянуто систему керування орієнтацією космічного апарату. Посилаючись на результати попередніх досліджень, сформульовано рекомендації до застосування формальних методів під час проектування систем критичного призначення.*

**Ключові слова:** перевірка на моделі, формальна специфікація, верифікація, система критичного призначення, системний підхід.

**Постановка проблеми.** Сучасне суспільство у різних сферах своєї діяльності істотним чином покладається на функціонування критичних систем (систем критичного призначення, Safety-critical Systems). Це такі системи, до надійності функціонування яких висуваються підвищені вимоги, тобто такі системи, відмова яких у процесі експлуатації може призвести до критичних наслідків [1]. Відповідними прикладами можуть слугувати система керування орієнтацією космічного апарату, різноманітні системи управління у сфері атомної енергетики тощо [2]. Іншими прикладами предметних областей є оборонна, хімічна промисловості, авіація, медицина [3].

Названі системи характеризуються високим рівнем складності. Це зумовлює потребу використання ефективних підходів до проектування та розроблення таких систем – підходів, використання яких сприяло би зменшенню кількості та критичності помилок проектних рішень – помилок, що потенційно можуть призвести до критичних наслідків. Відповіддю на це питання слугує використання модельно-орієнтованого підходу (MBSA, Model-based Safety Analysis) до аналізу надійності систем критичного призначення (СКП) [4]. Шляхом реалізації такого підходу є використання формальних методів під час проектування. При цьому доречно зазначити три альтернативних



напрями розвитку відповідних методів: дедуктивна верифікація, перевірка еквівалентності і перевірка на моделі (Model Checking). Особливо уваги тут заслуговує сімейство методів перевірки на моделі, коли судження стосовно коректності роботи тієї чи іншої системи (підсистеми) робиться на основі відповідної формальної моделі – специфікації [5]. Відмінною рисою методів перевірки на моделі є можливість автоматизації процедури їх використання. Це є вагомим аргументом на користь розгляду названих методів як засобу реалізації MBSA-підходу з позиції озвученої складності СКП. Саме використанню цих методів при проектуванні СКП і присвячена дана робота.

Перш ніж продовжити викладення основного матеріалу, спрощено представимо процес розроблення системи послідовністю наступних етапів: аналіз вимог до системи, проектування, реалізація, тестування. Зростання складності СКП проявляється, зокрема, і у зростанні складності процесу їх розроблення з позиції як матеріально-технічних, так і часових витрат. Усунення помилок проектних рішень на пізніх етапах процесу розробки супроводжується істотно більшими матеріальними і часовими витратами [6]. Навіть більше, ґрунтуючись на накопиченій статистиці, стверджується, що кожна п'ята аварія у космічній галузі пов'язана з відмовою комп'ютерних систем управління та їх компонентів [7]. У цьому контексті помилки проектних рішень доречно виявляти і усувати вже на етапі проектування процесу розробки. Навіть тестування не гарантує відсутності помилок, а лише виявляє деякі з них за умови використання вдалим чином підібраних тестових послідовностей. У контексті СКП така специфіка не є задовільною, оскільки не виявлені на етапі тестування помилки можуть потенційно призвести до критичних наслідків під час експлуатації системи.

Під час розгляду і аналізу методів перевірки на моделі оперуватимемо поняттям «верифікація», що регламентується стандартом IEEE 1012-2016 [8]. Процедура верифікації у стандарті розглядається як складова частина більш комплексного процесу V&V (Verification and Validation), що охоплює вищенаведені етапи процесу розробки. Верифікація при цьому визначається як засіб встановлення відповідності одержуваних артефактів процесу розробки, зокрема моделей-результатів етапу проектування, специфікаціям вимог до системи. Процедура валідації передбачає встановлення придатності розробленої системи до

цільового використання. Тут доречно провести паралелі між супутніми поняттями верифікації, перевірки на моделі, валідації, імітаційного моделювання і тестування (рис. 1).

На рис. 1 ромбовидною стрілкою зображується відношення композиції, а пунктирною – відношення реалізації. Це означає, що перевірка на моделі є шляхом здійснення верифікації, а імітаційне моделювання і тестування – шляхами здійснення валідації. Особливо варто відзначити техніку RV (Runtime Verification), що не відображена на рис. 1, розглядається як доповнення до перевірки на моделі і тестування, і дозволяє перевіряти властивості системи в режимі виконання [9]. Перевагою такого підходу є порівняно менші обчислювальні витрати ніж під час перевірки на моделі, недоліком (з позиції скорішого виявлення помилок) є те, що система вже має бути реалізованою.

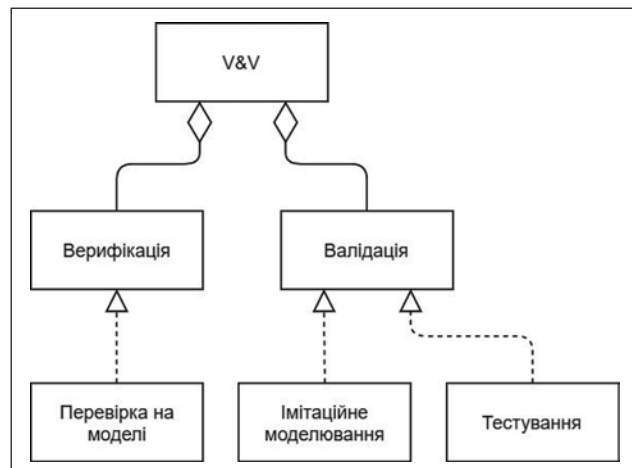


Рис. 1. Спрощена концептуалізація процесу V&V

Спрощення рис. 1 полягає в тому, що тут наводиться лише поверхнева класифікація концепцій, аби надлишковою інформацією не «розмити» акцент роботи. Наприклад, як альтернативи перевірки на моделі можуть виступати дедуктивна верифікація, перевірка еквівалентності. Істотним, на нашу думку, недоліком останніх двох варіацій є неможливість їх автоматизації, що критично з позиції складності досліджуваних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стверджується, що більше 80% функцій сучасних інформаційно-керуючих систем реалізуються програмно [10]. Також зазначається, що складність таких систем потребує застосування спеціальних методів забезпечення надійності.

Прикладом успішного застосування методів перевірки на моделі під час проектування СКП є платформа TAS Control Platform, призначена

служувати основою програмної системи керування рухом залізничного транспорту [11]. В роботі, проте, не було висвітлено питань автоматизації залучення формальних методів до процесу проектування. Це стосується і питання автоматизації синтезу формальних специфікацій. Навіть більше, атомна енергетика Фінляндії з 2008 р. використовує методи перевірки на моделі для перевірки програмного складника контрольно-вимірювальних пристроїв [12]. З причини закритості зазначеної тематики багато питань стосовно аспектів застосування формальних методів лишаються неоприлюдненими. Одне з ключових, на нашу думку, з таких питань – досягнення балансу між корисним ефектом від верифікації, супутніми цьому процесу часовими витратами і доступними обчислювальними ресурсами. У цьому контексті попередні експерименти показали негативний вплив надмірної деталізації специфікації, де паралелізм було представлено в специфікації на основі моделі чергування [13]. Результатом стало вичерпання доступних ресурсів оперативної пам'яті та дострокове припинення процесу автоматизованої перевірки.

**Постановка завдання.** Проаналізувати аспекти застосування формальних методів для перевірки СКП. За результатами проведеного аналізу сформулювати перелік рекомендацій для застосування методів перевірки на моделі під час проектування СКП.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як сферу застосування СКП розглянемо космічну галузь. Для демонстрації спрямованості роботи скористаємось системним підходом, викладеним у стандарті ECSS-E-00A (рис. 2) [14], що був замінений стандартом ECSS-S-ST-00C [15].

На рис. 2 показано, що етапом процесу системного інжинірингу (розробки) обрано етап проектування – етап, на якому планується використовувати методи перевірки на моделі. При цьому СКП розглядається як складний програмно-апаратний комплекс, де в роботі охоплюється програмний складник. При цьому, з урахуванням експоненційного характеру росту обчислювальних витрат від кількості змінних стану формальної моделі, розглядається лише підсистема СКП. Прикладом може слугувати підсистема керування орієнтацією космічного апарату.

Вісь Оу, зображена на рис. 2, деталізується на рис. 3, де відображаються етапи процесу системного інжинірингу.

На рис. 3 пунктиром виділено акцент роботи. Під входом розуміються вимоги до системи, які ще не сформульовано, під виходом – артефакти

процесу проектування (моделі, проектні рішення). Загалом рис. 3 демонструє спрощену інтерпретацію процесу системного інжинірингу [14]. Під верифікацією розуміється процедура формальної верифікації, призначена бути здійсненою в автоматизованому режимі методом перевірки на моделі.

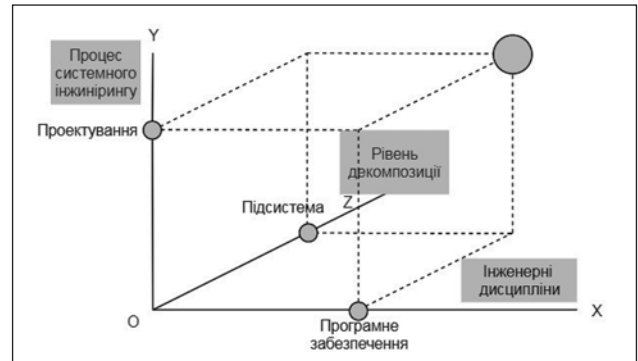


Рис. 2. Демонстрація системного підходу до аналізу СКП

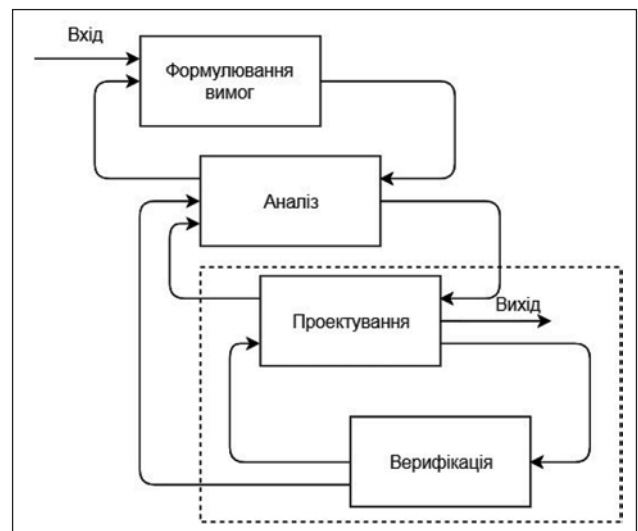


Рис. 3. Демонстрація спрямованості роботи

Застосування методів перевірки на моделі під час проектування СКП висуває підвищені вимоги до адекватності формальних моделей, на основі яких формуються твердження стосовно відсутності / наявності помилок в проектних рішеннях. Така ситуація потребує ґрунтовного аналізу специфіки досліджуваної системи. В даній роботі розглядається програмний складник системи управління, призначеної до використання в космічній галузі. Для цього узято типовий розподіл операцій, характерний для вирішення задач управління в названій галузі – Суміш Шатл (табл. 1) [2, с. 70].

З табл. 1 видно, що найбільш істотний кількісний вклад (77,7%) вносять операції завантаження операнду, складання, занесення до пам'яті, пере-

ходу. Це дає підстави розглядати питання варіації ступеню деталізації формальних специфікацій, з урахуванням відповідного розподілу операцій. Для порівняння, для загального випадку вирішення науково-технічних задач використовується суміш Гібсона, де 40,3% відводяться під операції складання (з фіксованою і плаваючою крапкою), 19% – під операції індексної модифікації (робота з масивами), 17,5% – під операції пересилання даних, що формує 76,8% усього складу операцій [2, с. 69; 16]. Видно, що порівняно із сумішшю Шатл, для Суміші Гібсона відсоткова частка операцій складання у 2,6 рази більша. Таке порівняння дає підстави сформулювати нижченаведені рекомендації до синтезу формальних моделей (специфікацій), призначених до автоматизованої формальної верифікації методами перевірки на моделі.

Таблиця 1

**Розподіл операцій для вирішення задач управління у космічній галузі**

№ з/п	Операція	Відсотковий склад
1	Завантаження операнду	26,1
2	Складання	15,5
3	Занесення до пам'яті	13,8
4	Множення	6,0
5	Ділення	1,9
6	Логічні операції	5,4
7	Зсув на 4 розряди	7,2
8	Перехід	22,3
9	Завантаження адреси	1,8
	Разом:	100,0

З табл. 1 видно, що найбільш істотний кількісний вклад (77,7%) вносять операції завантаження операнду, складання, занесення до пам'яті, переходу. Це дає підстави розглядати питання варіації ступеню деталізації формальних специфікацій, з урахуванням відповідного розподілу операцій. Для порівняння, для загального випадку вирішення науково-технічних задач використовується суміш Гібсона, де 40,3% відводяться під операції складання (з фіксованою і плаваючою крапкою), 19% – під операції індексної модифікації (робота з масивами), 17,5% – під операції пересилання даних, що формує 76,8% усього складу операцій [2, с. 69; 16]. Видно, що порівняно із сумішшю Шатл, для Суміші Гібсона відсоткова частка операцій складання у 2,6 рази більша. Таке порівняння дає підстави сформулювати нижченаведені рекомендації до синтезу формальних моделей (специфікацій), призначених до автоматизованої формальної верифікації методами перевірки на моделі.

Як перша рекомендація пропонується варіювати рівень деталізації формальної специфікації (фрагментів специфікації). Це означає, що доцільно враховувати характер розподілу операцій для заданої предметної області застосування програмної СКП (табл. 1). Відповідно до цього розподілу встановлювати ступінь деталізації фрагментів специфікації для операцій (конструкцій), що є більш поширеними, для менш поширених операцій – нижчий. При цьому, зважаючи на складність СКП та експоненційний характер зростання обчислювальних витрат на верифікацію від кількості змінних стану системи переходів [17], заданої формальною специфікацією, на прикладі системи управління орієнтацією космічного апарату (тисячі рядків програмного коду), доречно перейти від представлення операцій змінними станів системи переходів до представлення конструкцій на основі цих операцій (фрагментів програмного коду) змінними станів. При цьому виникає ряд супутніх завдань, що потребують вирішення. Відповідним прикладом є знаходження компромісу між рівнем деталізації формальної специфікації (фрагментів специфікації), а також доступними обчислювальними ресурсами і часовими обмеженнями. Цей компроміс своєю чергою має бути орієнтованим на одержання корисного ефекту від здійснення формальної верифікації, що може проявлятися у виявленні помилок проектних рішень чи підтвердженні їх відсутності. При цьому постає інше питання – наскільки правомірно судити відносно коректності тих чи інших проектних рішень на основі відповідних моделей (специфікацій). Мається на увазі підвищення вимог до адекватності названих моделей.

Поштовхом у напрямі сприяння підвищенню рівня довіри до адекватності формальних моделей передбачається наступна рекомендація: будувати також аналітичні моделі на основі структури Кріпке і порівнювати результати аналізу таких моделей із статистичними даними, одержуваними під час автоматизованої перевірки відповідних формальних специфікацій [17].

Розглядаючи проектування як ітераційний процес [18], доцільним вбачається також забезпечення автоматизації процедури синтезу формальних специфікацій – заключна рекомендація. Кроком у цьому напрямі може бути використання допоміжних формалізмів більш високих рівнів абстракції, ніж формалізм цільової специфікації, і засобів генерації цільових специфікацій на основі таких моделей з вищим рівнем абстракції. Демонстративним прикладом може слугувати алгоритмічна мова PlusCal [19], що використовується як



проміжна ланка для синтезу цільової специфікації на мові TLA+ [20], призначеної до автоматизованої формальної верифікації методом перевірки на моделі TLC (TLA Checker) [21].

**Висновки.** Таким чином, в роботі було проаналізовано аспекти застосування формальних методів для перевірки систем критичного призначення, а саме програмного складника названих систем. За результатами проведеного аналізу сформульовано наступні рекомендації:

1. Враховувати характер розподілу операцій для заданої предметної області. У якості останньої розглянуто космічну галузь і відповідну систему керування орієнтацією космічного апарату.

2. Для підвищення ступеню довіри до результатів верифікації формальної специфікації методом перевірки на моделі перевіряти адекватність формальних моделей також шляхом співставлення результатів аналізу аналітичних моделей на основі структури Кріпке з результатами автоматизованої перевірки формальних моделей.

3. З позиції ітераційного погляду на процес проектування використовувати засоби автоматизації процесу синтезу формальних специфікацій. Для синтезу специфікацій з більш високим рівнем абстракції як допоміжний засіб запропоновано використовувати алгоритмічну мову PlusCal.

#### Список літератури:

1. Харченко В.С. Аналіз проблем ІТ-інженерії безпеки: проект TEMPUS-SAFEGUARD. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2010. № 7 (48). С. 297–300.
2. Конорев Б.М., Манжос Ю.С., Харченко В.С., Алексеев Ю.Г., Сергиенко В.В., Чертков Г.Н. *Инвариантно-ориентированная оценка качества программного обеспечения космических систем* / под ред. Б.М. Конорева, В.С. Харченко. Харьков : Государственный центр регулирования качества поставок и услуг, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. 224 с.
3. Омельчук Л.Л. *Формальні методи специфікації програм* : навч. посібник. Київ : УкрІНТЕІ, 2010. 78 с.
4. Sharvia S., Papadopoulos Y. Integrating model checking with HiP-HOPS in model-based safety analysis. *Reliability engineering & system safety*. 2015. Vol. 135. P. 64–80.
5. Кларк Э.М., Грамберг О., Пелед Д. *Верификация моделей программ: Model checking* : пер. с англ. / под ред. Р. Смелянского. Москва : МЦНМО, 2002. 416 с.
6. Reinertsen D.G. *The principles of product development flow: second generation lean product development* : 1st ed. Redondo Beach, CA : Celeritas Publishing, 2009. 304 p.
7. Харченко В.С., Скляр В.В., Конорев Б.М., Алексеев Ю.Г., Чертков Г.Н., Засуха С.А., Семенов Л.П. *Оценка и обеспечение качества программных средств* / под ред. Б.М. Конорева, В.С. Харченко. Харьков : Государственный центр регулирования качества поставок и услуг, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2007. 244 с.
8. IEEE 1012-2016. IEEE Standard for system, software, and hardware verification and validation. [Approved 28 September 2017].
9. Leucker M., Schallhart C. A brief account of runtime verification. *The journal of logic and algebraic programming*. 2009. Vol. 78, No. 5. P. 293–303.
10. Петрик В.Л. Экспертиза программного обеспечения информационно-управляющих систем с использованием дескрипторного семантического пространства. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2007. № 2 (21). С. 29–35.
11. Resch S., Paulitsch M. Using TLA+ in the Development of a Safety-Critical Fault-Tolerant Middleware. *Software Reliability Engineering Workshops* : Proc. 2017 IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering Workshops (Toulouse, France, 23-26 October 2017). P. 146–152.
12. Pakonen A., Tahvonen T., Hartikainen M., Pihlanko M. Practical applications of model checking in the Finnish nuclear industry. *Nuclear Plant Instrumentation, Control and Human Machine Interface Technologies* : Proc. 10th International Topical Meeting (San Francisco, CA, USA, 11–15 June 2017). P. 1342–1352.
13. Shkarupylo V.V., Tomićić I., Kasian K.M., Alsayaydeh J. A. J. An Approach to increase the Effectiveness of TLC Verification with Respect to the Concurrent Structure of TLA+ Specification. *International Journal of Software Engineering and Computer Systems*. 2018. Vol. 4, No. 1. P. 48–60.
14. ECSS-E-00A. Space engineering. Policy and principles. [Cancelled]. The Netherlands : ESA Publications Division, 1996. 46 p.
15. ECSS-S-ST-00C – ECSS system. Description, implementation and general requirements. [Чинний від 2008-07-31]. AG Noordwijk, The Netherlands : ESA Requirements and Standards Division, 2008. 34 p. URL: <https://ecss.nl/standard/ecss-s-st-00c-description-implementation-and-general-requirements-31-july-2008/> (дата звернення: 09.11.2019).
16. Феррари Д. *Оценка производительности вычислительных систем* : пер. с англ. Горлина А.И. / под ред. В.В. Мартынюка. Москва : Мир, 1981. 576 с.



17. Shkarupylo V.V., Tomićić I., Kasian K.M. The investigation of TLC model checker properties. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2016. Vol. 40, No. 1. P. 145–152.
18. Ларман К. *Применение UML и шаблонов проектирования* : 2-е изд. / пер с. англ. Москва : Издательский дом «Вильямс», 2004. 624 с.
19. Lamport L. The PlusCal algorithm language. *Theoretical Aspects of Computing* : 6th Int. Colloquium, part of LNCS, (Kuala Lumpur, Malaysia, Aug. 2009), vol. 5684. P. 36–60.
20. Shkarupylo V., Kudermetov R., Timenko A., Polska O. On the Aspects of IoT Protocols Specification and Verification. *Problems of Infocommunications. Science and Technology* : 2019 International Scientific-Practical Conference (Kyiv, Ukraine, October 8-11, 2019). P. 93–96.
21. Lamport L. *Specifying systems: The TLA+ language and tools for hardware and software engineers*. Boston: Addison-Wesley, 2002. 382 p.

#### **Shkarupylo V.V., Evdokimov V.F., Dusheba V.V. FORMAL METHODS USAGE WITH RESPECT TO CRITICAL SYSTEMS CHECKING**

*Nowadays, the usage of formal methods becomes more and more widespread in different spheres. The ways of these methods usage encompass diverse scenarios of both commercial and non-commercial nature. Special attention here is paid to safety-critical systems the systems, where the faults and failures can lead to critical consequences. The examples of corresponding domains are the space industry, energetics, etc. In given work the accent is put on model checking methods the representatives of formal methods. The definitive feature of the latter is the ability to automate the procedure of such methods usage. It is considered as a positive factor from the viewpoint of its practical applicability. The significant drawback though is the exponential growth of verification procedure time costs from the number of transition system's state variables. This peculiarity fosters the need for searching the tradeoffs with respect to the outcome of verification process, corresponding time costs and available computational resources. In paper, the accent is put on software constituent of safety-critical systems. Taking into consideration the complexity of such systems and the aforementioned drawback of model checking methods, the goal of work conducted is formulated as follows: analyze the aspects of formal methods usage with respect to safety-critical systems checking. As a result of the analysis conducted, the recommendations to model checking methods usage while designing safety-critical systems have been formulated. As a representative example, the space industry domain has been covered spacecraft orientation control system has been considered. Basing on the results of previously conducted experiments, the recommendations to formal methods usage while designing the safety-critical systems have been formulated.*

**Key words:** *model checking, formal specification, verification, safety-critical system, systems approach.*

## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1

DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/35>

**Бойко С.М.**

Криворізький національний університет

### МОДИФІКОВАНИЙ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ УМОВ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Головною метою дослідження є підвищення коефіцієнта корисної дії сонячної панелі та зниження його вартості, оскільки підвищення ефективності, зазвичай, супроводжується зростанням ціни сонячних установок. Тому доцільним є пошук оптимальних параметрів сонячної установки, що дасть змогу отримати максимальний коефіцієнт корисної дії за мінімальних економічних затрат. Запропоновано розташування сонячних панелей на території залізорудних підприємств.*

*Проаналізовано можливості впровадження електротехнічного комплексу сонячної електростанції в умови енергоємних залізорудних підприємств. Розроблено систему очистки та систему нахилу, структурну схему електротехнічного комплексу залізорудних підприємств, розроблений алгоритм функціонування електротехнологічного комплексу сонячної електростанції.*

*Запропонована система очистки поверхні сонячної панелі дозволить ефективно їх експлуатувати в умовах залізорудних підприємств, не зважаючи на металізовані частинки пилу, що осідають на їх поверхні. Система нахилу сонячної панелі дозволить підвищити ефективність функціонування сонячної станції на протязі доби.*

**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії, електропостачання підприємств, сонячна панель, система очистки.

**Постановка проблеми.** Потенціал відновлюваних джерел енергії у світі становить мільярди тонн умовного палива на рік і значно перевищує обсяг усіх споживаних в даний час паливно-енергетичних ресурсів. Його раціональне використання дозволить вирішити цілий ряд проблем, пов'язаних з екологічно небезпечними процесами переробки вуглецевого палива і його заощадженням, зниженням витрат на транспортування палива в територіально віддалені регіони і підвищенням рівня їх енергетичної надійності. З огляду на, що застосування альтернативних джерел для виробництва електроенергії – додатковий стимул до розвитку промисловості, забезпечення зайнятості та підвищення рівня життя населення, а в кінцевому підсумку, зміцнення та стимулювання економіки [2]. Сонячна енергетика – одна з галузей альтернативної енергетики, що розвиваються найбільш динамічно.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–6] показав, що особливістю енергопостачання із використанням сонячної енергії є непостійність в часі, спричинена обертанням Землі навколо Сонця. Для забезпечення необхідної генерованої потужності

збільшують площу панелей, або, якщо це можливо, укомплектовують їх поворотним механізмом [7]. Залежно від сигналів від давача положення Сонця поворотний механізм позиціонує площину панелі перпендикулярно до сонячних променів. Ряд авторів [8–10] розглядають шляхи розрахунку оптимальних кутів нахилу сонячних панелей до горизонту і азимута повороту, при яких буде отримано найбільше енергії від сонячного випромінювання. Проте порівняльного аналізу між системою позиціонування та стаціонарним монтажем сонячних панелей досі не виконано.

**Постановка завдання.** Модифікувати електротехнічний комплекс сонячної електростанції роботи в умовах залізорудних підприємств.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Головною метою цих досліджень є підвищення коефіцієнта корисної дії сонячного колектора та зниження його вартості, оскільки підвищення ефективності, зазвичай, супроводжується зростанням ціни сонячних установок. Тому доцільним є пошук оптимальних параметрів сонячної установки, що дасть змогу отримати максимальний коефіцієнт корисної дії за мінімальних економічних затрат.

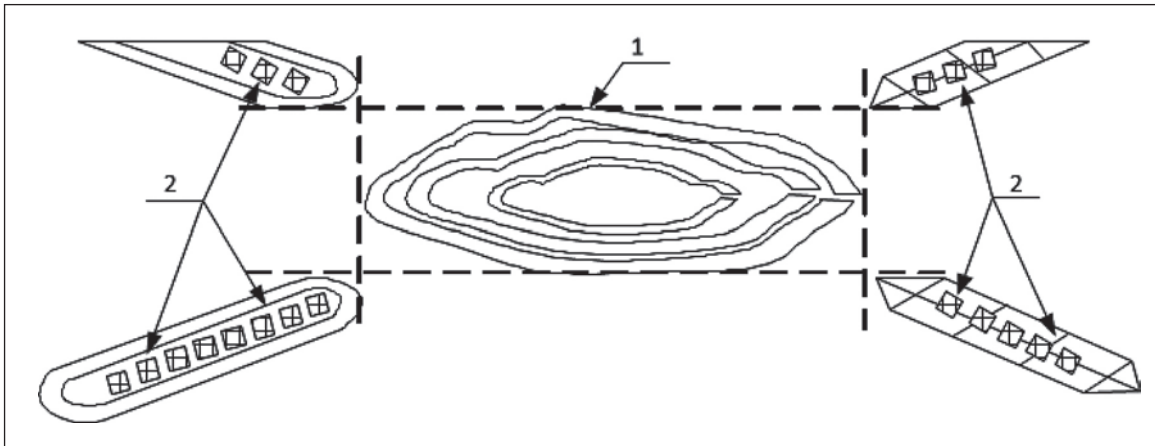


Рис. 1. Розташування сонячних панелей на території залізорудних підприємств

Запропоновано розташування сонячних панелей на території залізорудних підприємств рис. 1.

Перш ніж розглядати можливі варіанти вирішення проблеми, необхідно визначити показники, за якими будуть порівнюватися альтернативи і вибиратися найкраща. Ці показники прийнято називати критеріями вибору. Наприклад, приймаючи рішення про придбання нового обладнання, можна орієнтуватися на критерії ціни, продуктивності, експлуатаційних витрат, ергономічне і т.п., а в разі прийняття рішення про прийом на роботу нового співробітника критеріями вибору серед кандидатів можуть бути освіта, досвід роботи, вік, особисті якості. По можливості критерії вибору повинні мати кількісне вираження. Критерії залежать від мети рішення, характеру конкретних завдань і можуть бути об'єктивними (заснованими на правилах і процедурах) і суб'єктивними (на думках експертів). Від якості обраних критеріїв багато в чому залежить і якість рішень. Отже, перевагами сонячних установок є [4]:

1) ефективне використання як прямого, так і розсіяного сонячного випромінювання; можливість створення установок практично будь-якої потужності;

2) досить великий термін служби установок (до 50 років); початкові витрати на СУ (сонячні установки) значно менші, ніж приєднання віддаленого населеного пункту до системи теплопостачання або електропостачання, а експлуатаційні витрати з урахуванням терміну служби виявляються нижчими, ніж у дизельних електростанцій;

3) матеріали сонячних установок виконують функцію вишуканого будівельного матеріалу, що поліпшують архітектуру будівель, що забезпечують їх водо захист, звукоізоляцію й теплозахист;

4) застосування СУ не має негативного впливу на навколишнє середовище.

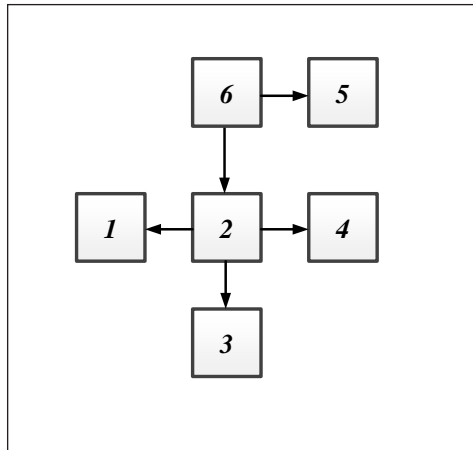
Враховуючи вищенаведені факти, можна говорити про доцільність використання сонячного потенціалу, який припадає на територію України. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що надходить на  $1\text{ м}^2$  поверхні на території України, знаходиться в межах від  $1070\text{ кВт год/м}^2$  у північній частині України до  $1400\text{ кВт год/м}^2$

При роботі в атмосфері, що містить окис вуглецю, не більше 1 року ПДК може бути збільшена до  $50\text{ мг/м}^3$ , а при роботі не більше 30 хвилин – до  $200\text{ мг/м}^3$ . Роботи при збільшеному вмісту окису вуглецю в повітрі робочої зони можуть відновлюватися не раніше двохгодинного перериву.

При розробці корисних копалин в атмосферу кар'єрів виділяється також пил, що представляє собою дрібні тверді частинки розміром менше  $0,1\text{--}0,5\text{ мм}$ . Одна може бути ядовитою і не ядовитою. До не ядовитої відносять кварцову, а радіоактивний пил [7].

Фізика процесу поширення пилу дозволяє виявити три основних фактори, що визначають пилову обстановку на будь-якому об'єкті, – це: вміст пилу в повітрі, винос (викид) пилу потоками, що рухаються, і відкладення пилу на прилеглих до її джерел територіях. Цілком логічно досліджувати ці чинники у взаємному зв'язку, причому головним з них є вміст пилу в повітрі, а наступні два залежать від нього і від параметрів аерозольної системи, зокрема, від швидкості газоповітряного потоку, маси пилових частинок і параметрів показників, що характеризують дифузію цих частинок.

Чисті сонячні панелі гарантують максимальну енерговіддачу. Перша система для чищення



**Рис. 2. Блочна структура системи очистки:**  
 1 – блок переміщення системи очистки;  
 2 – блок керування переміщенням системи очистки; 3 – блок магнітної очистки; 4 – блок сухої очистки; 5 – блок системи нахилу сонячної панелі; 6 – блок керування сонячної панелі

фотогальванічних енергетичних установок з сертифікатом Німецького сільськогосподарського товариства (DLG): Kärcher пропонує чудове рішення для ефективного очищення модулів сонячних батарей, що значно підвищує їх енерговіддачу – до 20% порівняно із дуже забрудненими модулями.

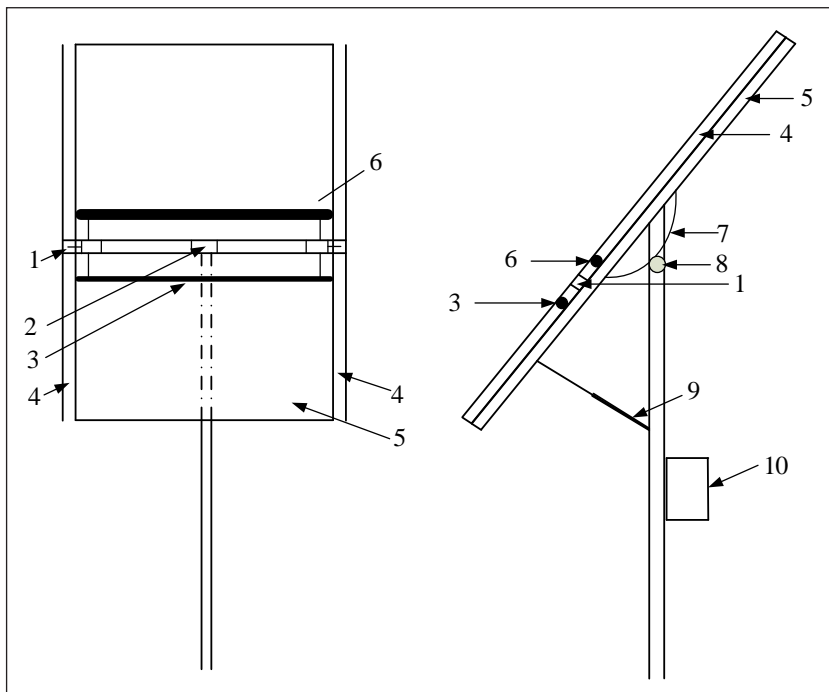
Можливості системи iSolar виключно широкі. Застосування цієї системи для очищення модулів сонячних систем електро- та теплопостачання гарантує прибуткове використання енергії сонця як різними підприємствами, так і власниками приватних будинків. Особливо ефективно її використання в місцях, схильних до інтенсивного забруднення, наприклад, на фермах, на даху яких постійно осідає пил з вентиляційних установок і з навколишніх полів. iSolar від Kärcher – економічне рішення як для власників сонячних енергоустановок, так і для фірм, що займаються їх очищенням. Для механічного захисту сонячної батареї використано лише одне чисте скло товщиною 3 мм,

Після проведення певних розрахунків двох випадків, що допомагають розрахувати кут нахилу сонячної панелі, було спроектовано систему нахилу сонячної панелі і також систему очистки. Запропонована блок схема (рис. 2) системи очистки складається з блоку керування, рухомого блоку, блоку магнітної очистки, блоку сухої очистки, система нахилу.

На рис. 3 зображено функціональну схему системи очистки та системи нахилу.

Система очистки сонячних панелей в умовах залізорудних підприємств працює наступним чином: система керування сонячною панеллю 10 подає сигнал на систему керування очисткою 2, система керування очисткою 2 подає сигнал на блок переміщення 1, переміщення здійснюється завдяки направляючим рейці 4, в верхньому положенні починає працювати магнітна очистка 3, після магнітної очистки 3 починає працювати система сухої очистки 6, система керування сонячною панеллю 10 подає сигнал на систему нахилу 9, сонячна панель змінює кут нахилу завдяки рухомому ролику 8 і рейці 7, яка задає напрям.

Висновки. 1. Проаналізовано можливості впровадження електротехнічного комплексу сонячної електростанції в умови залізорудних підприємств.  
 2. Розроблено систему очистки та систему нахилу, структурну схему електротехнічного комплексу залізорудних підприємств, розроблений алгоритм функціонування електротехнологічного комплексу сонячної електростанції.



**Рис. 3. Функціональна схема системи очистки та системи нахилу сонячної панелі.** 1 – блок переміщення системи очистки; 2 – блок керування переміщенням системи очистки; 3 – блок магнітної очистки; 4 – направляюча рейка; 5 – сонячна панель; 6 – блок сухої очистки; 7-8 – система нахилу; 7 – направляюча рейка; 8 – подвижний ролик; 9 – привід системи нахилу; 10 – блок керування сонячної панелі



## Список літератури:

1. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізородних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти) : монографія. Кривий Ріг : Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
2. Клімат України / За ред. В.М. Лівійського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К. : Вид-во Раєвського, 2003. С. 133.
3. Гурін А.О. Аерологія гірничих підприємств / А.О. Гурін, П.В. Бересневич, А.А. Немченко, І.Б. Ошманський. Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2007. 262 с. ISBN 978–966–350–369–1.
4. Вісаріонов В.І., Дерюгіна Г.В., Кузнецова В.А., Малінін Н.К. «Сонячнаенергетика». Москва : Издательский дом МЭИ 2008, 277 с.
5. Slifer L.Jr. Comparative values of advanced spasece solar cells. Conf. Rec / L. Jr. Slifer// 16th IEEE Photovolt. Spec. Conf. san Diego. Calif. 1982. P. 222–227.
6. Chen C.J. Physics of Solar Energy / C.J. Chen. Willey, 2011. 352 p.
7. Касинець М.Є. Аналіз надходження сонячної енергії на геліопанель / М.Є. Касинець // Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація : [збірник наукових праць] / відповідальний редактор П. Пістун. Львів : Видавництво Львівської політехніка, 2013. С. 135–139. (Вісник / Національний університет Львівська політехніка; № 758).
8. Jamal Kamal Husain. Оптимизация угла наклона солнечных коллекторов в гелиосистеме. Труды Одесского политехнического университета / Денисова А.Е. Дорошенко О.В., Jamal Kamal Husain // Труды Одесского политехнического университета, 2008. Вып. 1 (29). С.133–137.
9. Femia N. Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems / N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, M. Vitelli. CRC Press, 2012. 366 p.
10. Kalogirou Soteris A. Solar Energy Engineering: Processes and Systems. 2nd edition / A. Kalogirou Soteris. Elsevier Inc., 2014. 819 p.

### Boiko S.M. MODIFIED ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX OF SOLAR POWER PLANT FOR CONDITIONS OF IRON GAS ENTERPRISES

*The renewable energy potential in the world is billions of tonnes of conventional fuel per year and far exceeds the amount of currently consumed fuel and energy resources. Its rational use will solve a number of problems associated with environmentally hazardous processes of processing and saving of carbon fuel, reducing the cost of transporting fuel to territorially remote regions and improving the level of their energy reliability. Considering that the use of alternative sources for electricity production is an additional incentive for the development of industry, employment and raising the standard of living of the population, and ultimately, strengthening and stimulating the economy.*

*Analysis of recent research and publications has shown that a feature of solar-powered energy supply is the volatility in time caused by the rotation of the Earth around the sun. To provide the required power output, they increase the area of the panels or, if possible, complete them with a rotary mechanism. Depending on the signals from the sun's position sensor, the rotary mechanism positions the plane of the panel perpendicular to the sun's rays. A number of authors consider ways of calculating the optimal angles of inclination of solar panels to the horizon and azimuth of rotation, which will receive the most energy from solar radiation. However, a comparative analysis between the positioning system and the stationary installation of solar panels has not yet been performed.*

*The main purpose of these studies is to increase the solar collector efficiency and reduce its cost, since efficiency gains are usually accompanied by an increase in the cost of solar installations. Therefore, it is advisable to find the optimal parameters of the solar installation, which will allow you to get the maximum efficiency at the lowest economic cost. The location of solar panels on the territory of iron ore enterprises is suggested. Possibilities of introduction of the electrotechnical complex of the solar power plant in the conditions of energy-intensive iron ore enterprises are analyzed.*

*The purification system and the slope system, the structural scheme of the electrotechnical complex of iron ore enterprises are developed, and the algorithm of functioning of the electrotechnological complex of the solar power plant is developed. The proposed system for cleaning the surface of the solar panel will allow them to be effectively operated in the conditions of iron ore enterprises, despite the metallized dust particles that settle on their surface. The tilting system of the solar panel will allow to increase the efficiency of functioning of the solar station during the day.*

**Key words:** renewable energy sources, power supply to enterprises, solar panel, cleaning system.

**Мартинюк Є.А.**

Одеський національний політехнічний університет

**Беглов К.В.**

Одеський національний політехнічний університет

## МОДЕЛЮВАННЯ АСР ПОТУЖНОСТІ ЕНЕРГОБЛОКА АЕС З ВВЕР-1000 В РЕЖИМІ «К»

*Енергоблок із реактором ВВЕР-1000 – самостійна частина атомної електростанції, яка являє собою технологічний комплекс для виробництва електроенергії шляхом використання енергії, виділеної під час контрольованої ядерної реакції. Енергоблок працює на енергосистемі з великою кількістю споживачів електроенергії.*

*Динамічні процеси в генераторі практично безінерційні, тому електрична потужність, що віддається в енергосистемі, дорівнює механічній енергії на роторі турбіни. Основне завдання регулювання енергосистеми полягає в тому, щоб виробляти електроенергію в точній відповідності до безперервно мінливого споживання.*

*В енергосистемі України є невідповідність між виробленням і споживанням електричної енергії протягом добового циклу, а сумарна частка установок, призначених для регулювання навантаження енергосистеми, дуже мала, тому актуальною є адаптація діючих енергоблоків атомних електростанцій до нових специфічних умов шляхом створення автоматизованої системи управління потужністю енергоблока в маневрених режимах. Всі українські атомні електростанції з ВВЕР-1000 експлуатуються в режимі стабілізації потужності енергоблока на заданому рівні, хоча обладнання першого контуру допускає експлуатацію в режимах маневрування потужністю.*

*Висока надійність і безпека енергоблока – основні вимоги, які пред'являються під час експлуатації енергоблока в маневреному режимі. Запорукою надійної і безпечної експлуатації енергоблока є стійкість реактора під час збурень як під час роботи на постійному рівні навантаження, так і в маневреному режимі.*

*Автоматичний регулятор потужності є невіддільною частиною системи управління потужністю енергоблока і призначений для підтримки потужності реактора відповідно до навантаження турбінного генератора.*

*Сьогодні регулювання потужності енергоблока з реакторами ВВЕР здійснюється саме за допомогою автоматичного регулятора потужності реактора (АРП) і регулятора турбіни (РТ). Регулятор потужності реактора забезпечує такі режими роботи:*

- режим астатичної підтримки теплотехнічного параметра (тиску пари перед турбіною) впливом на реактор (Т);
- режим астатичної підтримки нейтронної потужності (Н);
- режим підтримки теплотехнічного параметра за компромісною програмою впливом на реактор (К);
- стерегущий режим підтримки теплотехнічного параметра впливом на реактор (С).

*Комбінована (компромісна) програма регулювання енергоблоків ВВЕР-1000 призначена для використання переваг інших програм. Програма регулювання з постійною середньою температурою теплоносія в першому контурі найбільш сприятлива для обладнання першого контуру, а програма регулювання з постійним початковим тиском пари в другому контурі – для парогенераторного обладнання та паропроводів другого контуру. Прагнення максимально використовувати переваги кожної з цих програм регулювання, послабивши за можливості їхні недоліки, призвело до того, що в деяких випадках використовують як компромісне рішення комбіновані програми регулювання.*

**Ключові слова:** АЕС, енергія, автоматичний регулятор потужності, режими роботи, комбінована програма регулювання.

**Постановка завдання.** Метою статті є моделювання АСР потужності енергоблока АЕС з ВВЕР-1000 в режимі «К» для забезпечення надійності і безпеки енергоблока. Для досягнення мети

потрібно дослідити та порівняти ефективність кожного режиму регулювання потужності.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Енергоблок із реактором ВВЕР-1000 має два контури.

Перший контур – радіоактивний. Тепло у реакторі виділяється завдяки ланцюговій реакції ділення ядерного палива під дією теплових нейтронів.

Теплоносієм 1-го контуру є вода під високим тиском із розчиною в ній борною кислотою. У результаті ланцюгової реакції поділу ядер урану-235 у ТВЕЛх реактора ВВЕР-1000 виділяється тепло. Під час проходження теплоносія через активну зону реактора відбувається його нагрівання шляхом тепловіддачі від оболонок ТВЕЛів. З реактора теплоносій надходить у ПГ (рис. 1).

Другий контур – нерадіоактивний. У ПГ теплоносій через поверхні теплообміну віддає отриману в реакторі теплоту живильній воді парогенератора, яка перебуває під тиском 6 МПа. Охолоджений в ПГ теплоносій за допомогою ГЦН повертається назад у реактор.

Насичений пар, який виробляється в парогенераторі по паропроводу поступає на турбіну, яка приводить у дію генератор, що виробляє електричний струм.

Для управління та захисту ядерного реактора використовують регулюючі стрижні, які можна переміщувати по всій висоті активної зони. За глибокого введення ланцюгова реакція стає неможливою, оскільки нейтрони сильно поглинаються та виводяться із зони реакції. Це відбувається тому, що стрижні виконані з матеріалу, який має високий ступінь поглинання нейтронів.

Переміщення стрижнів виконується дистанційно з пульту управління. За невеликого переміщення стрижнів ланцюговий процес буде або розвиватися, або затухати. Так регулюється потужність реактора.

На рисунку 1 зображена спрощена теплова схема АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Метою роботи є проектування АСР потужності енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000 у режимі К.

Під режимом К мається на увазі автоматичне підтримання нейтронної потужності реактора.

Потужність реактора повинна відповідати заданому значенню, коефіцієнт розмноження повинен дорівнювати одиниці, а реактивність – нулю. Однак під час експлуатації реактора коефіцієнт розмноження змінюється

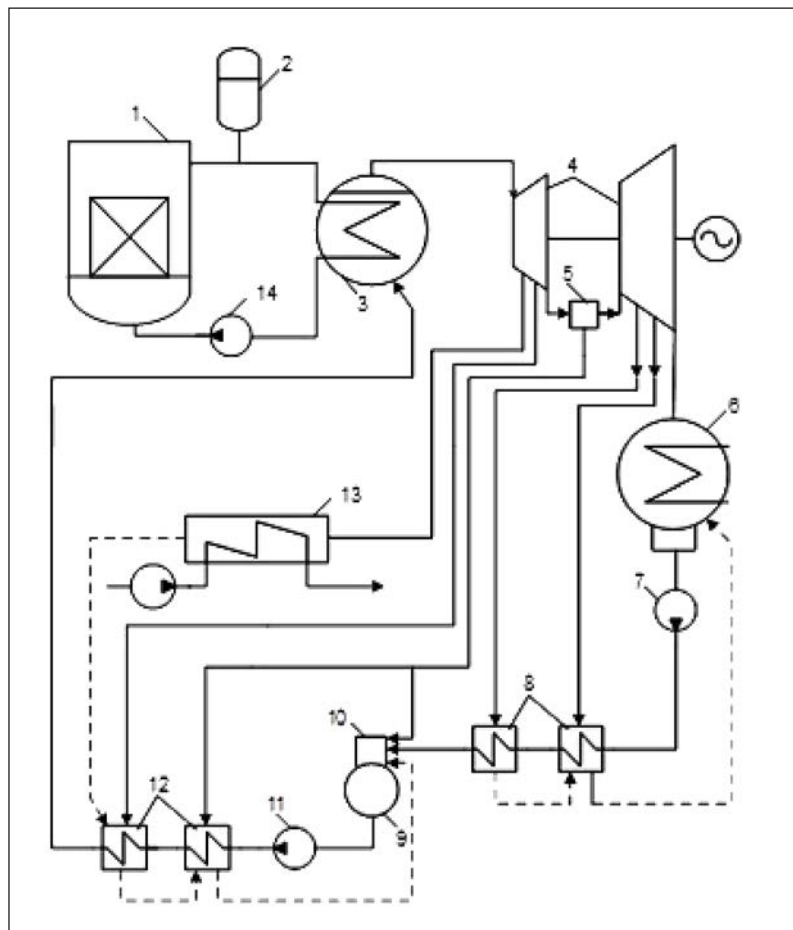
через вигорання палива, отруєння, шлакування, дію температурного і потужнісного ефектів.

Для підтримки реакторів у критичному стані необхідно змінювати властивості активної зони для компенсації зазначених ефектів. Вплив на реактивність принципово можливий такими способами:

- збільшенням або зменшенням кількості матеріалу, що ділиться в активній зоні;
- зміною величини витоку нейтронів з активної зони;
- зміною величини поглинання нейтронів.

Найбільшого поширення набув спосіб зміни реактивності шляхом зміни величини поглинання нейтронів. При цьому можливі такі способи:

- регулювання рухливими твердими поглиначами нейтронів;
- рідинне регулювання, коли змінюється рівень або щільність рідкого поглинача в спеціальних каналах,



**Рис. 1. Спрощена теплова схема енергоблока АЕС з реактором ВВЕР-1000:** 1 – реактор; 2 – компенсатор об'єму; 3 – парогенератор; 4 – парова турбіна; 5 – турбінний сепаратор; 6 – конденсатор; 7 – конденсаторний насос; 8 – підігрівачі низького тиску; 9 – деаераторний бак; 10 – деаераторна колонка; 11 – живильний насос; 12 – підігрівачі високого тиску; 13 – мережевий підігрівач; 14 – циркуляційний насос

- газове регулювання, коли змінюється висота поглинаючого стовпа газу або його концентрація, або щільність;

- хімічне регулювання, коли змінюється концентрація поглиначів в теплоносії.

- компенсація реактивності рухливими вигоряючими поглиначами. Такий поглинач завантажується разом з ядерним паливом і постійно вигоряє. При цьому компенсується реактивність через вигорання і зашлакування палива.

Незважаючи на велику кількість способів управління реактивністю, регулювання реакторами здійснюється твердими поглиначами (з додатковим застосуванням хімічного регулювання у ВВЕР).

Оскільки СУЗ реакторів служить для компенсації реактивності, регулювання потужності і захисту, то розрізняють такі органи регулювання:

- компенсуючі стрижні;
- регулюючі стрижні;
- стрижні аварійного захисту.

Компенсуючі стрижні (КС) або ручного регулювання (РР) призначені для компенсації великих, але повільних змін реактивності.

Стрижні автоматичного регулювання (АР) призначені для компенсації швидких, але малих змін реактивності.

Стрижні аварійного захисту (АЗ) призначені для швидкого припинення ланцюгової реакції в аварійних випадках. У найбільш небезпечних ситуаціях проводиться скидання стрижнів АЗ в активну зону.

Крива інтегральної ефективності однієї групи органів СУЗ ВВЕР-1000 від глибини занурення в активну зону у відсотках показана на рис. 2. Як видно, в центральній частині характеристика близька до лінійної.

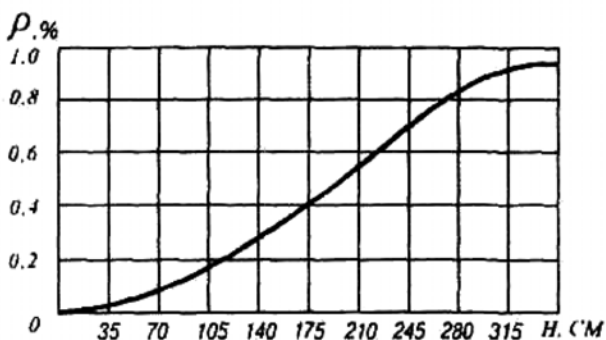


Рис. 2. Інтегральна ефективність однієї групи ОР СУЗ ВВЕР-1000

1.1. Вибір програми регулювання потужністю енергоблока

Відомі такі програми регулювання потужності енергоблока:

- з постійною середньою температурою  $t_{cp}$  теплоносія 1-го контуру;
- з постійним тиском пари у 2-му контурі;
- комбінована програма;
- компромісна програма.

Розглянемо переваги та недоліки цих програм регулювання потужністю енергоблока:

1) Програма з постійною середньою температурою  $t_{cp}$  теплоносія 1-го контуру:

Переваги: найбільш сприятливі умови для роботи обладнання першого контуру; можливість регулювання реактора через температурний ефект реактивності; стабільність поля енерговиділення.

Недоліки: збільшення тиску пари у другому контурі у разі зниження потужності енергоблока, що потребує проектування парогенераторів і головних паропроводів для роботи з тиском, що перевищує номінальне значення.

2) Програма з постійним тиском пари у другому контурі:

Переваги: найбільш сприятливі умови для роботи парогенеруючого обладнання другого контуру; можливість використовувати у номінальному режимі більш високі параметри перед турбіною.

Недоліки: через зміну величини середньої температури теплоносія у першому контурі, виникає потреба у компенсаторі тиску збільшених розмірів; збільшені температурні напруги в корпусі ядерного реактора, а також у оболонках ТВЕЛів; для компенсації зміни реактивності завдяки температурному коефіцієнту потребується вплив на ОР СУЗ, що може привести до зміни поля енерговиділення в активній зоні.

3) Комбінована програма з підтриманням постійного тиску у другому контурі за малих навантажень і постійної середньої температури теплоносія першого контуру за великих навантажень:

Переваги: у маневрових режимах енергоблок працює головним чином за постійної температури теплоносія в першому контурі, при цьому тиск пари у другому контурі в разі значних відхилень є в допустимих рамках.

Недоліки: на практиці підтримка постійної температури теплоносія в першому контурі під час маневрування заважка за обмеження дозволеного діапазону зміни тиску в парогенераторі (62–64 бар).

4) Компромісна програма з помірною зміною середньої температури теплоносія в першому



контурі та початкового тиску пари у другому контурі:

Переваги: можливість оптимального вибору параметрів як першого, так і другого контуру.

Недоліки: збільшення тиску пари у другому контурі під час зниження потужності енергоблока, що потребує проектування парогенераторів і головних паропроводів для роботи з тиском, що перевищує номінальне значення; через зміну величини середньої температури теплоносія в першому контурі виникає потреба в компенсаторі тиску збільшених розмірів; збільшені температурні напруги в корпусі ядерного реактора, а також у оболонках ТВЕЛів; для компенсації зміни реактивності завдяки температурному коефіцієнту потребується вплив на ОР СУЗ, що може привести до зміни поля енерговиділення в активній зоні.

Під час аналізу наведених програм для реалізації регулювання потужності енергоблоку була обрана комбінована програма.

Оскільки енергоблок працює у номінальному режимі, його потужність підтримується в діапазоні 80–100% від номіналу.

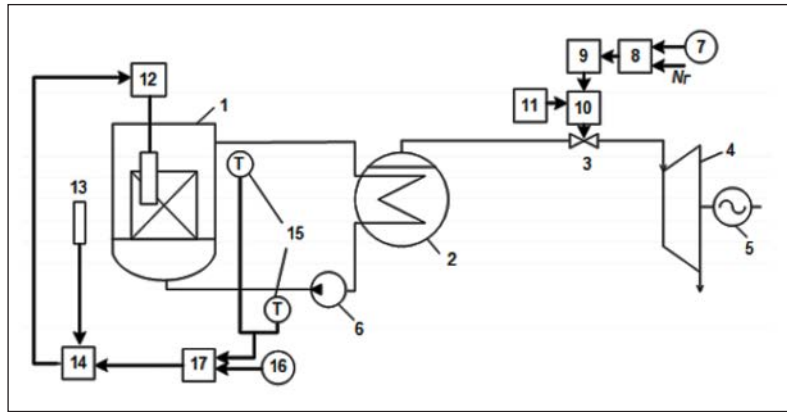
За великих навантажень комбінована програма підтримує постійною середню температуру теплоносія першого контуру, при цьому тиск пари у другому контурі в разі значних відхилень є в допустимих межах.

Схема регулювання потужності енергоблока з ВВЕР-1000 за комбінованою програмою за великих навантажень зображена на рисунку 3.

Для розуміння, як саме функціонує програма регулювання, далі буде описана її робота.

Персонал енергоблока для збільшення/зменшення потужності за допомогою задатчика 7 змінює задане значення і при цьому регулятор потужності енергоблока 8 залежно від сигналу неузгодженості формує управляючу команду, яка передається механізму управління турбіною 9. Механізм управління турбіною 9 за допомогою сервомотора 10 відкриває/закриває регулюючий клапан 3 турбіни 4. Отже, електрична потужність генератора буде змінюватись доти, доки сигнал неузгодженості не буде рівним нулю.

Під час відкриття/закривання регулюючого клапану турбіни тиск пари перед турбіною та в парогенераторі 2 зменшиться/збільшиться, що,



**Рис. 3.** Принципова схема регулювання потужності енергоблока з реактором ВВЕР-1000, яка реалізує комбіновану програму регулювання за великих навантажень: 1 – реактор; 2 – парогенератор; 3 – регулюючий клапан турбіни; 4 – турбіна; 5 – генератор; 6 – головний циркуляційний насос; 7 – задатчик електричної потужності генератора; 8 – регулятор потужності енергоблока; 9 – механізм управління турбіною; 10 – сервомотор; 11 – регулятор частоти обертання турбіни; 12 – приводи регулюючих стрижнів; 13 – іонізаційна камера; 14 – регулятор нейтронної потужності реактора; 15 – датчики температури теплоносія першого контуру; 16 – задатчик середньої температури теплоносія першого контуру; 17 – регулятор середньої температури теплоносія першого контуру

відповідно, приведе до зменшення/збільшення тиску пари та температури насичення в парогенераторі, тобто кількість тепла, що відводиться другим контуром, збільшиться/зменшиться.

Раніше описані процеси призведуть до того, що температура теплоносія першого контуру на виході з парогенератора зменшиться/збільшиться. Разом із нею зменшиться/збільшиться і середня температура теплоносія.

Регулювання нейтронної потужності здійснюється за допомогою автоматичного регулятора потужності (АРП). АРП складається з регулятора середньої температури теплоносія першого контуру 17 та регулятора нейтронної потужності 14. За допомогою задатчика 16 та датчиків 15 середньої температури першого контуру формується сигнал неузгодженості, відповідно, регулятор середньої температури теплоносія першого контуру випрацьовує коригуючий сигнал на регулятор нейтронної потужності.

Далі, регулятор нейтронної потужності змінює положення регулюючих стрижнів 12, що приводить до підтримання постійного значення середньої температури теплоносія першого контуру.

**Висновки.** Розроблено багатозонну модель реактора, яка включає ідентифіковану модель борного регулювання, що дає змогу контролювати зміну технологічних параметрів – теплової потужності, температури теплоносія на вході і

виході АКЗ реактора, температури ТВЕЛів за висотою АКЗ реактора.

На основі багатозонної моделі реактора розроблено модель енергоблока як об'єкта керування, що дало змогу зменшити похибку моделювання

статичних і динамічних властивостей енергоблока.

Було досліджено та порівняно ефективність кожного режиму регулювання потужності енергоблока.

#### Список літератури:

1. Беркович В.М., Горохов В.Ф., Татарніков В.П. Про можливість регулювання потужності енергосистеми за допомогою атомних електростанцій. *Теплоенергетика*. Вип. 6. 19 с.
2. Максимов М.В. Метод оцінки ефективності алгоритму маневру потужністю енергоблоку з реакторами ВВЕР-1000. *Известия вузов. Серія : Ядерна енергетика*. 2008. Вип. 4. С. 128–139.
3. Баскаков В.Є. Алгоритм експлуатації енергоблоку з ВВЕР у підтримці добового балансу потужності енергосистеми. *Праці Одеського політехнічного університету*. 2007. Вип. 2 (28). С. 56–59.
4. Сучасні технології управління : монографія : в 2 т. / за заг. ред. С.В. Купрієнко; Sworld. Одеса : Купрієнко С.В., 2012. 179 с.
5. Медведєв Р.Б., Сангінова О.В. Оптимальне керування процесом зміни концентрації борної кислоти в теплоносії першого контуру АЕС з ВВЕР-1000. *Наукові вісті Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2002. Вип. 2 (22). С. 29–56.
6. Волошкіна О.О., Беглов К.В., Плахотнюк О.А. Дослідження регулятора концентрації рідкого поглинача енергоблоку АЕС. *Автоматизація технологічних і бізнес-процесів*. 2015. Т. 7. Вип. 4. С. 18–24.
7. Кисельова Н.І., Погрібний Я.С., Беглов К.В. Дослідження регулятора потужності з рідким поглиначем для енергоблоку АЕС з ВВЕР-1000. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія : Технічні науки*. 2018. Вип. 29 (68). Ч. 1. № 3. С. 134–140.

#### Martyniuk E.A., Beglov K.V. SIMULATION ASR OF POWER OF THE POWER UNIT OF THE NPP WITH VVER-1000 IN MODE “K”

*The WWER-1000 reactor unit is an independent part of a nuclear power plant, which is a technological complex for the production of electricity by using the energy released during a controlled nuclear reaction. The unit operates on a grid with a large number of electricity consumers.*

*The dynamic processes in the generator are virtually inert, so the electrical power delivered to the grid is equal to the mechanical energy on the turbine rotor. The main task of power system regulation is to produce electricity in exact accordance with continuously varying consumption.*

*There is a discrepancy between the generation and consumption of electricity during the daily cycle in the Ukrainian grid, and the total proportion of installations designed to regulate the load of the grid is very small, so it is urgent to adapt the operating units of nuclear power plants to new specific conditions by creating an automated system for managing power plants modes. All Ukrainian nuclear power plants with VVER-1000 are operated in the power unit stabilization mode at the set level, although the equipment of the first circuit permits operation in the power maneuvering modes.*

*High reliability and safety of the unit are the basic requirements that are required when operating the unit in a maneuverable mode. The key to reliable and safe operation of the unit is the stability of the reactor during perturbations, both during operation at a constant load level and in maneuver mode.*

*The automatic power controller is an integral part of the power unit's power management system and is designed to maintain reactor power according to the load of the turbine generator.*

*Currently, the control of the power of the unit with reactors VVER is carried out precisely with the help of an automatic reactor power regulator (ARP) and a turbine controller (RT). The reactor power controller provides the following operating modes:*

- mode of astatic support of thermal parameter (steam pressure in front of turbine) influence on reactor (T);
- Astatic Neutron Power (H) mode;
- mode of maintenance of the thermal parameter in the compromise program influence on the reactor (K);
- conservative mode of maintaining the thermal parameter by influencing the reactor (C).

*The combined (compromise) control program of the VVER-1000 units is designed to take advantage of other programs. The control program with a constant average coolant temperature in the first circuit is most favorable for the equipment of the first circuit, and the control program with a constant initial steam pressure in the second circuit for the steam generating equipment and steam pipelines of the second circuit. The desire to make the most of the benefits of each of these regulatory programs, mitigating their weaknesses whenever possible, has led to the use in some cases of combined regulation as a compromise solution.*

**Key words:** NPP, energy, automatic power controller, operating modes, combined adjustment program.

УДК 620.9 (470.21)  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/37>

**Павлов Г.О.**  
АТ «МОТОР СІЧ»

**Кулагін Д.О.**  
Національний університет «Запорізька політехніка»

## ОЦІНКА ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ МАЛИХ РІЧОК УКРАЇНИ ТА СТАНУ І ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

*Метою статті є визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок України, а також охарактеризування стану малої гідроенергетики та визначення перспективних напрямків її розвитку на підставі аналізу вітчизняної літератури присвяченій гідроенергетиці України.*

*Дослідження у роботі виконувалось морфологічним методом та методом експертних оцінок. У результаті проведеного дослідження було виявлено, що для переважної більшості мікро- та міні гідроелектростанцій, які експлуатуються на території України, характерний низький коефіцієнт використання, значення якого не перевищує 0,21, тому для таких малих та мікро гідроелектростанцій характерний піковий режим роботи.*

*Було проаналізовано прогнозові показники збільшення частки малої гідроенергетики у енергетичному балансі України, які наводились у літературі, в результаті чого встановлено, що станом на 2018 рік реальний приріст частки склав всього 6,05% від прогнозованого, із врахуванням, що середнє значення щорічного приросту частки малої гідроенергетики в енергетичному балансі України складає 2,33%. Також визначенні напрями розвитку малої гідроенергетики, одним із яких є використання гідроенергетичних ресурсів рідких відходів виробництва.*

*Новизна проведеного дослідження у роботі полягає у визначенні середнього значення щорічного темпу приросту частки малої гідроенергетики у енергетичному балансі України, який складає 2,33%, та у аналізі прогнозних показників, які характеризують загальний розвиток малої гідроенергетики. Також запропоновано методику виконання оцінки ефективності роботи міні та мікро гідроелектростанцій.*

*Практична значимість проведеного дослідження у роботі полягає в проведенні аналізу літературних джерел, за результатом яких було встановлено, що із врахуванням особливостей законодавства, та нерівномірності розподілу гідроенергетичного потенціалу по території України, єдиним перспективним напрямком розвитку малої гідроенергетики є використання гідроенергетичного потенціалу рідких відходів виробництва.*

**Ключові слова:** *потужність, мала річка, гідроенергетичний потенціал, гідроенергетика, генерація.*

**Постановка проблеми.** Гідроенергетичний потенціал малих річок України використовується у межах 6%, а щорічний приріст частки малої гідроенергетики у енергетичному балансі України не більший за 3%. Відомо, що використання гідроенергетичного потенціалу малих річок у країнах Європи складає 95–98%. При порівнянні стану малої гідроенергетики країн Європи з її станом в Україні можна зробити висновок, що у першу чергу, щоб досягти європейських показників у освоєнні гідроенергетичного потенціалу, необхідно вдосконалювати законодавчу та нормативно-технічну бази у сфері розробки, виготовлення (будівництва) та експлуатації об'єктів, які використовують нетрадиційні джерела енергії, і об'єктів малої гідроенергетики зокрема [1, с. 6].

Із врахуванням нерівномірності розподілу гідроенергетичного потенціалу по території України, а також того, що процес законодавчого регулювання достатньо тривалий, доречно шукати також і альтернативні шляхи розвитку малої гідроенергетики. Крім того, у літературних джерелах не була подана оцінка прогнозованими показникам розвитку малої гідроенергетики України, які обговорювалися у літературі раніше, аналіз яких у свою чергу дасть змогу оцінити достовірність тих чи інших прогнозів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемою оцінки гідроенергетичного потенціалу малих річок України, аналізом стану та розгляду перспектив розвитку малої гідроенергетики займалися такі дослідники: Р.Б. Гаврилюк,



О.М. Суходоля, А. Карамушка, С.С. Поп, П.Ф. Васько, О.Г. Дегтяренко, Ю.С. Власюк, А.В. Мороз, Д.В. Стефанишин, О.Г. Ободовський та інші, у працях яких вищенаведені теми були розкриті у достатньому об'ємі, проте у працях цих авторів недостатньо висвітлена тема напрямів розвитку малої гідроенергетики, а також не приділена увага аналізу прогнозованих показників її темпу розвитку, аналізу режимів роботи гідротехнічного обладнання.

**Постановка завдання** полягає у визначенні гідроенергетичного потенціалу малих річок України; оцінці стану малої гідроенергетики України на сьогоднішній день на підставі аналізу прогнозованих показників за попередні роки та дослідження режиму роботи діючих МГЕС на території України та визначення перспективного напрямку розвитку малої гідроенергетики України.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В Україні налічується понад 63 029 тис. малих річок із загальною протяжністю 185,8 тис. км, які у своїй більшості відносяться до басейнів Вісли, Дунаю, Дністра, Південного Бугу та Дніпра [2, с. 81], серед яких 93% (60 тис.) є дуже малими [3, с. 59]. Економічно обґрунтований енергетичний потенціал річкової системи України складає близько 11 млрд. кВт [1, с. 1; 2, с. 2; 4, с. 7], серед якого 3,75 млрд кВт припадає на малі річки, освоєння яких дасть змогу економити до 1,3 млн ТУП [5 с. 105; 3, с. 94; 6, с. 81] із врахування того, що гідроенергетичний потенціал малих річок України станом на 2005 використовується лише на 3% [5, с. 106], проте у 2014 році використання гідроенергетичного потенціалу зросло до 5,6% [6, с. 113].

Крім того, за умови відновлення недіючих МГЕС, економічно обґрунтований гідроенергетичний потенціал малих річок України можна збільшити до 8,2 млрд кВт на рік, причому загальний енергетичний потенціал малих річок може складати до 12,501 млрд кВт на рік, з урахуванням тенденції до зниження гідроенергетичного потенціалу малих річок, яку пов'язують зі зміною клімату. Станом на 2070 рік в Україні очікується зниження гідроенергетичного потенціалу малих річок на 35% [2, с. 18; 7, с. 113; 3, с. 135].

Як один із шляхів збільшення гідроенергетичного потенціалу малих річок України можна розглядати можливість вбудови гідрогенераторів у конструктив покинутих водяних млинів з метою використання їх у якості МГЕС тощо [3, с. 128], що дасть змогу зменшити негативний вплив глобального потепління на гідроенергетичний потенціал малих річок [6, с. 84]. Значна

розбіжність в оцінках гідроенергетичного потенціалу пояснюється відсутністю науково-практичних досліджень у сфері малої гідроенергетики, на що також акцентується увага у [3, с. 130].

Найбільша кількість малих річок сконцентрована в західній частині України, крім того для заходу України характерний більш вологий клімат, а із врахуванням систематичної вирубки лісу, більшість територій західної України кожного року потерпає від паводків, з якими у свою чергу можна боротися завдяки розробці гребель на річках та водосховищ поблизу них [2, с. 105]. Тому як варіант боротьби з паводками можна розглядати будівництво МГЕС греблевої конструкції на малих річках. Крім того, у західній Україні сконцентрована найбільша кількість малих річок (31 тис.), що відповідає 38% всього енергетичного потенціалу стоку малих річок в Україні [8, с. 73] із питомим значенням гідроенергетичного потенціалу у 0,11 млрд кВт годин, який припадає на один квадратний кілометр території [9, с. 5], який у свою чергу є найбільшим в Україні.

Про значний гідроенергетичний потенціал йшлося у [9, с. 75; 10, с. 5], з яких можна зробити висновок, що розвиток малої гідроенергетики більш важливий для західних регіонів України. Реалізація річкового гідроенергетичного потенціалу Закарпатської області дасть змогу забезпечити електропостачання віддалених гірських регіонів західних регіонів України, у яких проблематичне встановлювання мереж централізованого електропостачання, та будівництво і експлуатація устаткування, яке генерує електроенергію з традиційних джерел енергії (теплові електростанції, ГЕС тощо), що пов'язано із кліматичними та географічними умовами, які склалися у західній частині України.

Автор матеріалу, викладеного у [9, с. 75; 10, с. 75] наголошує, що попри низький розвиток виробничої промисловості Закарпатська область є на сьогодні повністю енергетично залежною, а саме 90% потреб у електричній енергії якої забезпечує Бурштинська ТЕС [3, с. 198], тобто у регіоні споживання електроенергії більш інтенсивне, ніж її генерація. Причому Закарпатська область споживає в середньому всього 1% від річної кількості електроенергії генерованої енергосистемою України [3, с. 201].

*Сучасний стан малої гідроенергетики України.* Для повного уявлення сучасного стану малої гідроенергетики варто зазначити, що використання МГЕС у якості централізованого джерела електричної енергії на території сучас-



ної України почалося ще на початку 20-х років ХХ сторіччя, на той період в Україні вже налічувалося 84 МГЕС із сталою потужністю у 4 МВт, наприкінці 20-х років – 150 МГЕС із сталою потужністю 8,4 МВт. Станом на початок 50-х років на території сучасної України знаходилися в експлуатації 956 МГЕС [2, с. 91; 6, с. 105; 9, с. 2; 12, с. 59]. Також в цей період існувало серійне виробництво близько 300 типорозмірів гідротурбін, розрахованих на потік потужністю у 30–250 кВт [16, с. 97], але у той період спостерігався розвиток теплової та атомної енергетики. Крім того у [2, с. 90] зазначалось, що тариф на електроенергію, вироблену на ТЕЦ, ТЕС АЕС, в той час зменшувався у зв'язку зі зниженням вартості первинних енергоресурсів для них, а тариф на електроенергію, вироблену з МГЕС, залишався незмінним, що стало одним із факторів, який сприяв зниженню вартості утримання складників електричної мережі (ЛЕП, підстанцій тощо), тому згодом почали відмовлятися від застосування МГЕС у якості централізованого джерела живлення. Як наслідок в Україні станом на початок 90-х років діючих МГЕС нараховувалось лише 19 станцій.

В Україні, починаючи з середини 90-х років, спостерігається щорічний приріст сталої потужності МГЕС в середньому на 2,33%, а загальна кількість МГЕС станом на 2015 рік складає 105 шт. із загальною сталою потужністю у 85 МВт [16, с. 91], з часткою генерації електроенергії у енергетичній системі України у 0,1% [24, с. 55; 25, с. 1], з урахуванням того, що станом на 2018 рік в Україні рівень використання гідроенергетичного потенціалу є найнижчим у світі [14, с. 6; 15, с. 7].

Загальна кількість МГЕС, які можуть бути відновлені, складає 131 шт., їх відновлення може збільшити сталу потужність МГЕС на 24 МВт [17, с. 46], тобто на 68,6% від існуючої. Гідроенергетичний потенціал малих річок обмежений, і необмежено збільшувати генерацію електроенергії з нього неможливо, тому частку МГЕС в енергосистемі України неможливо постійно збільшувати, і вона залишатиметься на певному рівні і буде незначною. Оскільки максимально можлива середня потужність діючої МГЕС в Україні може складати приблизно 998 кВт, а середня потужність одного блока АЕС, які експлуатуються в Україні, складає 1 ГВт, що вказує на мізерність частки малої гідроенергетики в енергетичній системі України та незамінність традиційних джерел енергії, але кожного року проводиться будівництво та реконструкція МГЕС, а також введення їх в експлуатацію завдяки розробленій державній

стратегії в Україні розвитку малої гідроенергетики, впровадження якої також пов'язане зі здоров'ям первинних енергоресурсів для теплових та атомних електростанцій [18, с. 77].

Згідно з [19, с. 62] у Вінницькій області у експлуатації знаходиться 17 МГЕС, що відповідає 26% від всієї сталої потужності МГЕС України. Позитивні тенденції у розвитку малої гідроенергетики тут пов'язані із рішенням керівництва «Вінницяобленерго» віддати, як діючі, так і виведені з експлуатації МГЕС в оренду енергопостачальним компаніям [20, с. 125]. 80% МГЕС залишаються виведеними з експлуатації, а їх технічний стан характеризується значним рівнем зношеності гідромеханічного та електротехнічного обладнання, наявністю пошкоджень у несучих конструкціях.

Крім того, в Україні конструкції МГЕС, що вийшли з експлуатації, повністю не демонтуються і можуть використовуватись не за призначенням, демонтується лише електротехнічне обладнання. Руйнування несучих конструкцій МГЕС призводить до порушення ландшафту берегів річок, а їх дериваційні канали засипаються сміттям або забудовуються [2, с. 91; 6, с. 84]. Крім того, на довкілля можуть мати негативний вплив також режими роботи МГЕС. З [15, с. 108], випливає, що для МГЕС, які експлуатуються на території України, характерний піковий та напівопіковий режими роботи (режим робіт генераторів більшості МГЕС наближений до холостого ходу), які мають негативний вплив не тільки на довкілля, але і на експлуатаційні характеристики самих МГЕС.

Станом на 2015 рік коефіцієнт завантаження МГЕС склав 0,207, який є найнижчим у світі та свідчить про низьку ефективність використання МГЕС. Крім того, загальні негативні тенденції у малій гідроенергетиці, окрім неефективного використання МГЕС, можуть бути пов'язані з тим, що на території України в останній час МГЕС будуються дериваційного типу з метою збільшення коефіцієнту використання МГЕС (для МГЕС дериваційного типу коефіцієнт завантаження може складати 0,57), оскільки у цьому випадку для експлуатації МГЕС будуються дренажні споруди, які у свою чергу можуть послабити потік річки і призвести до її обміління [15, с. 109]. З цього можна зробити висновок, що зусилля, які прикладають Міністерство вугільної промисловості, окремих ентузіастів забезпечують хоча і повільний, але впевнений розвиток малої гідроенергетики, тому діяльність асоціації «Укргідроенерго» одним із основних напрямів діяльності якої є координація

розвитку малої гідроенергетики в Україні згідно зі ст. 4 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» на сьогодні є малоефективною [20, с. 125].

Згідно з [2, с. 92] причиною низького темпу розвитку малої гідроенергетики можна пов'язати з низькою ефективністю використання МГЕС у деяких секторах господарювання і з несприятливим інвестиційним кліматом у нашій державі, а також із відсутністю методик техніко-економічного обґрунтування, у яких могли враховуватись статистично значимі екологічні та соціальні фактори малої енергетики, які мають негативний або позитивний вплив на інвестиційну привабливість малої енергетики. Низький темп розвитку малої гідроенергетики можна пов'язати також із неефективністю розроблених та впроваджених програм Міністерством енергетики та вугільної промисловості, на яку законодавчо покладена відповідальність за розвиток малої гідроенергетики. Із вищесказаного випливає, що для розробки адекватної моделі необхідно детально розглянути напрями та перспективи розвитку малої гідроенергетики. Проте на сьогодні згідно з [21, с. 1] на законодавчому рівні врегульовано приватизацію МГЕС, значення зеленого тарифу для електроенергії виробленої МГЕС, пільгова політика стосовно оподаткування та приєднання до електричної мережі. Також законодавчо урегульована пільгова політика на розмитнення деяких конструктивних частин МГЕС [22, с. 1].

*Перспективи розвитку малої гідроенергетики України.* У [23, с. 96] йдеться про більшу економічну ефективність електричних мікро мереж, утворених шляхом об'єднання діючих МГЕС у єдину енергосистему порівняно з централізованою системою електропостачання. Це твердження можна обґрунтувати тим, що в енергосистемі, виконаній із МГЕС, можуть застосовуватись компоненти, які мають значну капіталоемність. Крім того, встановлення МГЕС потребує спорудження менших гідротехнічних споруд порівняно із ГЕС. Також у [17, с. 46; 24, с. 97] приведений аналіз розрахункових даних, який свідчить про можливість використання МГЕС у якості безперебійного джерела живлення. Незважаючи на переваги малої гідроенергетики, на сьогодні частка малої гідроенергетики в енергетичному балансі України є найменшою. Тому з урахуванням всіх переваг використання МГЕС у якості централізованого чи безперебійного джерела живлення та матеріалу, наведеного у [17, с. 47, 48; 25, с. 97] можна зробити висновок,

що розвиток малої гідроенергетики України повинен стимулюватися на законодавчому рівні, що в свою чергу повинно супроводжуватися значним доопрацюванням нормативно-правової бази в цій сфері, оскільки існує законодавство на сьогодні малоефективне, про що також говориться у [7, с. 114; 8, с. 73; 20, с. 125; 26, с. 89].

Згідно з [18, с. 76] одним із таких прикладів є Закон України «Про електроенергетику», у якому припускалося, що на розвиток нетрадиційної енергетики в Україні можна виділяти кошти з джерел сумісного фінансування, проте не були в ньому вказані механізми фінансування із сумісних джерел фінансування [27, с. 60]. Законодавчо можна врегулювати тільки деякі аспекти використання МГЕС, для забезпечення сталого розвитку малої енергетики в Україні необхідно розробити спеціальну соціально-економічну програму, яка буде орієнтована не тільки на фінансову підтримку зі сторони держави, але і на створення механізмів використання МГЕС, в яких будуть враховуватись всі переваги використання МГЕС у якості не тільки як автономного джерела електричної енергії, але і як джерела електричної енергії для локальної мережі, економічна ефективність і доцільність проведення реконструкції на недіючих МГЕС і введення їх в експлуатацію.

Розвинута мала гідроенергетика в Україні може забезпечити безперебійне електропостачання віддалених населених пунктів і частково вирішити проблему високого рівня безробіття у сільській місцевості, а також проблему постійних паводків у західних регіонах України і може забезпечити часткову режимну керуваність енергосистеми України, необхідну для паралельної роботи із європейською енергосистемою, з метою подальшої реалізації електроенергії європейським країнам. Мала гідроенергетика має вплив як на надійність електропостачання, так і на соціальний розвиток у сільських районах. Реконструкція діючих та відновлення недіючих МГЕС з подальшим введенням їх в експлуатацію, а також спорудження нових МГЕС, використання енергії водотоків централізованого водопостачання, та технічного водовідведення може частково забезпечити розвиток малої гідроенергетики. Також передбачалося і фондове фінансування для розвитку малої гідроенергетики. У листі від 22 липня 2003 року «Про фінансування будівництва малих електростанцій, джерел комбінованого виробництва електричної енергії» оговорювалося створення спеціального фонду для фінансування малої гідроенергетики, однак він не створений і

до сьогодні. Проте у [25, с. 94] зазначалось, що згідно з даними Державного комітету з питань енергозбереження, програма розвитку малої гідроенергетики передбачає, реконструкцію та оновлення виведених з експлуатації та діючих МГЕС, будівництво нових МГЕС у віддалених районах з децентралізованим електропостачанням та в регіонах з достатнім значенням напору водосховищ та водотоків, не залежно від типу електропостачання.

У праці [2, с. 95] в табличному вигляді наведені дані енергетичних показників оптимального сценарію відродження та розвитку малої гідроенергетики, згідно з якими протягом 2015–2020 років сумарна потужність всіх МГЕС повинна знаходитись в проміжку 1199–2258 МВт. Проте у [4, с. 6; 2, с. 49] передбачається, що до 2025 року буде введено в експлуатацію додатково як малих, так і великих ГЕС сумарною потужністю 3,3 ГВт, також планується будівництво низьконапірних та дериваційних високо напірних МГЕС на р. Дністрі та на верхів'ях р. Тиси. Заходи, про які сказано вище, теоретично повинні збільшити сталу потужність всіх гідроенергетичних об'єктів України до 13 ГВт [19, с. 2, 28, с. 1]. Проте, при виконанні інтерполяції даних, наведених у [2, с. 95], сумарна потужність МГЕС, які експлуатуватимуться на території України у 2018 році складатиме 1835 МВт. На сьогодні сумарна потужність МГЕС, які знаходяться в експлуатації, складає лише 111 МВт, що становить лише 6,05% від прогнозованого значення сумарної потужності, причому у 2005 році сумарна потужність діючих МГЕС складала 106 МВт, тобто протягом 2005 – 2017 років сумарна потужність МГЕС зросла на 4,51% [8, с. 72].

У [14, с. 106] зазначалось, що ключовими проблемами, які заважають сталому розвитку малої гідроенергетики України, є невеликий гідроенергетичний потенціал, який припадає на одиницю площі території України, так і висока капітало- та матеріалоемність МГЕС, які встановлюються або реконструюються, а також низький коефіцієнт завантаження МГЕС [15, с. 105, 106]. Збільшення кількості введених в експлуатацію МГЕС має менш відчутний вплив на їх сумарну потужність у порівнянні з країнами Європи, що вказує на низьку ефективність використання потоку водою і підтверджує припущення, що основною проблемою при проектуванні МГЕС є правильність вибору її конструктивного виконання, згідно з умовами, в яких вона буде експлуатуватися. З цього можна зробити висновок, що при складенні прогнозів розвитку гідроенергетики, наве-

дених у розглянутій літературі не було враховано необхідної кількості факторів, які мають вплив на розвиток малої гідроенергетики. Політична та економічна ситуація в Україні може кардинально змінюватись будь-якої миті, що в свою чергу може впливати не найкращим чином на інвестиційну привабливість багатьох галузей в Україні, тому скласти об'єктивний та наближений до реальності прогноз для будь-чого в Україні майже неможливо [25, с. 60]. Враховуючи результати прогнозу, наведені у [2, с. 95], можна зробити припущення, що розвиток малої гідроенергетики в Україні є, але він проходить дуже повільно і за найгіршим сценарієм.

У [29, с. 68] описується екологічний стан річки Рось та П. Буг, як основну характеристику якого приводять ці площі освоєних земельних ділянок під сільськогосподарські угіддя. Біля берегів річок Рось та П. Буг освоєність земель під сільськогосподарські угіддя складає 75% та 80% відповідно, з чого можна зробити висновок, що у регіонах України з розвинутим сільським господарством для реалізації проектів малої гідроенергетики доцільніше буде використовувати у якості ПДЕ не енергію руху річок, а інші типи водотоків із метою уникнення нецільового використання земель сільськогосподарського призначення, про що також говориться у [29, с. 70]. У [30, с. 57] йшлося про складнощі спорудження та експлуатації МГЕС, які пов'язані з існуючим законодавством, оскільки більшість берегів річок використовуються не тільки у якості угідь, але ще використовуються у рекреаційних цілях. Крім того, річки можуть протікати через заповідні або природоохоронні зони, використання яких законодавчо врегульовано, тому можна припустити, що біля більшої частини узбережжя річок в Україні встановлення та експлуатація МГЕС заборонена, що вкотре підтверджує ту думку, що МГЕС краще споруджувати біля промислового об'єкту.

Відомо, що станом на 2017 рік у річкову систему України підприємствами – забруднювачами було скинуто 3140 млн куб м. стічних вод [31, с. 1], гідроенергетичний потенціал яких, згідно із розрахунками, складатиме близько 1,228 млрд кВт на рік, що складає 37,21% від економічно обґрунтованого гідроенергетичного потенціалу малих річок України. Освоєння даного потенціалу дасть змогу щороку економити 483730 т.у.п додатково та дасть змогу зменшити споживання електричної енергії на 1 кВт кожним виробничим підприємством на території України. При експлуатації МГЕС, яка використовує стічні води та рідкі викиди виробництва у якості первинного джерела



енергії, виключені наступні негативні чинники: 1) виключена можливість затоплення земель рекреаційного, заповідного і сільськогосподарського призначення, нецільове використання яких повинно бути узгоджено із місцевими органами влади; 2) необхідність використання гідроенергетичного потенціалу водойм, завдяки чому виключений вплив на їх гідробіологічний режим (вплив на флору та фауну); 3) менш виражена нерегульованість потоку робочого тіла порівняно з водоймами, а у деяких випадках його можна регулювати, завдяки чому можна досягти ще більшої маневреності роботи та збільшити коефіцієнт завантаження до 0,9; 4) виключені наслідки для довкілля при руйнуванні МГЕС, 5) виключення проведення капіталоємких підготовчих робіт для встановлення МГЕС, які використовують енергію потоку стічних вод порівняно з тими МГЕС, які встановлюються на водоймах. Тому освоєння гідроенергетичного потенціалу рідких відходів, які скидаються промисловими об'єктами, для забезпечення власних потреб цих об'єктів можна розглядати як перспективний напрям розвитку малої енергетики України.

**Висновки.** У статті виконаний короткий огляд літератури, присвяченої аналізу гідроенергетичного потенціалу малих річок України, сучасному стану та перспективам розвитку малої енергетики України.

При дослідженні літератури, присвяченій аналізу гідроенергетичного потенціалу малих річок, виявлено значні розбіжності в його оцінці, оскільки аналіз гідроенергетичного потенціалу виконувався аналітично, а практично майже ніяк не досліджувався, тому деякі фактори які мають суттєвий вплив на використання гідроенергетичного потенціалу малих річок могли не враховуватись. Причому ці фактори можуть вплинути на оцінку гідроенергетичного потенціалу малих річок як позитивно, так і негативно. При подальшому аналізі літератури виявлено, що гідроенергетичний потенціал малих річок рівнинних регіонів України досліджений недостатньо.

Стрімкий розвиток малої гідроенергетики в Україні розпочався у середині 90-х років 20-го століття із середнім приростом загальної встановленої потужності МГЕС у 2,33%, а відновлення виведених з ладу МГЕС дасть змогу збільшити

встановлену потужність МГЕС, які експлуатуються на території України, більш як у два рази.

На сьогодні стрімкий розвиток малої гідроенергетики спостерігається тільки на території Вінницької області, на якій експлуатується МГЕС зі сталою потужністю у 26% від сталої потужності загальної кількості МГЕС, які експлуатуються на території України, що на сам перед пов'язано із врегулюванням використання об'єктів малої гідроенергетики у Вінницькій області на законодавчому рівні.

Також аналіз джерел показав, що в Україні об'єкти малої гідроенергетики мають низькі експлуатаційні показники, які пов'язані з перевантаженістю під час їх роботи (переважна більшість МГЕС які експлуатуються на території України працюють у піковому та напівпіковому режимах, оскільки коефіцієнт завантаження МГЕС не перевищує 0,21), а також при будівництві чи реконструкції виведених з ладу МГЕС нерідко будівельні та експлуатаційні компанії нехтують будівельними та екологічними нормами. Також спостерігається недосконалість нормативно-технічної та нормативно-правової бази щодо впровадження та експлуатації об'єктів малої гідроенергетики.

Аналіз джерел показав, що в Україні мала гідроенергетика розвивається, проте дуже повільними темпами. Зростання частки малої гідроенергетики у енергетичному балансі України склало всього 6,05% від прогнозованого значення, про яке було сказано в літературі. Це можна пов'язати із недосконалістю законодавчо-правової та нормативно-технічної баз у цій сфері. Також було встановлено, що виконання локальної електричної мікро мережі, яку можна виконати при електричному з'єднанні МГЕС між собою, у віддаленій сільській місцевості і в гірській зокрема більш економічно вигідно, ніж виконувати електричне живлення споживачів цих регіонів від централізованої електромережі. Крім того, подальший аналіз літератури показав, що найбільшого ефекту як в економічному, так і в екологічному плані можна досягти при спорудженні МГЕС на водоймах поблизу промислових об'єктів або безпосередньо на них із подальшим використанням рідких відходів виробництва у якості робочого тіла для гідротехнічного обладнання МГЕС з метою генерації електроенергії.

#### Список літератури:

1. Електронна версія Національного атласу України. Інститут географії НАНУ // ТОВ «Інтелектуальні Системи ГЕО», українське відділення Світового центру даних при КПП. URL: <http://wdc.org.ua/atlas/default.html> (дата звернення 25.10.2019).



2. Суходоля О.М., Сидоренко А.А., Бегун С.В., Білуха А.А. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроенергетики України. Національний інститут стратегічних досліджень. Серія: «Національна безпека». 2014. Вип. 8., ДП «НВЦ «Пріоритети», 112 с.
3. Гаврилук Р.Б., Веремійчик Г.К., Гариленко О.П., Гулевець Д.В., Тарасова О.Г., Савченко С.А. Гідроенергетичний потенціал річок України: розвінчання міфів. Національний екологічний центр України. Видавництво «Фенікс», 2018. 32 с.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18 серпня 2017 р. № 605/2017/ Кабінет Міністрів України. 2017. № 605. 66 с.
5. Вихраев Ю., Карамушка А., Никиторович А., Рябошапка В. Малые ГЭС: настоящее и будущее. Анализ состояния и перспективы развития малой гидроэнергетики в Украине. *Энергетическая политика Украины*. 2005. № 6. С. 90–96.
6. Васько П.Ф., Мороз А.В. Стан та потенціал малої гідроенергетики України. *Відновлювана енергетика*. Серія: *гідроенергетика*. 2014. № 3. С. 81–86.
7. Дегтяренко О.Г., Шашков С.В. Еколого-економічна доцільність реалізації проектів будівництва та відновлення об'єктів малої гідроенергетики. *Міжнародна та національна економічна безпека*. 2015. № 1(4). С. 112–117.
8. Карамушка А.О. Концепции государственной социально-экономической программы развития малой гидроэнергетики Украины. *Энергетическая политика Украины*. 2005. № 7-8. С. 71–75.
9. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії. URL: <http://saee.gov.ua/sites/default/files/Kudria.pdf> (дата звернення 25.10.2019).
10. Поп С.С. Гідроенергетичний потенціал Закарпаття: стан та перспективи його раціонального використання – URL: <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib> (дана звернення 25.10.2019).
11. Цвєлих Є.М. Трансформація енергетичної системи Закарпатської області в умовах енергозалежності. *Економічна та соціальна географія*. 2014. вип. 2 (70). С. 196–205.
12. Власюк Ю.С., Стефанишин Д.В. Про проблеми та перспективи малої гідроенергетики в Україні. *Математичне моделювання в економіці*. 2018. № 1. С. 126–138.
13. Мороз А.В. Етапи становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України. *Відновлювана енергетика*. 2013. № 4. С. 59–63.
14. Стефанишин Д.В. Проблеми та перспективи гідроакумуляції в контексті раціонального природокористування та екологізації гідроенергетики в Україні. *Математичне моделювання в економіці*. 2018. №3. С. 101–113.
15. Стефанишин Д.В. Деякі критичні зауваження та пропозиції щодо підтримки сталого розвитку гідроенергетики в Україні. *Гідроенергетика України*. 2018. № 1–2. С. 6–12.
16. Ободовський О.Г., Рахматулліна Е.Р., Тимуляк Л.М. Коротка історія та сучасний стан малої гідроенергетики на рівнинних річках України. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2016. Т. 4(43). С. 94–106.
17. Рябенко О.А., Лутаєв В.В. Сучасні тенденції в будівництві малих ГЕС в Україні. *Гідроенергетика України*. 2012. Вип. 2. С. 45–49.
18. Голикова С. Правовые аспекты развития малой гидроэнергетики Украины. *Энергетическая политика Украины*. 2005. № 6. С. 76–79.
19. Мороз А.В. Етапи становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України. *Відновлювальна енергетика*. 2013. Вип. 4. С. 59–63.
20. Малюк Б.В. Мала гідроенергетика як перспективний напрямок розвитку альтернативної енергетики на регіональному рівні. *Науковий вісник Ужгородського університету*: Серія: *Економіка*. УжНУ «Говерла». 2010. Вип. 30. С. 123–132.
21. Закон України «Про електроенергетику». *Верховна Рада України*. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80> (дата звернення 25. 10. 2019).
22. Постанова Кабінету Міністрів України №444 від 14.05.2008. *Верховна Рада України*. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/444-2008-%D0%BF> (дата звернення 25. 10. 2019).
23. Нєродик М.В. Перспективні напрямки розвитку гідроенергетики України. *Студентський вісник національного університету водного господарства та природокористування*. 2014. Вип. 2(2). С. 95–97.
24. Дегтяренко О.Г., Шашков С.В. Еколого-економічна доцільність реалізації проектів будівництва та відновлення об'єктів малої енергетики. *Науковий вісник МНУ імені В. О. Сухомлинського*. Серія: *Економічні науки*. 2016. № 1(4). С. 112–117.
25. Дегтяренко О.Г., Шашков С.В. Доцільність та перспективи розвитку малої гідроенергетики в Україні. *Вісник Сумського державного університету*. Серія: *Економіка*. 2010. № 1. С. 89–96.
26. Васько П.Ф., Васько В.П., Ібрагімова М.Р. Мала гідроенергетика в структурі електроенергетичної галузі України. *Відновлювана енергетика*. Серія: *Гідроенергетика*. 2015. № 3. С. 53–61.

27. Відновлювана енергетика, сучасний стан. *Держенергоефективності України*. URL: <http://saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvanaenerhetyka/suchasny-stan> (дата звернення 25. 10. 2019).

28. Аналітична довідка до засідання круглого столу на тему: «Проблеми будівництва малих ГЕС у гірській місцевості». *Природа України*. – Режим URL: <http://pryroda.in.ua/miniges/analytychna-dovidka-do-zasidannya-kruhloho-stolu-na-temu-problemy-budivnytstvamalyh-hes-u-hirskiy-mistsevosti/> (дата звернення 25. 10. 2019).

29. Яцик А.В., Томільцева А.І., Пашенюк І.А. Екологічні аспекти вирішення розвитку малої гідроенергетики в умовах глобального потепління на прикладі річок південний Буг та Рось. *Гідроенергетика України*. 2016. Вип. 1(2). С. 67–70.

30. Тарасенко М.Г., Зінь М.М. Шляхи прискорення темпів розвитку малої гідроенергетики України. *Вісник КнНУ імені Михайла Остроградського*. 2014. Вип. 4(87). С. 56–61.

31. Про забруднення водних ресурсів зворотними водами у цифрах за останній період. *Екобизнес-груп*. URL: <http://ecolog-ua.com/news/pro-zabrudnennya-vodnyh-resursiv-zvortotnymy-vodamy-u-cyfrah-za-ostanniyy-period> (дата звернення 25. 10. 2019).

### **Pavlov H.O., Kulahin D.O. ASSESSMENT OF THE SMALL RIVER HYDRO-ENERGY POTENTIAL OF UKRAINE, ASSESSMENT OF THE POTENTIAL AND THE PROSPECTS OF SMALL HYDRO-ENERGY DEVELOPMENT**

*The purpose of the article is to determine the hydropower potential of small rivers in Ukraine, well as characterization of the state of small hydropower and definition of promising directions of its development on the basis of analysis of national literature on hydropower in Ukraine.*

*The studies in this work were conducted by morphological and peer review methods. The study found that, for the vast majority of micro and mini hydropower plants operating in Ukraine, characterized by low utilization rate, a value who not exceeding 0,21, therefore, small and micro hydropower plants are characterized by peak operating conditions. The estimates of the increase in the share of small hydropower in the energy balance of Ukraine, which have been reported in the literature, were analyzed, as a result, it was found that as of 2018, the real growth of the share was only 6.05% of the projected, given that the average value of the annual increase in the share of small hydropower in the energy balance of Ukraine is 2.33%. Directions for the development of small hydropower are also identified, one of which is the use of liquid waste hydropower resources.*

*The novelty of the conducted research in this work is to determine the average value of the annual growth rate of small hydropower in the energy balance of Ukraine, which is 2.33%, and in the analysis of forecasts characterizing the overall development of small hydropower. A method for evaluating the efficiency of mini and micro hydroelectric power plants is also proposed.*

*The practical significance of the research conducted in this paper is to analyze the literature, as a result of which it was found that, taking into account the peculiarities of the legislation, and uneven distribution of hydropower potential across the territory of Ukraine, the only promising direction for the development of small hydropower is to use the hydropower potential of liquid waste of production to generate electricity through mini and micro hydropower.*

**Key words:** power, small river, hydropower potential, hydropower, generation.

УДК 621.314.6  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/38>

**Сівакова О.М.**

Національний університет «Львівська політехніка»

**Федів Є.І.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## СИЛОВІ ВИПРЯМЛЯЧІ СТРУМУ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

*У статті проведено аналіз енергетичної ефективності застосування засобів внутрішньої компенсації реактивної потужності силових керованих випрямлячів струму, які відповідатимуть сучасним вимогам до систем електропостачання. Серед них – заміна елементної бази, яка дає змогу вдосконалити спосіб фазового керування випрямлячами, а також застосування шунтувального діода. Розглянуто два способи фазового керування вентилями: перший – керування запізненням відкриття тиристорів; другий – керування випередженням закривання тиристорів. Застосування повністю керованих тиристорів чи силових транзисторів уможливує роботу в режимах із генерацією реактивної потужності в мережу живлення. Показано, що зменшення рівня споживання реактивної потужності у разі застосування шунтувального діода за першого способу керування не спричинене повертанням у мережу живлення реактивної потужності, запасеної в згладжувальному реакторі. Досліджено вплив шунтувального діода на електромагнітні процеси у випрямлячі за другого способу керування тиристорами. Показано, що причиною зменшення споживання випрямлячем із нульовим діодом реактивної потужності з мережі живлення в режимах із глибоким регулюванням є зменшення кута зсуву першої гармоніки струму на вході випрямляча щодо напруги джерела живлення. У першому способі керування нульовий діод пришвидшує закривання провідних тиристорів, а в другому способі – затримує відкриття тиристорів. В обох випадках це приводить до зближення за фазою синусоїдальної напруги джерела живлення та фундаментального складника струму живлення, що зменшує рівень обміну реактивною потужністю зсуву між випрямлячем і джерелом живлення.*

**Ключові слова:** випрямляч, шунтувальний (нульовий) діод, повністю керований тиристор, реактивна потужність.

**Постановка проблеми.** Важливим структурним елементом в концепції інтелектуальних електричних мереж Smart Grid та Microgrid є активний споживач як дієвий складник вирішення завдання підвищення надійності та ефективності електропостачання. Серед ознак активного споживача виділяють можливість регулювання електроспоживанням, яку асоціюють, перш за все, із забезпечення балансу активної потужності в системі. Водночас актуальним є також завдання забезпечення балансів реактивної потужності оператором розподільної мережі з метою підтримання оптимальних рівнів напруг у вузлах мережі, підвищення запасу стійкості роботи вузлів навантаження тощо [1], яке вирішують, як правило, встановленням у вузлах навантаження джерел реактивної потужності. У цьому плані активна поведінка споживача обмежується встановленням засобів компенсації реактивної потужності (далі – КРП), а на можливостях регулювання рівня споживання реактивної потужності активним споживачем не акцентується.

Суттєвим фактором споживання реактивної потужності вузлами навантаження є наявність в їхньому складі вентильних перетворювачів. Для живлення електроприймачів постійного струму, як правило, використовують силові напівпровідникові випрямлячі струму, виконані на основі напівпровідникових діодів (некерованих) чи силових одноопераційних тиристорів. Силові випрямлячі струму споживають реактивну потужність із мережі змінного струму, що є внутрішньою особливістю перетворювачів струму, оскільки зумовлене переважно специфікою фазового принципу керування одноопераційними напівпровідниковими вентилями.

Найбільш поширеним способом покриття потреби в ресурсі реактивної потужності для таких перетворювачів є застосування конденсаторних батарей, як правило, в складі фільтрокомпенсаторних пристроїв. Такий спосіб компенсації реактивної потужності відносять до класу зовнішньої компенсації. Пристроями зовнішньої компенсації для швидкодіяного регулювання реактивної потужності є статичні тиристорні

компенсатори (далі – СТК) на основі тиристорно-реакторних груп, а останнім часом, СТАТКОМи – універсальні і нині найдосконаліші компенсатори на основі інверторів напруги [1], використання яких через значну вартість найбільш виправдано для потужних систем електропересилання чи відповідальних потужних вузлів навантаження.

Із впровадженням інтелектуальних технологій в електропостачання особливої актуальності набуває спосіб внутрішньої компенсації реактивної потужності електроприймачів, тобто зниження споживання реактивної потужності шляхом змін у самому випрямлячі. Щодо перетворювачів технологічних установок це означає, що властивістю перетворювача повинна бути можливість регулювання рівня споживання з мережі реактивної потужності, залежно від потреб оператора мережі, який забезпечує балансування перетоків потужності. У цьому випадку можна стверджувати, що такий електроприймач набуває ознак активного електроприймача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Є розмаїття схем перетворювачів струму, в яких робота з випередженням за фазою основної гармоніки струму забезпечується додатковими комутуючими конденсаторами. Проте такі перетворювачі зі штучною комутацією вентилів не знайшли широкого практичного застосування через їхню складність, низьку надійність і складну електромагнітну сумісність із мережею живлення. Прикладом технічно нескладного способу внутрішньої компенсації реактивної потужності перетворювачів струму є застосування нульових (шунтувальних) діодів у схемах випрямлячів [2]. Проте він ефективний лише для режимів глибокого регулювання випрямленої напруги і зменшує споживання реактивної потужності лише частково. Іншим відомим способом внутрішньої компенсації реактивної потужності силових напівпровідникових перетворювачів є використання повністю керованих вентилів як елементної бази та спеціального способу їх фазового регулювання. Ідея цього способу щодо випрямлячів струму вперше наведена в [3], а дослідження режимів роботи в [4–6]. У відомих роботах основна увага зосереджена на режимах генерування перетворювачами струму реактивної потужності шляхом відкриття двоопераційних тиристорів за природних моментів часу, а закривання – дочасно керуючим струмом. Недослідженою є ефективність поєднання нульових діодів із фазовим регулюванням двоопераційних тиристорів перетворювачів.

**Постановка завдання.** Метою статті є обґрун-

тування ефективності застосування двоопераційних тиристорів у силовій частині випрямлячів струму та доцільності модернізації силових випрямлячів струму на напівкерованих тиристорах для надання їм властивостей активного електроприймача за їхньою здатністю до внутрішньої компенсації реактивної потужності з можливістю режимів перекомпенсації, що відповідає сучасним тенденціям побудови інтелектуальних систем електропостачання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Насамперед зазначимо, що згідно з [7] під реактивною потужністю випрямляча як нелінійного елемента, який живиться від джерела синусоїдальної напруги, розуміємо потужність за першою гармонікою  $Q_{(1)} = U_{(1)} \cdot I_{(1)} \cdot \sin \varphi_{(1)}$ , а споживання реактивної потужності ( $Q_{(1)} > 0$ ) означає зсув у сторону запізнення першої гармоніки споживаного струму щодо напруги електромережі живлення. Основними причинами споживання реактивної потужності випрямлячами струму є специфічний фазовий спосіб керування вентилями та явище комутації вентилів, яке відображає вплив індуктивного опору мережі живлення (енергосистема та силовий трансформатор). Наприклад, для однофазних випрямлячів із напівкерованими тиристорами фаза першої гармоніки вхідного струму за припущення ідеального згладжування випрямленого струму та лінійного характеру процесу комутації визначається як  $\phi_{(1)} \approx \alpha + \gamma/2$  [2], де  $\alpha \geq 0$  – кут запізнення відкриття тиристорів щодо природного моменту часу їх відкриття (появи додатної анодної напруги);  $\gamma \geq 0$  – кут комутації тиристорів, спричинений режимом їх самозакривання (закривання відбувається в момент зниження струму до нульового значення). З виразу для кута  $\varphi_{(1)}$  бачимо, що споживання реактивної потужності випрямлячем має як режимну (значення кута керування  $\alpha$ ), так і параметричну (кут  $\gamma$ , значення якого залежить від опору мережі живлення та навантаження випрямляча) причини. У висновку констатуємо:

- 1) розглядувані випрямлячі можуть лише споживати реактивну потужність із мережі живлення;
- 2) визначальною причиною цього явища є спосіб керування режимами провідності (відкриття та закривання) напівпровідникових ключових елементів – одноопераційних тиристорів;
- 3) з метою внутрішньої компенсації реактивної потужності слід змінити спосіб керування випрямлячами, замінивши напівкеровані одноопераційні тиристори та сучасні повністю керовані двоопераційні (наприклад, тиристори



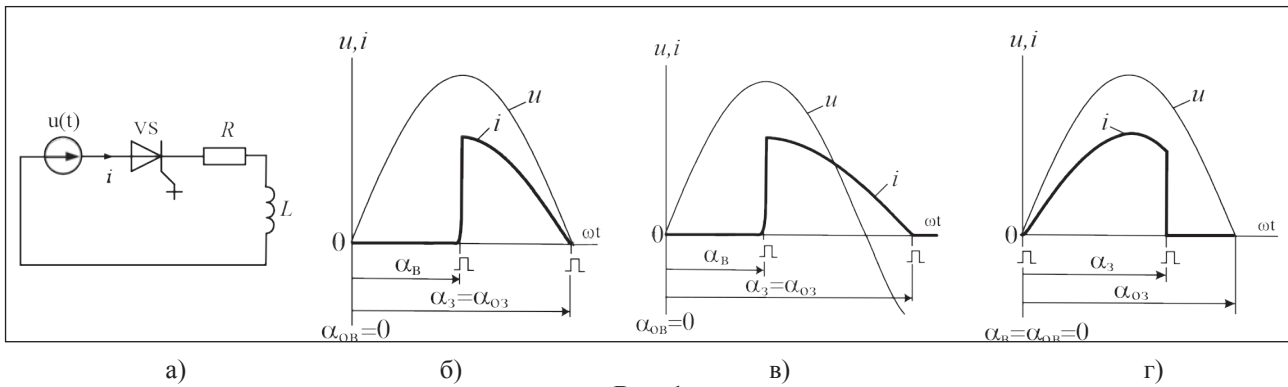


Рис. 1

типу GCT);

4) для отримання ефекту компенсації реактивної потужності за прийнятних режимних характеристик випрямляча пропонуємо керувати вентилями за принципом «антитиристора» [8], або, точніше, за принципом «одноопераційного керування навпаки». Це коли тиристор відкривається керуючим імпульсом у природний момент часу (поява додатної анодної напруги), а закривається жорстко керуючим імпульсом дотерміново (ще до моменту часу проходження струму через нульове значення). Цей спосіб уможлиблює роботу випрямляча струму в режимі генерування реактивної потужності зсуву в мережу живлення. Проілюструємо викладене на прикладі найпростішої  $RL$  гілки з ключовим елементом  $VS$  (рис. 1, а). За умови  $L=0$  та відкриття тиристора керуючим струмом у момент часу  $\alpha_B$  із запізненням щодо природного моменту часу  $\alpha_{OB}$ , а закривання у природний момент часу закривання  $\alpha_3 = \alpha_{O3}$  (рис. 1, б) отримуємо режим зі споживанням реактивної потужності зсуву ( $Q_{(1)} < 0$ ) через зміщення вправо першої гармоніки струму живлення.

Індуктивність у колі з вентилем, керованим на відкриття, вносить у коло вентиля ЕРС самоіндукції, що затягує провідний стан вентиля, збільшуючи значення кута природного закривання вентиля  $\alpha_{O3}$  (рис. 1, в) і споживаної реактивної потужності зсуву (зростає  $\phi_{(1)} > 0$ ). У дзеркально протилежному режимі керування вентилем, коли відкривати тиристор у природний момент часу його відкриття  $\alpha_B = \alpha_{OB}$ , а закривати керуючим струмом у момент часу  $\alpha_3$  (рис. 1, г), отримуємо режим генерування випрямлячем реактивної потужності зсуву через зміщення у сторону випередження першої гармоніки струму живлення (зростає кут  $\phi_{(1)} < 0$ ). Особливістю режимів випрямлячів із повністю керованими вентилями є практично миттєва комутація тиристорів, яка зумовлена малим влас-

ним часом вимкнення закриваючих тиристорів. Сучасні закриваючі тиристори, основною сферою застосування яких є перетворювачі частоти, здатні успішно перемикаєти кола з частотою декілька  $kHz$ , а тривалість основної фази вимкнення менша мікросекунди. У зв'язку з цим кут комутації не є режимним параметром перетворювачів і можна приймати умову  $\gamma=0$ .

Для двотактних схем випрямлення, наприклад, однофазного мостового випрямляча, можна отримати додатковий зсув фази основної гармоніки струму  $i$  щодо напруги живлення. Закриваючи провідну пару вентилів раніше від природного моменту часу закривання завдяки енергії, запасеної у згладжувальному реакторі, створюються умови для відкриття іншої пари вентилів, кут відкриття яких буде рівним куту закривання попередньої пари вентилів ( $\alpha_{OB} = \alpha_3$ ). Отриманий ефект тим вагоміший, чим більша індуктивність згладжувального реактора.

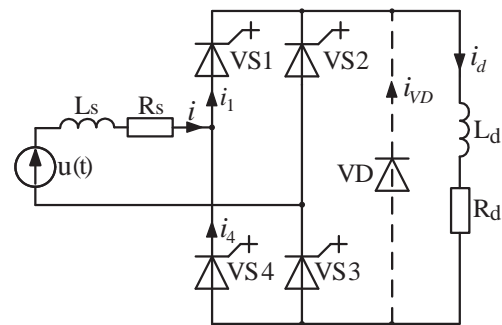


Рис. 2

На рис. 3 наведено часові діаграми струмів і напруг в однофазному мостовому випрямлячі (рис. 2), але без шунтувального діода, які ілюструють режим нерервного струму, коли вентиль двічі вступає в роботу.

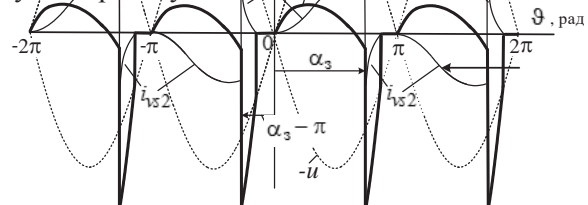


Рис. 3

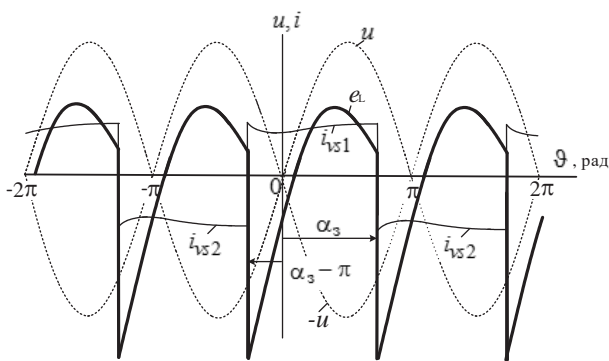


Рис. 4

Перший раз – завдяки ЕРС згладжувальному реактору, а другий – під впливом напруги живлення. За достатнього значення індуктивності реактора отримуємо режим неперервного струму (рис. 4). За умови  $L_d \rightarrow \infty$  значення кута  $\varphi_{(1)} \rightarrow \pi - \alpha_3$ . Діаграми на рис. 3 та 4 отримані моделюванням процесів у середовищі Simulink програмного комплексу Matlab.

**Аналіз впливу шунтувального діода.** В теорії випрямлячів можна натрапити на твердження, що застосування шунтувального діода приводить до часткового повернення до мережі живлення реактивної потужності, запасеної в згладжувальному реакторі, що підвищує коефіцієнт потужності випрямляча. Для проведення аналізу приймемо, що однофазний мостовий випрямляч з ідеальними вентилями живиться від джерела синусоїдальної напруги безмежної потужності та розглянемо режими з ідеально згладженим випрямленим струмом за різних способів фазового керування вентилями. Для кожного з режимів наведемо якісні діаграми струмів і напруг, а також отримаємо аналітичні вирази для кута зсуву основної гармоніки струму на вході випрямляча щодо напруги джерела живлення.

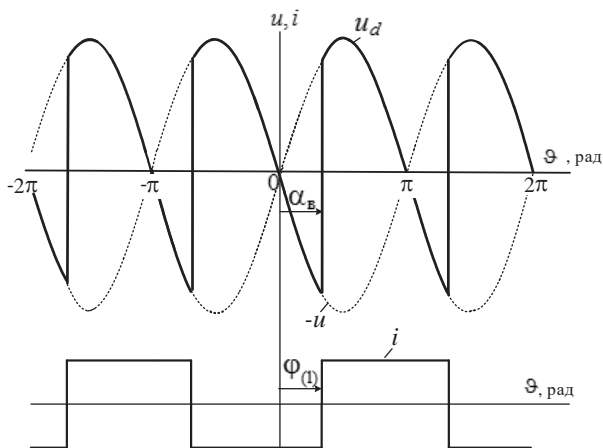


Рис. 5

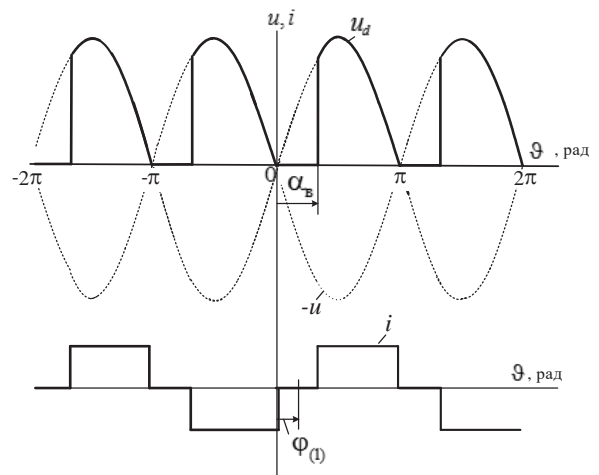


Рис. 6

*Випрямляч з одноопераційними тиристорами без шунтувального діода.*

$$A_{nm} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_B}^{\alpha_B + \pi} i(\vartheta) \cos(n\vartheta) d\vartheta = \frac{4}{\pi} \frac{I_d}{n} \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \cos\left[n\left(\alpha_B + \frac{\pi}{2}\right)\right],$$

$$B_{nm} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_B}^{\alpha_B + \pi} i(\vartheta) \sin(n\vartheta) d\vartheta = \frac{4}{\pi} \frac{I_d}{n} \sin\left(\frac{n\pi}{2}\right) \sin\left[n\left(\alpha_B + \frac{\pi}{2}\right)\right]$$

$$\varphi_{(1)} = \arctg\left(\frac{B_1}{A_1}\right) = -\alpha_B.$$

Як бачимо з діаграм на рис. 5 та результатів розкладу в ряд Фур'є змінного струму, перша гармоніка струму відстає від напруги живлення на кут, рівний куту запізнення відкриття вентилів  $\alpha_B$ . Висновок: випрямляч споживає реактивну потужність зсуву.

*Випрямляч з одноопераційними тиристорами з шунтувальним діодом.*

Згідно з рис. 6 та отриманими аналітичними виразами, застосування шунтувального діода зменшує вдвічі значення кута  $\varphi_{(1)}$ , але відбувається це тому, що відкриття діода VD приводить до одночасного дотермінового закривання провідного на той момент часу тиристора. Тобто струм з тиристора переводиться на діод, а в мережевому струмі на час провідного стану діода струм (на проміжку кута  $\alpha_B$ ) відсутній узагалі. Енергія, запасена в реакторі, завдяки діоду залишається в контурі навантаження і на цей проміжок часу зв'язок із мережею живлення припиняється.

$$A_{nm} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_B}^{\pi} i(\vartheta) \cos(n\vartheta) d\vartheta = \frac{4}{\pi} \frac{I_d}{n} \sin\left[\frac{n}{2}(\pi - \alpha_B)\right] \cos\left[\frac{n}{2}(\pi + \alpha_B)\right]$$

$$B_{nm} = \frac{2}{\pi} \int_{\alpha_B}^{\pi} i(\vartheta) \sin(n\vartheta) d\vartheta = \frac{4}{\pi} \frac{I_d}{n} \sin\left[\frac{n}{2}(\pi - \alpha_B)\right] \sin\left[\frac{n}{2}(\pi + \alpha_B)\right]$$

$$\varphi_{(1)} = \arctg\left(\frac{B_1}{A_1}\right) = -\frac{\alpha_B}{2}$$

Висновок: застосування шунтувального діода в конфігурації випрямляча призводить до зменшення споживання реактивної потужності зсуву.

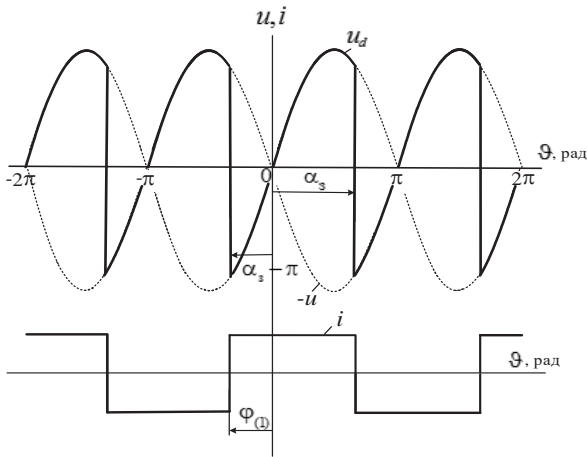


Рис. 7

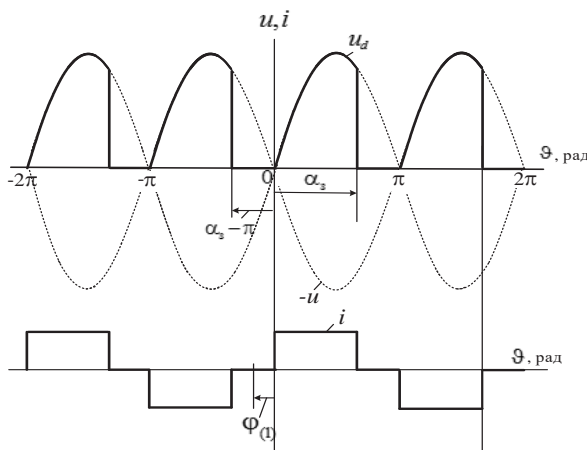


Рис. 8

*Випрямляч з двоопераційними тиристорами без шунтувального діода.*

Примусове закривання тиристорів у моменти часу, що відповідають куту  $\alpha_3$  (рис. 7), приводить до випередження першої гармоніки струму на кут  $\varphi_{(1)} = \pi - \alpha_3$ .

Висновок: випрямляч із закриваючими тиристорами, керований закриванням тиристорів, генерує реактивну потужність зсуву.

*Випрямлячі з двоопераційними тиристорами з шунтувальним діодом.*

У момент часу закривання тиристора появляється від'ємна випрямлена напруга, під дією якої відкривається шунтувальний діод, який приводить до природного моменту часу відкривання

тиристорів (рис. 8). Струм у гілці живлення відсутній, зв'язок із мережею переривається. Це призводить до зтягування моменту часу вступу наступної пари тиристорів, що зменшує випереджувальне значення кута  $\varphi_{(1)}$ .

$$A_{nm} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\alpha_3} i(\vartheta) \cos(n\vartheta) d\vartheta = \frac{2}{\pi} \frac{I_d}{n} \sin(n\alpha_3),$$

$$B_{nm} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\alpha_3} i(\vartheta) \sin(n\vartheta) d\vartheta = \frac{2}{\pi} \frac{I_d}{n} [1 - \cos(n\alpha_3)],$$

$$\varphi_{(1)} = \arctg\left(\frac{B_1}{A_1}\right) = \frac{\pi - \alpha_3}{2}$$

Висновок: застосування шунтувального діода в схемі випрямляча, керованого закриванням тиристорів, призводить до зменшення генерації реактивної потужності зсуву.

*Загальний висновок:* застосування шунтувального діода для обох способів фазового керування випрямлячем приводить до зближення за фазою першої гармоніки струму на вході щодо напруги живлення вдвічі.

**Висновки.** До ознак активного споживача в концепціях Smart Grid та Microgrid запропоновано додати здатність регулювати ступінь споживання реактивної потужності технологічними установками, які живляться від випрямлячів струму. Шляхом заміни застарілої напівкеруваної елементної бази силових випрямлячів струму на сучасні повністю керовані напівпровідникові вентиля в сукупності із застосуванням шунтувальних діодів отримуємо можливість реалізації режимів із регулюванням реактивної потужності в широкому діапазоні. Реактивна потужність, яку споживають випрямлячі струму, за своєю природою є переважн потужністю зсуву. Саме з цієї причини отримуємо можливість регулювання реактивної потужності на вході випрямляча засобами і способами фазового регулювання провідним станом напівпровідникових вентилів. Застосування шунтувальних діодів дає змогу зменшити кут зсуву основної гармоніки струму щодо напруги живлення завдяки впливу на моменти часу комутації вентилів у мостових схемах випрямлення.

**Список літератури:**

1. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / за ред. акад. НАН України О.В. Кириленка / Інститут електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
2. Побєдаш К.К., Святненко В.А. Силові напівпровідникові прилади і перетворювачі електричної енергії. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 244

- с. 3. Зиновьев Г.С. Основы преобразовательной техники. Ч. 2. Выпрямители с улучшенным коэффициентом мощности / НЭТИ. Новосибирск, 1971. 79 с.
4. Федів Є.І., Сівакова О.М. Покращення коефіцієнта потужності силових випрямлячів в системах електропостачання. *Електроенергетичні та електро-механічні системи. Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2007. № 587. С. 101–106.
5. Никонець Л.О., Сівакова О.М., Федів Є.І. Енергетичні характеристики трифазного випрямляча вузла навантаження в режимі видачі реактивної потужності. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. № 30. Дніпропетровськ : РВК НГУ, 2008. С. 210–216.
6. Федів Є.І., Сівакова О.М. Силові випрямлячі систем електропостачання з покращеним коефіцієнтом реактивної потужності. *Вісник Приазовського технічного університету* : зб. наук. пр. Вип. 18. Ч. 2. Маріуполь, 2008. С. 60–64.
7. IEEE Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions, IEEE Std. 1459-2010.
8. Хворост М.В., Гончаров Ю.П., Панасенко М.В. та ін. Види комутації та енергетичні характеристики в електричних колах з ключовими елементами. *Електротехніка та електромеханіка*. 2005. № 4. С. 67–72.

### **Sivakova O.M., Fediv Ye.I. POWER RECTIFIERS FOR SMART GRID**

*The article analyzes energy efficiency of the use of reactive power internal compensation means for power controlled rectifiers, which will meet modern requirements for power supply systems. Among them, there is the replacement of the element base, which allows improving the method of rectifiers phase control, as well as the use of shunt diodes. Two methods of valves phase control have been analyzed: the first one is controlling the delay in opening the thyristors; the second one is controlling the advance in closing the thyristors. The use of gate off thyristors or power transistors allows operating in the modes with reactive power generation into the supply network. It has been shown that the decrease in the level of reactive power consumption when shunt diodes are used under the first control method is not caused by the return of the reactive power stored in the smoothing reactor to the power network. We have researched the effect of shunt diodes on electromagnetic processes in the rectifier under the second method of controlling thyristors. It has been shown that the reason for reducing the consumption of reactive power from the power supply in deep-regulated modes by a rectifier with a zero diode is the decrease in the shift angle of the first harmonic of the current at the input of the rectifier relative to the voltage of the power source. Under the first control method, the zero diode accelerates the leading thyristors closing, while under the second method it delays the thyristors opening. In both cases, this leads to the reduction in the phase difference of the sinusoidal voltage of the power source and the fundamental component of the power current, which reduces the level of shear reactive power exchange between the rectifier and the power source.*

**Key words:** rectifier, shunt (zero) diode, fully controlled thyristor, reactive power.



УДК 621.311.1  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/39>

**Сінчук О.М.**

Криворізький національний університет

**Бойко С.М.**

Криворізький національний університет

**Некрасов А.В.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Ножнова М.О.**

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ

**Онищенко А.О.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

## МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Метою даної роботи є розроблення методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств за умови впровадження до системи їх електропостачання розосередженої генерації. Ураховуючи те, що на підприємствах актуальним є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації, запропоновано впровадження і відновлюваних джерел енергії. Зважаючи на реалії сьогодення, питання підвищення енергоефективності залізорудних підприємств є актуальним. Між тим, що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають. Кожний параметр загальної оптимізації вибору режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств має різний ступінь впливу. Тому для вироблення оптимальних режимів роботи джерел розосередженої генерації в умовах залізорудних підприємств за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати запропоновану цільову функцію. Такий підхід дозволяє визначити фактори та критерії для оптимізації функціонування енергетичного обладнання цих підприємств. Запропонований метод дозволяє оптимізувати роботу енергетичного обладнання залізорудних підприємств під час упровадження до структури їх електропостачання розосередженої генерації.*

**Ключові слова:** розосереджена генерація, енергетичне обладнання, електропостачання залізорудних підприємств, оптимізація режимів роботи.

**Постановка проблеми.** Зважаючи на реалії сьогодення, питання підвищення енергоефективності залізорудних підприємств (ЗРП) є актуальним. Між тим, що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають.

Як одне з альтернативних рішень питання другого незалежного джерела живлення електроспоживачів можуть бути використані джерела розосередженої генерації, розташовані на території підприємства, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів у аварійних ситуа-

ціях та в інших псевдоаварійних режимах роботи з метою зменшення витрат за спожиту електроенергію та підвищення рівня надійності електропостачання.

Водночас аналіз розподілу потоків споживання електроенергії свідчить, що велика частка електричної енергії припадає саме на локальні енергетичні об'єкти, що зумовлює в цілому актуальність вивчення питання особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств та актуальності застосування під час цього комбінованого підходу, особливо під час упровадження в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації (РГ) [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують необхідність оптимізації режимів роботи електричного обладнання ЗРП під час застосування РГ, за критеріями економічності та ефективності передбачає формування ефективних режимів в умовах постійного зростання навантаження електроспоживачів та збільшення реальної складової спожитої електричної енергії (ЕЕ), згенерованої під час використання РГ [2–8].

Для досягнення максимального економічного ефекту під час застосування РГ в умовах ЗРП, систем керування навантаженням та акумулюючого обладнання (ГАЕС, АБ), особливо важливим є організація планування електроспоживання, оперативного і оптимального вибору режимів генерації ЕЕ РГ в умовах ЗРП (шахт або кар'єрів) та оперативного керування режимами роботи енергетичного обладнання (ЕО), яке використовується для забезпечення ефективного і безперебійного функціонування обладнання електроспоживачів ЗРП, з метою здешевлення видобування залізорудної сировини (ЗРС) в умовах узгодження режимів роботи джерел генерації ЗРП і зовнішньої електромережі.

**Постановка завдання.** Розроблення методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних під час впровадження у структуру електропостачання цих підприємств РГ.

**Виклад основного матеріалу.** Із метою вироблення оптимізованих режимів ЕО ЗРП необхідно виділити основні, найбільш ефективні складові частини, які безпосередньо впливають на рівень оптимізації у цілому, тобто фактори впливу ( $\alpha_i$ ), та сформулювати їх зміст, визначивши ступінь впливу (прояву) на процес оптимізації. В умовах ЗРП під час застосування РГ можна виділити найбільш впливові фактори, кожний із яких залежить від критеріїв  $\beta_i^j$ , які визначають ступінь впливу даного фактора на визначення оптимальних режимів роботи ЕО в умовах ЗРП.

У той же час необхідно визначитись у способах застосування кожного окремо взятого джерела ЕЕ, її розташуванні та їхніх параметрах, економічній доцільності використання РГ в умовах ЗРП. А отже, задача оптимізації безпосередньо залежить від типу РГ, її параметрів, кількості, місць розташування, режимів використання, в залежності від умов вироблення (видобутку) ЗРС, параметрів атмосфери, сезонів року, тарифних зон доби, впливу зовнішніх факторів на споживання і генерацію ЕЕ, а також рівня впливу РГ на екологію оточуючого середовища, з метою зменшення нега-

тивного впливу на стан атмосферного повітря, швидкості руху повітряних мас, на міграцію птахів, електромагнітне випромінювання в усіх діапазонах (СВЧ, ВЧ, СЧ,НЧ,УКВ), збереження біофлори, біоценозу на території розміщення РГ, мінімізацію забруднення водних артерій, зменшення впливу на ерозію поверхні, зміну рівня ґрунтових вод та заболочення прилеглих територій та інше [3].

Тому необхідно врахувати типи і кількість РГ та можливий вплив на вироблення оптимальних і ефективних режимів роботи ЕО ЗРП, а саме вплив кожного джерела генерації ЕЕ ( $\gamma_{ij}^q$ ) та режимів використання РГ ( $l = \overline{1, p}$ ,  $p$  – кількість режимів).

Кожний параметр загальної оптимізації вибору режимів роботи ЕО ЗРП має різний ступінь впливу (прояву, важливості). Тому для вироблення оптимальних режимів роботи РГ в умовах ЗРП за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати цільову функцію загального виду:

$$0 < F_i^{j,q}(n, m, k, p, \mu_{\alpha_i}, \beta_i^j, \gamma_{ij}^q) = \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^k (\mu_{\alpha_i} \cdot \beta_{ij,p}^q \cdot \gamma_{ij,q,p}^l) =$$

$$= \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^k \mu_{\alpha_i} \left( \frac{1}{k} \sum_{i,j,q,l=1}^n \beta_{ij,p}^q \right) \left( \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p \gamma_{ij,q}^l \right) < 1$$

де  $\alpha_i$  –  $i$ -й фактор,

$\gamma_{ij}^q$  – рівень впливу  $j$ -го критерію  $i$ -го фактора;

$\beta_{ij}^q$  – рівень впливу в  $i$ -му факторі,  $j$ -му критерії

$i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – кількість факторів,  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – кількість критеріїв,  $q = \overline{1, k}$   $k$  – кількість обладнання (ДРГ) ЕО  $l = \overline{1, p}$   $p$  – кількість режимів прояву критерію даного фактора.

Примітка.  $\alpha_i$  можуть бути рівнозначні, тоді

$$\mu_{\alpha_i} = \frac{1}{n}, 0 < \mu_{\alpha_i} < 1, \sum_{i=1}^n \mu_{\alpha_i} = 1$$

Якщо  $\alpha_i$  не рівнозначні, то ступінь їх важливості  $\mu_i$  визначають у відсотках (%), записаних десятковим дробом,  $\mu_{\alpha_i} \in [0;1]$ ,  $\beta_i^j \in [0;1]$ ,  $\gamma_{ij}^q \in (0;1)$ .

Із метою з'ясування ступеня важливості кожного фактора в оптимізації вибору режиму роботи ЕО ЗРП обмежують проміжні цільові функції (ПЦФ)

$$\varphi_{ij}^{q,l}(\beta_{ij}^{q,l}, \gamma_{ij}^{q,l}) = \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{q=1}^k (\mu_{\alpha_i} \cdot \beta_{ij,p}^q \cdot \gamma_{ij,q}^l)$$

$$j = \overline{1, m}, l = \overline{1, p}, l = \overline{1, p},$$

де  $i$  – номер фактора,  $j$  – номер критерію  $i$ -го фактора;  $q$  – номер електрообладнання (джерела ЕЕ),  $p$  – кількість режимів в  $j$ -му критерії в  $i$ -му факторі,  $n$  – кількість факторів,  $m$  – кількість критеріїв,  $k$  –

кількість обладнання, яке споживає (генерує) ЕЕ, 1 – кількість режимів в j-му критерії i-го фактора [4].

Якщо фактори  $\alpha_i$  рівнозначні, то  $\mu_{ai}$  мають рівні числові значення, які можна обчислити за формулою  $\mu_{ai} = \frac{1}{n}$ . Для спрощення обчислення можна прийняти кожне  $\mu_{ai}$  рівними одиниці, тобто  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 1$ . Якщо  $\mu_{ai}$  обчислюють, то одержують числові значення у вигляді десяткових дробів, під час чому  $0 < \mu_{ai} < 1, \sum_{i=1}^n \mu_{ai} = 1$ .

Якщо фактори  $\alpha_i$  нерівнозначні (рівні прояву (впливу)), різні, то ступінь їх важливості ( $\mu_i$ ) визначають у відсотках (%), які записують у вигляді десяткових дробів, причому  $0 < \mu_{ai} < 1$ .

Для обчислення числових значень  $\beta_{ij}^l, \gamma_{ij}^l$  необхідно скласти таблицю для кожного критерію відповідного фактора, визначивши режими за кожним критерієм для всіх типів обладнання, визначивши значення вагових коефіцієнтів за кожним режиму для кожного типу обладнання. У таблиці по горизонталі розміщують типи обраного обладнання ( $q = \overline{1, k}$ , кількість ЕО), а по вертикалі, для кожного критерію, – номери режимів ( $l = \overline{1, p}$ , p – кількість режимів, що відповідають даному критерію).

Наприклад, якщо  $i=2, j=1, q=5, p=3$ , тобто для 2-го фактора, 1-го критерію, із 3-ма режимами, для 5-ти типів обладнання, матимемо такий вигляд таблиці:

$$A_{ijq}^l = \begin{pmatrix} q_1 l_1 & \dots & q_1 l_p \\ \dots & \dots & \dots \\ q_k l_1 & \dots & q_k l_p \end{pmatrix}$$

- .....в/к обладнання відносно режимів роботи ЕО  $\beta_i^j$  критерій,  $\alpha_i$  фактора, де  $q_k l = \gamma_{ij}^l, \dots$

Тобто по вертикалі утворюються кортежі для кожного типу \_\_\_\_\_ обладнання для  $q_1$ :

$$\left\{ \frac{\bar{m}}{ijq_1}; ijq; \dots \right\}; q_2: \left\{ \frac{\bar{m}}{ijq_2}; ijq; \dots \right\}; \dots; q_k: \left\{ \frac{\bar{m}}{ijq_k}; ijq; \dots \right\}$$

Потім знаходять середнє значення вагових коефіцієнтів кожного кортежу для кожного номера обладнання, утворивши кортеж середніх значень вагових коефіцієнтів для всіх номерів обладнання за формулою:

$$\gamma_{ijqcp}^{l-p} = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p \gamma_{ijq_1}^l = \frac{1}{p} (\gamma_{ijq_1}^{l_1} + \gamma_{ijq}^{l_2} + \gamma_{ijq}^{l_3} + \dots)$$

Аналогічно для кожного типу ЕО ( $q_k$ ):

$$q_1, \dots, q_k: \left\{ \gamma_{ijq_1cp}^{l-p}; \gamma_{ijq_2cp}^{l-p}; \gamma_{ijq_3cp}^{l-p}; \dots; \gamma_{ijq_kcp}^{l-p} \right\}$$

Потім знаходять середнє сумарне загальне значення по всіх режимах і типах обладнання за формулою:

$$\gamma_{ijq_1-kcp}^{l-p} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{q=k} \gamma_{ijq}^l = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{p} (\gamma_{ijq_1cp}^{l-p} + \gamma_{ijq_2cp}^{l-p} + \gamma_{ijq_3cp}^{l-p} + \dots + \gamma_{ijq_kcp}^{l-p})$$

Для кожного i-го фактора, j-го критерію, по всіх режимах l, для всіх типів обладнання q середнє значення вагових коефіцієнтів (по вертикалі). Аналогічно проводять обчислення числових середніх значень вагових коефіцієнтів для всіх режимів і типів обладнання по горизонталі, під час чого числові значення вагових коефіцієнтів в кожній клітинці таблиці є однаковими як для  $\gamma_{ijq_1}^l$ , так і для  $\beta_{ijq_1}^l$ , тобто  $\gamma_{ijq_1}^l = \beta_{ijq_1}^l$ , які знаходяться в інтервалі [0; 1], визначаються експертним шляхом [5].

Загальний вигляд оптимізації режимів роботи обладнання:

$$K_{ijq} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \beta_{11}^{q_1} & \dots & \alpha_1 \beta_{11}^{q_2} & \dots & \alpha_1 \beta_{11}^{q_k} & \dots & \alpha_1 \beta_{12}^{q_1} & \dots & \alpha_1 \beta_{12}^{q_2} & \dots & \alpha_1 \beta_{12}^{q_k} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_n \beta_{n1}^{q_1} & \dots & \alpha_n \beta_{n1}^{q_2} & \dots & \alpha_n \beta_{n1}^{q_k} & \dots & \alpha_n \beta_{n2}^{q_1} & \dots & \alpha_n \beta_{n2}^{q_2} & \dots & \alpha_n \beta_{n2}^{q_k} & \dots \end{pmatrix}$$

$\alpha_8 (\beta_8^j) \rightarrow \min$

**Висновки.** 1. На залізородних підприємствах актуальним та можливим є впровадження

Обладнання		q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>5</sub>	...	q <sub>k</sub>
Режими		$\gamma_{211cp}^1$	$\gamma_{212cp}^1$	$\gamma_{213cp}^1$	$\gamma_{214cp}^1$	$\gamma_{215cp}^1$	...	$\gamma_{21kcp}^1$
		$\gamma_{211}^1$	$\gamma_{212}^1$	$\gamma_{213}^1$	$\gamma_{214}^1$	$\gamma_{215}^1$	...	$\gamma_{21k}^1$
$\alpha_2(\beta_2)$	l <sub>1</sub>	$\gamma_{211}^1$	$\gamma_{212}^1$	$\gamma_{213}^1$	$\gamma_{214}^1$	$\gamma_{215}^1$	...	$\gamma_{21k}^1$
	l <sub>2</sub>	$\gamma_{211}^2$	$\gamma_{212}^2$	$\gamma_{213}^2$	$\gamma_{214}^2$	$\gamma_{215}^2$	...	$\gamma_{21k}^2$
	l <sub>3</sub>	$\gamma_{211}^3$	$\gamma_{212}^3$	$\gamma_{213}^3$	$\gamma_{214}^3$	$\gamma_{215}^3$	...	$\gamma_{21k}^3$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	l <sub>p</sub>	$\gamma_{211}^p$	$\gamma_{212}^p$	$\gamma_{213}^p$	$\gamma_{214}^p$	$\gamma_{215}^p$	...	$\gamma_{21k}^p$

в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Водночас із метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання,

пов'язані з режимами роботи енергетичного обладнання цих підприємств.

2. Запропонований метод дозволяє оптимізувати роботу енергетичного обладнання залізрудних підприємств під час впровадження до структури їх електропостачання розосередженої генерації.

#### Список літератури:

1. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф.І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізрудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг : Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
2. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods // RNSPE, 10-14 September, 2001, Proceedings. Kazan: Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440–442.
3. Baumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. IEEE 0-7803-1217-1. 1993. P. 407–412.
4. Кузнецов М.П. Методи оцінки випадкових параметрів роботи енергосистем з інтегрованими вітровими електростанціями. *Відновлювана енергетика*. 2014. № 1. С. 59–64.
5. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.
6. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods // RNSPE, 10-14 September, 2001, Proceedings. Kazan: Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440–442.
7. Bayir R. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors [Text] / R. Bayir, O. F. Bay: IJSIT Lecture Note of International Conferense on Intelligent Knowledge Systems, Vol. 1, № 1, 2004.
8. Charytoniuk W., Chen M.S. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network // IEEE Trans. on Power Systems. 1995. Vol. 7. № 1.

#### **Sinchuk O.M., Boiko S.M., Nekrasov A.V., Noznova M.O., Onichenko A.O. METHOD OF OPTIMIZING OPERATING MODES FOR POWER EQUIPMENT OF IRON ORE ENTERPRISES**

*The purpose of this work is to develop a method of optimizing the modes of operation of power equipment of iron ore enterprises under the condition of the introduction of dispersed generation in their power supply system. Taking into account the fact that introduction of renewable energy sources into the general structure of power systems of distributed generation is urgent at the enterprises. In a number of previous studies, the authors substantiate the need to optimize the modes of operation of electrical equipment of iron ore enterprises in the application of dispersal generation, on the criteria of cost-effectiveness and efficiency involves the formation of effective regimes in conditions of constant increase in the load of electricity consumers and increase the real component of the consumed electricity generated by electricity. For maximum economic effect in the application of distributed generation in conditions of iron ore enterprises, load management systems and storage equipment, it is especially important to organize the planning of power consumption, operational and optimal choice of modes of generation of electric energy of distributed generation in the conditions of iron ore enterprises (mines or quarries) operational control of the operating modes of power equipment used to ensure efficient and uninterrupted operation The functioning of the equipment of electric consumers of iron ore enterprises in order to reduce the cost of production of iron ore raw materials, in terms of harmonization of operating modes of sources of generation of iron ore enterprises and external power grid.*

*Given the realities of today, the issue of improving the energy efficiency of iron ore enterprises is urgent. Meanwhile, it is equally important that, despite the shortage of electrical power, losses from emergency power outages are increasing every year. Each parameter of the general optimization of the choice of modes of operation of the power equipment of iron ore enterprises has a different degree of influence. Therefore, we propose to use the proposed objective function to develop optimal modes of operation of sources of dispersed generation in the conditions of iron ore enterprises by the criteria of economy and efficiency. This approach allows determining the factors and criteria for optimizing the functioning of the energy equipment of these enterprises. The proposed method allows to optimize the operation of power equipment of iron ore enterprises in the implementation of dispersed generation in the structure of their electricity supply.*

**Key words:** dispersed generation, power equipment, power supply of iron ore enterprises, optimal robot modes.



**Шелешей Т.В.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**ЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ І ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ ПІД ЧАС СПАЛЮВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА**

Україною, як членом Енергетичного Співтовариства з 1 лютого 2011 року, прийнято зобов'язання дотримуватися положень Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та додатків до нього. Країнам ЄС дозволяється застосування перехідного національного плану з пролонгацією строку досягнення деякими спалювальними установками вимог Директиви 2010/75/ЄС до 30 червня 2020 року. Тому є доцільним розвиток технологій, що сприятимуть покращенню ситуації і подальшому розвитку в екологічного напрямку. До таких належать, зокрема, технології, що сприяють зниженню температури відхідних газів.

Зниження температури відхідних газів і корисне використання їх тепла у циклі ТЕС дозволяє підвищити ККД котла і всієї станції загалом. Втрати  $q_2$ , % визначаються насамперед температурою відхідних газів котла –  $t_{\text{відх}}$  °С. Як вже встановлено, величина  $t_{\text{відх}}$  залежить від багатьох чинників (виду палива, компоновання поверхонь нагріву котла, ступеня їх забруднення тощо), та її вибір є техніко-економічним завданням. Переваги з екологічної точки зору є такими: зниження температури відхідних газів призводить до зниження викидів оксидів азоту на 250 г/ГДж і зниження оксидів вуглецю на 52 г/ГДж. Щодо котла ТГМ-96А, то зниження температури відхідних газів до безпечної для надійності газовідвідних трактів котла призводить до зниження викидів оксидів азоту і вуглецю і становить 40г/ГДж і 10г/ГДж відповідно. Аналіз отриманих результатів показав, що емісії оксидів азоту й оксидів вуглецю зростають на 22г/ГДж і 11г/ГДж, відповідно, під час зростання температури відхідних газів на 1°С під час спалювання кам'яного вугілля.

Емісії оксидів азоту і вуглецю зростають як для Т-250-240 і Т-100-130 під час зростання температури відхідних газів на 1°С. Таке зростання складає 10г/ГДж (оксиди азоту для Т-100-130); 17г/ГДж (оксиди азоту для Т-250-240); 2,4 г/ГДж (оксиди вуглецю для Т-100-130) і 3,8 г/ГДж (оксиди вуглецю для Т-250-240).

**Ключові слова:** котел, змінний режим експлуатації, температура відхідних газів, електрична потужність, теплове навантаження, температура та витрата живильної води.

**Постановка проблеми.** Україною, як членом Енергетичного Співтовариства з 1 лютого 2011 року, прийнято зобов'язання дотримуватися положень Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та додатків до нього. Згідно з Додатком II до Договору всі великі спалювальні установки після 31 грудня 2017 року мають відповідати вимогам Директиви 2001/80/ЄС про обмеження викидів деяких забруднюючих речовин у повітря від великих спалювальних установок (далі – Директива 2001/80/ЄС).

Термін часу, що залишився до введення в дію вимог Директиви 2001/80/ЄС, поточний стан обладнання наявних великих спалювальних установок в Україні, кількість яких перевищує 220, значний обсяг робіт та обмежені фінансові ресурси операторів, що обслуговують великі спалювальні установки, не дозволяють Україні вчасно виконати вимоги Директиви 2001/80/ЄС. Через недотримання вимог українського екологічного законодавства більшість великих спалюваль-

них установок має бути виведена з експлуатації, що призведе до зменшення наявних потужностей у національній енергетичній системі та зниження виробітку електричної і теплової енергії. Можливість для України тимчасового відступу від вимог Директиви 2001/80/ЄС шляхом впровадження Національного плану скорочення викидів має суттєве значення для енергетичної безпеки держави.

Директивою 2010/75/ЄС про промислові викиди (далі – Директива 2010/75/ЄС), що прийнята на зміну Директиви 2001/80/ЄС, внесено принципові зміни до чинного законодавства ЄС. Одна з найбільш важливих змін полягає у більш жорстких допустимих граничних значеннях викидів діоксиду сірки, оксидів азоту та пилу від великих спалювальних установок. Ці вимоги набувають чинності в країнах ЄС для великих спалювальних установок з 1 січня 2016 року. При цьому країнам ЄС дозволяється застосування перехідного національного плану з пролонгацією строку досягнення деякими спалювальними

установками вимог Директиви 2010/75/ЄС до 30 червня 2020 року. Згідно з рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства від 24 жовтня 2013 року вимоги Директиви 2010/75/ЄС набувають чинності в Енергетичному Співтоваристві для великих спалювальних установок після 31 грудня 2027 року. [1] Тому, в зв'язку з вищесказаним, є доцільним розвиток технологій, що сприятимуть покращенню ситуації і подальшому розвитку екологічного напрямку. До таких і належать технології, що сприяють пониженню температури відхідних газів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Першою спробою визначення доцільного рівня підігріву повітря в котельному агрегаті слід вважати роботу В.І. Толубінського [2], що є продовженням досліджень Л.К. Рамзіна [3] і Р.В. Петеліна [4]. В.І. Толубінський запропонував спрощену аналітичну методику, що дозволяє розраховувати оптимальні температури димових газів за найвигіднішого розподілу теплосприйняття між економайзером і повітропідігрівачем у разі одноступеневого компоновання.

На початку 50-х років великі дослідження в цьому напрямку були проведені Н.В. Кузнєцовим, І.Б. Варавицьким і Л.Б. Кролем [4; 5], які показали, що температура вихідних газів пов'язана з температурами повітря на вході в повітронагрівач і живильної води, зі значеннями повних теплоємностей – водяних еквівалентів повітря і продуктів згоряння, з величинами мінімальних температурних напорів між гріючим і нагрівачим середовищами.

Надалі робота по відшукуванню найбільш раціональної компоновки хвостових поверхонь нагріву котельних агрегатів поділяється на два великих напрями: 1) найвигідніший розподіл теплосприймання між ступенями нагріву економайзера і повітропідігрівача, включаючи спільне визначення оптимальних температур живильної води і відхідних газів; 2) відшукування найбільш раціональної схеми попереднього та основного підігріву повітря як засобу боротьби з низькотемпературною корозією, підвищення економічності спалювання палива і економічності блоку в цілому, враховуючи при цьому вплив температури гарячого повітря на утворення шкідливих речовин в топках котлів.

Дослідження в цьому напрямку, слідом за ВТІ, проводилися в МЕІ Т.Х. Маргулової [5], ЦКТИ С.П. Невельсоном [6], М.А. Стириковичем, Р.А. Матвєєвим і В.І. Беляєвим [7]. Причому в зазначених роботах ЦКТИ особлива увага приді-

лялася залежності оптимальної температури відхідних газів від розрахункової вартості палива.

Одним з основних факторів, що впливають на оптимальну температуру димових газів, є температура живильної води. З іншого боку, як показали дослідження А.В. Андрющенко [8; 9], вибір оптимальної температури живильної води повинен проводитися з урахуванням залежності втрат теплоти з димовими газами. В іншому випадку температура живильної води виходить завищеною.

Великі дослідження по спільному визначенню оптимальних температур живильної води і відхідних газів для різних умов експлуатації були проведені в ЦКТИ А.П. Ніконовим [10], А.Е. Гельтманом, К.Е. Алатовським, С.Й. Мочаном і І.Н. Комісарчиком [10–11] в МЕІ М.А. Дєвочкіним [5]. Крім того, дослідженнями Іванівського енергетичного інституту [9] було додатково показано вплив пилеприготування на величину оптимальної температури відхідних газів.

Робота котельного агрегату на режимах, що відрізняються від проектного, вельми характерна для реальних експлуатаційних умов. Одним з основних факторів, що викликають нерозрахунковий режим роботи котла, є зміна температури живильної води. В експлуатації можливе часткове відключення регенеративних підігрівачів, зниження підігріву в них може відбуватися також внаслідок забруднення поверхні нагріву. При блочних установках температура живильної води тісно пов'язана з навантаженням блоку.

Наведений вище огляд досліджень по відшукуванню найвигіднішого розподілу теплосприймання між ступенями нагріву економайзера і повітропідігрівача, включаючи спільне визначення оптимальних температур живильної води і відхідних газів показує, що названим питанням приділяється досить велика увага, і їх слід вважати достатньо обґрунтованими.

**Постановка завдання.** Великі енергетичні установки мають низку шкідливих викидів, а саме оксиди азоту, оксиди сірки, оксиди вуглецю, тверді частинки і важкі метали. Тому основним завданням нашої статті є встановлення взаємозв'язку температури відхідних газів і викидів оксидів азоту, сірки вуглецю для станцій блочного типу і з поперечними зв'язками при спалюванні різних видів палива.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Втрати  $q_2$ , % визначаються, насамперед, температурою відхідних газів котла –  $t_{\text{відх}}$ , °С. Розглянемо вплив  $t_{\text{відх}}$  на екологічні показники для блоків

T-250-240, T-100-130 при спалюванні природного газу і для K-300-240 при спалюванні кам'яного вугілля.

На рис 1 показано залежність емісії оксидів сірки від температури відхідних газів для блоків K-300-240 при спалюванні кам'яного вугілля.

З графіка видно, що з ростом температури відхідних газів на 1°C емісія оксидів сірки при спалюванні кам'яного вугілля зростають на 72 г/ГДж. Щодо викидів оксидів азоту, то залежність емісії оксидів азоту і оксидів вуглецю від температури

відхідних газів при спалюванні кам'яного вугілля показана на рис. 2–3.

Аналіз отриманих результатів показав, що емісії оксидів азоту і оксидів вуглецю зростають на 22г/ГДж і 11г/ГДж відповідно при зростанні температури відхідних газів на 1°C при спалюванні кам'яного вугілля.

Розглянемо емісії викидів оксидів азоту і вуглецю для блоків T-250-240 і T-100-130 при спалюванні природного газу. Такі залежності показані на рис. 4–5.

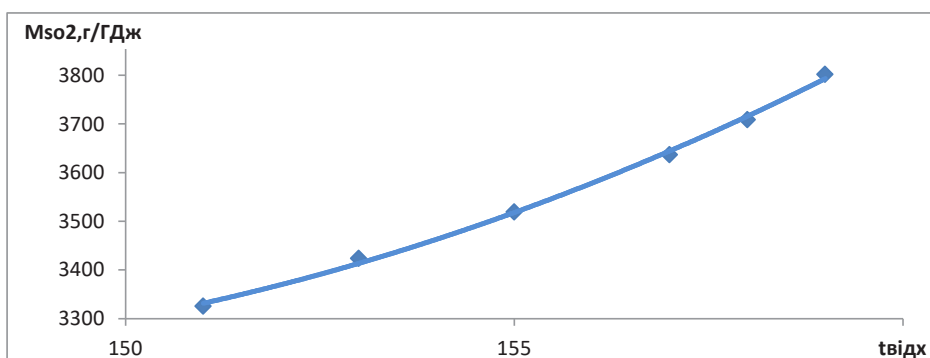


Рис. 1. Залежність емісії оксидів сірки від температури відхідних газів для блоків K-300-240 при спалюванні кам'яного вугілля

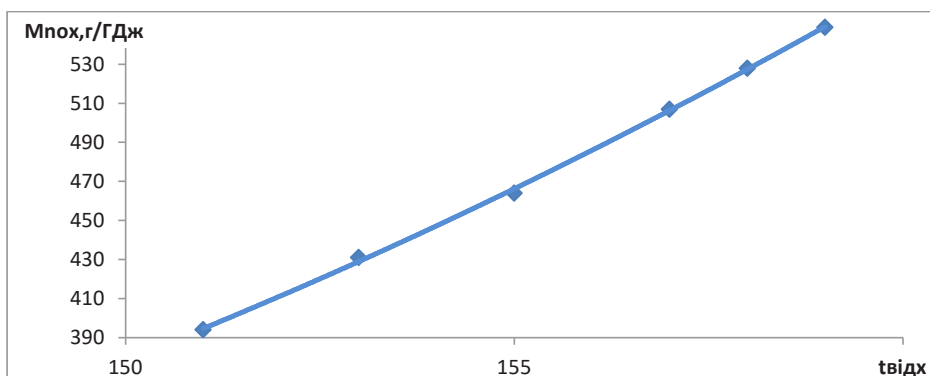


Рис. 2. Залежність емісії оксидів азоту від температури відхідних газів для блоків K-300-240 при спалюванні кам'яного вугілля

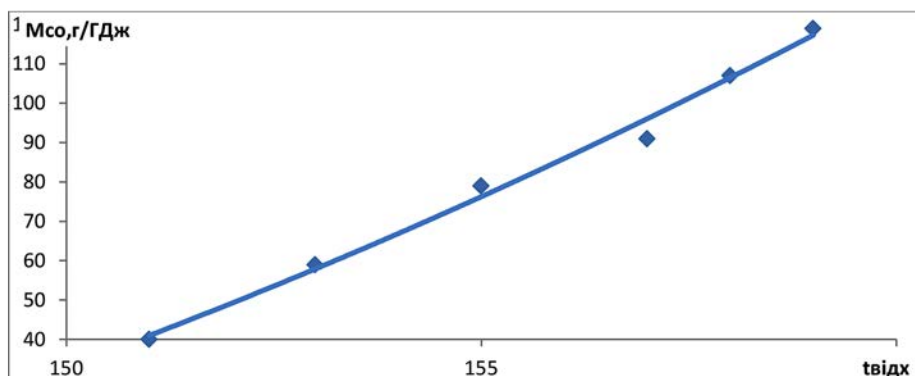


Рис. 3. Залежність емісії оксидів вуглецю від температури відхідних газів для блоків K-300-240 при спалюванні кам'яного вугілля

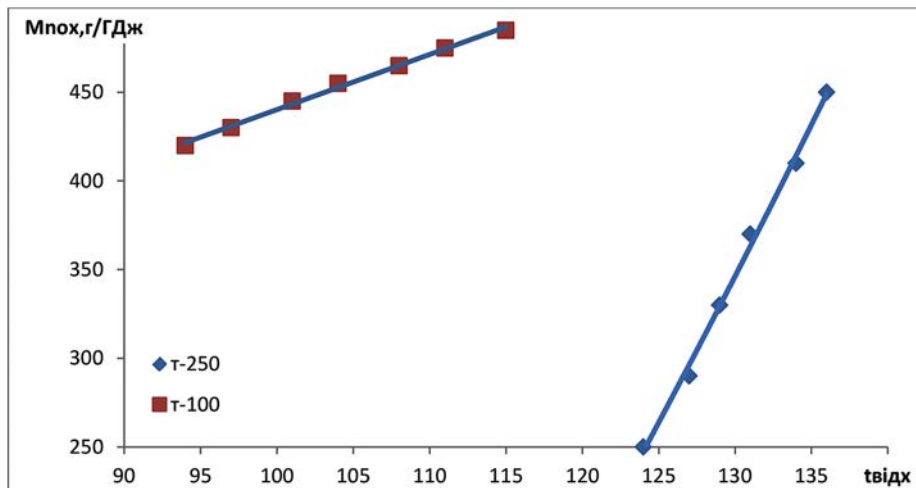


Рис. 4. Залежність емісії оксидів азоту від температури відхідних газів для блоків Т-250-240(1), Т-100-130(2) при спалюванні природного газу

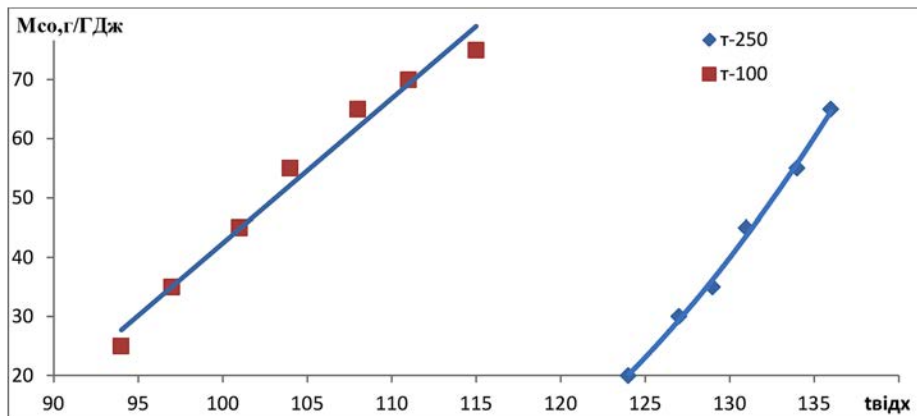


Рис. 5. Залежність емісії оксидів вуглецю від температури відхідних газів для блоків Т-250-240(1), Т-100-130(2) при спалюванні природного газу

З рисунків видно, що емісії оксидів азоту і вуглецю зростають як для Т-250-240 і Т-100-130 за зростання температури відхідних газів на 1°C. Таке зростання складає 10г/ГДж (оксиди азоту для Т-100-130); 17г/ГДж (оксиди азоту для Т-250-240); 2,4г/ГДж (оксиди вуглецю для Т-100-130) і 3,8 г/ГДж (оксиди вуглецю для Т-250-240).

Переваги з екологічної точки зору є такими: зниження температури відхідних газів призводить до зниження викидів оксидів азоту на 250 г/ГДж і зниження оксидів вуглецю на 52 г/ГДж. Щодо котла ТГМ-96А, то зниження температури відхідних газів до безпечної для надійності газопровідних трактів котла, то це призведе до зниження викидів оксидів азоту і вуглецю становить 40г/ГДж і 10г/ГДж відповідно.

Зменшення емісії оксидів сірки, азоту і вуглецю для котла ТПП-210 А при спалюванні кам'яного вугілля складають 720г/ГДж, 220г/ГДж і 110 г/ГДж відповідно.

### Висновки.

1. Україною, як членом Енергетичного Співтовариства з 1 лютого 2011 року, прийнято зобов'язання дотримуватися положень Договору про заснування Енергетичного Співтовариства. Є доцільним розвиток технологій, що сприятимуть покращенню ситуації і подальшому розвитку в екологічного напрямку. До таких і належать технології, що сприяють пониженню температури відхідних газів.

2. З ростом температури відхідних газів на 1°C емісія оксидів сірки при спалюванні кам'яного вугілля зростають на 72 г/ГДж.

3. Аналіз отриманих результатів показав, що емісії оксидів азоту і оксидів вуглецю зростають на 22г/ГДж і 11г/ГДж відповідно при зростанні температури відхідних газів на 1°C при спалюванні кам'яного вугілля.

4. Емісії оксидів азоту і вуглецю зростають як для Т-250-240 і Т-100-130 при зростанні тем-



температури відхідних газів на  $1^{\circ}\text{C}$ . Таке зростання складає  $10\text{г/ГДж}$  (оксиди азоту для Т-100-130);  $17\text{г/ГДж}$  (оксиди азоту для Т-250-240);  $2,4\text{ г/ГДж}$  (оксиди вуглецю для Т-100-130) і  $3,8\text{ г/ГДж}$  (оксиди вуглецю для Т-250-240).

5. Переваги з екологічної точки зору є такими: зниження температури відхідних газів призводить до зниження викидів оксидів азоту на  $250\text{ г/ГДж}$  і зниження оксидів вуглецю на  $52\text{ г/ГДж}$ .

Щодо котла ТГМ-96А то зниження температури відхідних газів до безпечної для надійності газівідвідних трактів котла, то це призведе до зниження викидів оксидів азоту і вуглецю становить  $40\text{г/ГДж}$  і  $10\text{г/ГДж}$  відповідно.

6. Зменшення емісій оксидів сірки, азоту і вуглецю для котла ТПП-210 А при спалюванні кам'яного вугілля складають  $720\text{г/ГДж}$ ,  $220\text{г/ГДж}$  і  $110\text{ г/ГДж}$  відповідно.

#### Список літератури:

1. Національний план скорочення викидів від великих енергетичних установок. від 8 листопада 2017 року № 796-р. Київ. Розпорядження, Кабінет міністрів України. С. 99.
2. Інноваційні пріоритети паливно-енергетичного комплексу України / заг. ред. А.К. Шидловський. Київ : Українські енциклопедичні знання, 2005. 512 с.
3. He J., Zhang W. Techno-economic evaluation of thermo-chemical biomaffi-io-ethanol. *Appl. Energy*. 2011. № 4 (88). P. 1224–1232.
4. Вольчин І.А., Дунаєвська Н.І., Гапонич Л.С., Чернявський М.В., Токал О.І., Засядько Я.І. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику України, Київ, ГНОЗІС. 2013. С. 28
5. Андерсон Э., Бродов Ю.М., Плотников П.Н. и др. Анализ показателей надежности вспомогательного оборудования энергоблоков. *Теплоэнергетика*. 2011. №8. С. 2–7.
6. Овчар В.Г., Гордеев В.В., Сотников И.А., Липец А.У. Опыт заводских разработок энергоблоков повышенной эффективности. *Теплоэнергетика*. 1999. №9. С. 2–5
7. Коваленко П.Ю. Оптимизация энергоблоков повышенной эффективности на основе турбин Т-100-130. Энергосистемы, электростанции и их агрегаты: Сборник научных трудов НГТУ. Вып. 8. Новосибирск : Изд-во НГТУ. 2004. С. 62–79.
8. Шинников П.А., Ноздренко Г.В., Ловцов А.А. Эффективность реконструкции пылеугольных паротурбинных ТЭЦ в парогазовые путем газотурбинной надстройки и исследование показателей их функционирования. Новосибирск : Наука, 2002. 97 с.
9. Шинников П.А., Серант Ф.А., Коваленко П.Ю. и др. Повышение эффективности энергоблоков ТЭЦ. *Ползуновский вестник* №1. Барнаул : Изд-во АлтГТУ им. Ползунова, 2004. С. 210–215.
10. Шелешей Т.В. Взаємозв'язок температури відхідних газів і техніко-економічних та екологічних показників ТЕЦ. *Вісник НТУ «ХП»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків : НТУ «ХП». 2018. № 11(1287). С. 32–35.

#### Sheleshey T.V. BACKGROUND OF THE TEMPERATURE OF THE FUEL GASES AND HARMFUL EMISSIONS IN THE ATMOSPHERE WITH THE BURNING OF DIFFERENT KINDS OF FUEL

*Ukraine, as a member of the Energy Community since February 1, 2011, has undertaken to comply with the provisions of the Treaty establishing the Energy Community and its annexes. EU countries are permitted to apply a transitional national plan extending the deadline for certain combustion plants to meet the requirements of Directive 2010/75 / EC by 30 June 2020.*

*Therefore, in connection with the above, it is advisable to develop technologies that will improve the situation and further development in environmental issues. These include technologies that contribute to reducing the temperature of exhaust gases.*

*Reducing the temperature of the exhaust gases and the beneficial use of their heat in the TPP cycle allows to increase the efficiency of the boiler and the whole station as a whole. The losses  $q_2, \%$  are determined, first of all, by the boiler exhaust gas temperature – from,  $^{\circ}\text{C}$ . As already established, the value here depends on many factors (type of fuel, arrangement of boiler heating surfaces, degree of contamination, etc.) and its choice is a technical and economic task. The environmental benefits are: lowering the exhaust gas temperature leads to a reduction in nitrogen oxide emissions of  $250\text{ g / GJ}$  and a reduction of carbon oxides by  $52\text{ g / GJ}$ . With respect to the TGM-96A boiler, the reduction of the exhaust gas temperature to the safe for the reliable gas outlet tracts of the boiler will lead to the reduction of nitrogen and carbon oxide emissions by  $40\text{ g / GJ}$  and  $10\text{ g / GJ}$  respectively. The analysis of the results showed that the emissions of nitrogen oxides and carbon oxides increase by  $22\text{ g / GJ}$  and  $11\text{ g / GJ}$  respectively when the flue gas temperature rises by  $1^{\circ}\text{C}$  when burning coal.*

*Emissions of nitrogen and carbon oxides increase for both T-250-240 and T-100-130 as the exhaust gas temperature rises by  $1^{\circ}\text{C}$ . This increase is  $10\text{g / GJ}$  (nitrogen oxides for T-100-130);  $17\text{g / GJ}$  (nitrogen oxides for T-250-240);  $2,4\text{ g / GJ}$  (carbon oxides for T-100-130) and  $3,8\text{ g / GJ}$  (carbon oxides for T-250-240).*

**Key words:** boiler, variable operating mode, temperature of exhaust gases, electric power, thermal load, temperature and consumption of feed water.

## Відомості про авторів

**Андрющенко Т.Ю.** – старший викладач Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

**Базака Ю.А.** – асистент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Базалій М.Ю.** – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Беглов К.В.** – доцент кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Бойко С.М.** – кандидат технічних наук, здобувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті Криворізького національного університету;

**Борисов Г.О.** – студент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Бунке О.С.** – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Водка О.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Говоровський С.В.** – магістр Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Голіков Н.А.** – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Головацький І.В.** – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Гуйда О.Г.** – доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

**Дичка І.А.** – доктор технічних наук, професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Драч І.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Хмельницького національного університету;

**Душеба В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача відділу математичного та комп'ютерного моделювання Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України;

**Дьяков С.О.** – кандидат технічних наук, старший викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Євдокимов В.Ф.** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України, член-кореспондент НАН України;

**Єрастова В.В.** – студентка кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Єремєєв В.С.** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Зіноватна С.Л.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

**Іванов О.А.** – студент III курсу Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Кирийчук Д.Л.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмних засобів і технологій Херсонського національного технічного університету;

**Кирик В.В.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних мереж та систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Кисіль В.В.** – магістр Хмельницького національного університету;

**Кисіль Т.М.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Хмельницького національного університету;

**Козел В.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету;

**Комлева Н.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

**Корнага Я.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Кострикiна Д.А.** – студентка кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Коцун В.І.** – кандидат технічних наук, завідувач кафедри математики та комп'ютерних дисциплін Приватного вищого навчального закладу «Європейський університет»;

**Круглик В.С.** – доктор педагогічних наук, доцент, професор кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Кудерметов Р.К.** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»;

**Кулагін Д.О.** – кандидат технічних наук, професор Національного університету «Запорізька політехніка»;

**Лаптев О.А.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри систем інформаційного та кібернетичного захисту Державного університету телекомунікацій;

**Ліхачев Д.С.** – студент II курсу магістратури Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Ліхачов К.С.** – студент II курсу магістратури Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Лошак К.Р.** – студент Одеського національного політехнічного університету;

**Мазур Д.С.** – магістрант кафедри комп'ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»;

**Мартинюк Є.А.** – студентка Одеського національного політехнічного університету;

**Марулін С.Ю.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

**Мигаль Г.В.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів та транспортної інфраструктури Національного аерокосмічного університету імені М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»;

**Некрасов А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних машин і апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Ножнова М.О.** – викладач циклової комісії авіаційного транспорту Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ;

**Озерова Д.С.** – студентка кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Олексій А.В.** – студент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Олещенко Л.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Онищенко А.О.** – аспірант кафедри електричних машин і апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Оніщенко Т.В.** – старший викладач кафедри системного програмного забезпечення Одеського національного політехнічного університету;

**Осадча К.П.** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Осадчий В.В.** – доктор педагогічних наук, професор, завідувач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Павлов Г.О.** – інженер-конструктор АТ «МОТОР СІЧ»;

**Паламарчук І.О.** – магістр Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Пелюх П.О.** – магістр кафедри комп'ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Петренко Ф.В.** – магістрант (121 «Інженерія програмного забезпечення») Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Плохотнюк М.А.** – магістр кафедри комп’ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Повхан І.Ф.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення систем ДВНЗ «Ужгородський національний університет»;

**Половінкін І.М.** – кандидат військових наук, старший науковий співробітник, директор Науково-методичного центру кадрової політики МО України;

**Прокоф’єв Є.Г.** – кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри інформатики і кібернетики Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Протасенко О.Ф.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри природоохоронних технологій, екології та БЖД Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

**Прядко А.О.** – студент III курсу Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького;

**Рагулін С.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету;

**Роспопа П.П.** – студент 6 курсу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Сироїжка І.О.** – завідувач лабораторії кафедри авіаційної техніки Льотної академії Національного авіаційного університету;

**Сівакова О.М.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики і систем управління Національного університету «Львівська політехніка»;

**Сінчук О.М.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті Криворізького національного університету;

**Терейковська Л.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури;

**Тіменко А.В.** – асистент кафедри комп’ютерних систем та мереж Національного університету «Запорізька політехніка»;

**Трапезон К.О.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри звукотехніки та реєстрації інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Трапезон О.Г.** – доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту проблем міцності імені Г.С. Писаренка;

**Уліцька О.О.** – доцент кафедри комп’ютерних технологій автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Федів Є.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електроенергетики і систем управління Національного університету «Львівська політехніка»;

**Циба Т.Є.** – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Чумаченко С.М.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри інформаційних систем Національного університету харчових технологій;

**Шайдурова К.А.** – студентка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Шаповалова М.І.** – аспірант кафедри динаміки та міцності машин Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»;

**Шарабайко А.Н.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри військової підготовки Льотної академії Національного авіаційного університету;

**Шевченко В.В.** – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Шелешей Т.В.** – асистент кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Шкарупило В.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп’ютерних систем і мереж Національного університету біоресурсів і природокористування України; докторант Інституту проблем моделювання в енергетиці імені Г.Є. Пухова НАН України;

**Юрчишин В.Я.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».



## НОТАТКИ

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 30 (69) № 6 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. 20,02. Ум.-друк. арк. 26,74. Зам. № 0120/08

Підписано до друку 24.12.2019. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73021, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а

Телефон +38 (0552) 399 580,

+38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 6424 від 04.10.2018 р.