

**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 29 (68) № 5 2018**

**Частина 2**

**Київ  
2018**

## **Головний редактор:**

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

## **Члени редакційної колегії:**

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

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

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

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

**Лисенко Олександр Іванович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизованого управління технологічними процесами Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського;

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

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

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

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

**Рекомендовано до друку та поширення через мережу Internet  
Вченою радою Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського  
(протокол № 3 від 08.11.2018 року)**

Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки» зареєстровано Міністерством юстиції України (Свідчення 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)

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

## ЗМІСТ

### ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

**Мельник О.Г., Мельник Р.П.**

СИНТЕЗ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ ЗА УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ  
ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ..... 1

**Мещеряков Д.В., Черепанова Е.В.**

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЕ  
С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ..... 5

**Мєшков О.Ю.**

РОЗРОБКА ПЕРСОНІФІКОВАНОГО ГОЛОСОВОГО ЕТАЛОНУ  
ДЛЯ ЗАДАЧІ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ.....11

**Мухи Алдин Хассан Мохамед, Ткачева Е.Б.**

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕПЛИКАЦИИ ДАННЫХ  
В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ.....18

**Орлов Є.А.**

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ,  
ОТРИМАНОЇ ВІД ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ MICROGRID..... 26

**Плохута Д.О., Корнага Я.І.**

СИСТЕМА ВИДІЛЕННЯ ЛЮДСЬКИХ СИЛУЕТІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ,  
НА СЕРІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ..... 31

**Поляков А.С., Корнага Я.І.**

ВИДІЛЕННЯ ЗВУКУ ПТАХА В ЖИВІЙ ПРИРОДІ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ.....36

**Савчук Т.О., Приймак Н.В.**

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ FP-GROWTH (FPG)  
ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ..... 41

**Самодєлок Р.В., Любичький О.В.**

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ  
У ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ НА ПЛАТФОРМІ «3DS MAX»..... 46

**Самойлов А.Н., Шевченко И.В.**

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЯРКОСТНЫХ ПОРОГОВ  
ФРАГМЕНТОВ ЦИФРОВОГО РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЛАСТИНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА... 51

**Соколенко Д.Г., Корнага Я.І.**

СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ПИСЕМНИХ СИМВОЛІВ  
ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ..... 56

**Стародуб А.О., Бабіч В.Ф.**

РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ  
ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ.....60

**Сугоняк І.І., Марчук Г.В., Бобровнік С.О.**

СИНТАКСИЧНИЙ АНАЛІЗ КОДУ ДЛЯ СИСТЕМИ  
ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПРОГРАМУВАННЯ НА МОВІ C#..... 65

**Трач О.Р.**

СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ОРГАНІЗАЦІЇ  
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ.....72

**Устенко І.В., Назаренко В.О.**

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІОЛІ-ДЖОНСА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ  
ОБЛИЧЧЯ У ВІДЕОПОТОЦІ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ.....78

<b>Хорошевська І.О.</b> СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕХНІЧНОМУ ЗАВДАННІ НА СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДИДАКТИЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	85
<b>Юськів А.С.</b> РОЗРОБКА В SCADA-СИСТЕМІ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВВЕДЕННЯ В ЦЕМЕНТНУ ПІЧ ДОДАТКОВОГО ПАЛИВА, ВИРОБЛЕНОГО З ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ.....	94
<b>ЕНЕРГЕТИКА</b>	
<b>Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С.</b> ОЦІНКА ТЕПЛОФІЗИЧНОЇ БЕЗПЕКИ БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ СВЯП-1.....	100
<b>Бойко С.М., Шмельов Ю.М., Бондарець О.М., Борисенко О.М.</b> ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ В УМОВАХ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ- ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ.....	104
<b>Кулик В.В., Пірняк В. М.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ДЖЕРЕЛ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ АКТИВНИХ ОБМЕЖЕНЬ.....	109
<b>Лежнюк П.Д., Бартецький А.А., Бартецька І.А.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЛАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ.....	115
<b>Чорна В.О., Мельник О.Є., Омельченко О.В., Некрасов А.В., Федь М.Г.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОГОДНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ.....	120
<b>РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН</b>	
<b>Василишин В.Я., Василишин Я.В., Павлик І.В.</b> ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ НАРІЗЕВИХ З'ЄДНАНЬ.....	126
<b>Калініченко О.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ МАТЕМАТИЧНИМИ МЕТОДАМИ.....	133
<b>Круковский А.П., Минеев С.П., Круковская В.В., Беликов И.Б., Янжула А.С., Гулай А.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ БАРЬЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ ВЕЛИЗИ ИЗОЛИРОВАННОГО ПОЖАРНОГО УЧАСТКА .....	138
<b>Мерзлікін А.В.</b> ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОЇ РОБОТИ ОЧИСНИХ ВИБОЇВ.....	145
<b>ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>	
<b>Іванченко А.В., Назаренко О.В., Єлатонцев Д.О., Гарнага Є.В.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ РІДКИХ ФОСФОРОВМІСНИХ ВІДХОДІВ.....	151
<b>Перепелиця О.П., Петренко Т.В., Самчук А.І.</b> ДЕФЕКАТ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА: ХІМІЧНІ РЕАКЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ.....	156
<b>Сімурова Н.В., Попова І.В., Зінченко Н.Ю., Брицун В.М.</b> СИНТЕЗ 2-[4'-МЕТОКСИ-3'-(R-АМІНОСУЛЬФОНІЛ)БЕНЗИЛ]- 2,3-ДИГІДРО-1Н-БЕНЗО[de]ІЗОХІНОЛІН-1,3-ДІОНІВ.....	160

## CONTENTS

### INFORMATICS, COMPUTER ENGINEERING AND AUTOMATION

**Melnyk O.G., Melnyk R.P.**

SYNTHESIS OF CALCULATION SYSTEMS WITH MINIMUM COMPLEXITY FOR THE  
REALIZATION OF PROBLEMS OF FIRE FORECASTING IN THE RESIDENTIAL SECTOR.....1

**Meshcheriakov D.V., Cherepanova K.V.**

ANALYSIS OF METHODS OF DATA PROCESSING IN INFRARED SYSTEM  
WITH A BIOLOGICAL FEEDBACK .....5

**Mieshkov O.Yu.**

A PERSONIFIED VOICE STANDARD DEVELOPMENT  
FOR THE TASK OF THE PERSONAL AUTHENTICATION .....11

**Hassan Mohamed Muhi-Aldeen, Tkachova O.B.**

AN INTEGRATED METHOD FOR DYNAMICALLY REPLICATING  
DATA IN SOFTWARE-CONFIGURABLE NETWORKS.....18

**Orlov Ye.A.**

ESTIMATION OF USE AND SALE OF THE ELECTRIC POWER  
RECEIVED FROM ENERGY SOURCES IN MICROGRID SYSTEM .....26

**Plokhuta D.O., Kornaha Ya.I.**

SYSTEM OF DETECTION OF SILHOUETTE HUMAN  
ON A CONTINUOUS SHOOTING BY USING NEURAL NETWORK.....31

**Poliakov A.S., Kornaha Ya.I.**

ALLOCATION OF THE SOUND OF BIRDS IN WILDLIFE THROUGH THE NEURAL NETWORK .....36

**Savchuk T.O., Pryimak N.V.**

THE FEASIBILITY STUDY OF USING METHOD FP-GROWTH (FPG) DURING  
THE SOFTWARE DEVELOPMENT .....41

**Samodielok R.V., Liubytskyi O.V.**

APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD OF THE 3DS MAX MODELS.....46

**Samoilov A.N., Shevchenko I.V.**

RESULTS OF THE ANALYSIS OF ADAPTIVE PROCESSING OF THE BRIGHTNESS  
THRESHOLD OF THE DIGITAL RASTER IMAGES SEMICONDUCTOR WAFFER .....51

**Sokolenko D.H., Kornaha Ya.I.**

RECOGNITION SYSTEM OF WRITING SYMBOLS BY NEURAL NETWORK.....56

**Starodub A.O., Babych V.F.**

CALCULATION OF STATIC CHARACTERISTICS OF THE COMBUSTION  
OF GAS FUELS AS A CONTROL OBJECT.....60

**Sugonyak I.I., Marchuk G.V., Bobrovnyk S.O.**

SYNTACTIC ANALYSIS OF THE CODE FOR THE DISTANCE LEARNING SYSTEM  
FOR PROGRAMMING IN LANGUAGE C# .....65

**Trach O.R.**

STRUCTURE OF THE SOFTWARE  
FOR THE ORGANIZATION OF THE LIFE CYCLE OF VIRTUAL COMMUNITIES .....72

**Ustenko I.V., Nazarenko V.O.**

IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF THE VIOLA-JONES  
FOR FACE DETECTION IN THE VIDEO STREAM AND DEVELOP A PROGRAM  
FOR ITS IMPLEMENTATION.....78

<b>Khoroshevska I.O.</b> INFORMATION PRESENTATION STRUCTURE IN THE TECHNICAL TASK FOR CREATING MULTIMEDIA DIDACTIC TRAINING COMPLEXES.....	85
<b>Yuskiv A.S.</b> DEVELOPMENT IN THE SCADA-SYSTEM OF IMITATION MODEL INTRODUCTION TO CEMENT FURNACE OF ADDITIONAL FUEL PRODUCED FROM DOMESTIC WASTE .....	94
<b>POWER ENGINEERING</b>	
<b>Azarov S.I., Sydorenko V.L., Zadunaj O.S.</b> ASSESSMENT OF THERMOPHYSICAL SECURITY OF THE POOL EXCERPTS SSNF-1 .....	100
<b>Boiko S.M., Shmelev Yu.M., Bondarets O.M., Borysenko O.M.</b> PECULIARITIES OF FORECASTING TO THE CONDITIONS OF ELECTRIC SUPPLY COMPLEX-ELECTRIC CONSUMPTION OF IRON-SIZED ENTERPRISES .....	104
<b>Kulyk V.V., Pirnyak V.M.</b> OPTIMIZING THE PLACEMENT OF REACTIVE POWER SOURCES IN THE ELECTRIC NETWORK, TAKING INTO ACCOUNT THE ACTIVE LIMITATIONS.....	109
<b>Lezhiuk P.D., Bartetskyi A.A., Bartetska I.A.</b> OPTIMIZATION OF WORK OF PHOTOELECTRIC STATIONS FOR ENSURING THE BALANCE OF THE ENERGY SYSTEM .....	115
<b>Chorna V.O., Melnik O.Ye., Omelchenko A.V., Nekrasov A.V., Fed M.G.</b> RESEARCHES OF WEATHER CONDITIONS INFLUENCE ON PHOTOVOLTAIC SYSTEM EFFICIENCY.....	120
<b>RESOURCE DEVELOPMENT</b>	
<b>Vasylyshyn V.Ya., Vasylyshyn Ya.V., Pavlyk I.V.</b> THEORETICAL INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF CONSTRUCTION AND OPERATING FACTORS ON THE WORK OF NARASE CONNECTIONS .....	126
<b>Kalinichenko O.V.</b> ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS BY MATHEMATICAL METHODS .....	133
<b>Krukovskiy O.P., Mineev S.P., Krukovska V.V., Belikov I.B., Yanzhula A.S., Gulay A.A.</b> INVESTIGATION OF FILTRATION PERMEABILITY OF BARRIER PILLARS AT PERFORMING MINING OPERATIONS NEAR THE ISOLATED FIRE AREA.....	138
<b>Merzlikin A.V.</b> DYNAMIC MODEL FOR PREDICTING SUSTAINABLE WORK OF LONGWALLS.....	145
<b>CHEMICAL TECHNOLOGY</b>	
<b>Ivanchenko A.V., Nazarenko O.V., Yelatontsev D.O., Garnaga E.V.</b> RESEARCH OF TECHNOLOGY OF ADSORPTIONAL PROCESSING OF LIQUID PHOSPHORUS WASTES .....	151
<b>Perepelytsya O.P., Petrenko T.V., Samchuk A.I.</b> DEFECATE OF SUGAR PRODUCTION: CHEMICAL REACTION OF COMPLEX PROCESSING .....	156
<b>Simurova N.V., Popova I.V., Zinchenko N.Yu., Britsun V.M.</b> SYNTHESES OF 2-(4'-METHOXY-3'-(R-AMINOSULFONYL)BENZYL)- 2,3-DIHYDRO-1H-BENZO[DE]ISOQUINOLINE-1,3-DIONES .....	160

# ІНФОРМАТИКА, ОБЧИСЛЮВАЛЬНА ТЕХНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 004.312.2:004.94

**Мельник О.Г.**

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України

**Мельник Р.П.**

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України

## СИНТЕЗ СИСТЕМ ЧИСЛЕННЯ ЗА УМОВИ МІНІМАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗАДАЧІ ПРОГНОЗУВАННЯ ПОЖЕЖ У ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ

*У статті проведено пошук системи числення, яка найбільш ефективно реалізує систему залишкових класів з урахуванням сучасного розвитку обчислювальної техніки для вирішення задачі прогнозування пожеж у житловому секторі. Для цього визначено фактори щодо придатності для практичного використання системи числення. Проведено моделювання арифметичних пристроїв при заданій швидкодії. Проведено вивчення 24 форми подання інформації та отримано коди цифр обраної системи числення. Доведено, що надлишкова система числення забезпечить меншу складність дискретних пристроїв її практичної реалізації.*

**Ключові слова:** прогнозування пожеж, житловий сектор, система залишкових класів, система числення, синтез.

**Постановка проблеми.** Відповідно до статистики пожеж [1], в Україні протягом 2017 р. зафіксовано на 12% більше пожеж, ніж у 2016 р., – 83 116 пожеж, прямі збитки від яких зросли на 25,3%, а кількість загиблих становить 1 819 людей. Більша частина пожеж (близько 80%) виникає в будівлях і спорудах житлового сектору.

Проаналізувавши причини пожеж, можна зробити висновок, що найбільша кількість людей гине від необережного поводження з вогнем (у середньому 70%) та через порушення правил пожежної безпеки при влаштуванні та експлуатації побутових електроприладів (близько 15%). Велика кількість пожеж та загиблих на пожежах у житловому секторі зумовлена елементарною недбалістю самих громадян, низьким рівнем культури населення щодо дотримання правил пожежної безпеки при використанні побутових електроприладів, що, своєю чергою, призводить до перевантаження електромереж.

На таку невтішну ситуацію з пожежною безпекою в державі впливає і недосконала законодавча база з питань пожежної, техногенної безпеки та

цивільного захисту, і зношеність основних фондів, і неналежне фінансування для підтримання наявних та впровадження нових сучасних систем протипожежного захисту.

Дані статистики викликають особливе занепокоєння і вимагають розробки комплексу заходів щодо запобігання пожежам. Великого значення при цьому набувають методи і засоби моніторингу, прогнозування і профілактики на основі сучасних інформаційних технологій та обчислювальних комплексів. Тому державна політика в сфері запобігання виникнення пожеж має бути спрямована на створення автоматизованих інформаційних систем моніторингу пожеж на основі сучасних комп'ютерних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед останніх досліджень і публікацій варто виділити роботи, в яких проведено низку досліджень щодо ризику виникнення пожеж у житловому секторі [2–3], де розроблено метод прогнозування передумов виникнення пожеж у житловому секторі та побудовано інформаційну систему моніторингу пожежної безпеки [4–5], де

доведено можливість застосування методу групового урахування аргументів до прогнозування пожеж у житловому секторі [6], де проведено оцінку оперативності прогнозування пожеж у житловому секторі [7].

Але в цих дослідженнях не розглядалося питання реалізації системи залишкових класів за допомогою систем числення, які б дали змогу при найменшій складності апаратних засобів вирішити задачу прогнозування пожеж у житловому секторі.

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає в проведенні пошуку системи числення, яка найбільш ефективно реалізує систему залишкових класів з урахуванням сучасного розвитку обчислювальної техніки для вирішення задачі прогнозування пожеж у житловому секторі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Пошук системи числення, яка найбільш ефективно реалізує систему залишкових класів, треба проводити з урахуванням таких факторів:

- швидкість та достовірність реалізації;
- найменша складність апаратних засобів;
- гарантоване виявлення помилок.

Система залишкових класів по своїй природі є надлишковою, для зменшення введеної інформа-

ційної надлишковості необхідно перейти до двійкового базису з можливою меншою інформаційною надлишковістю кодованої системи числення. Цей перехід можна здійснити за допомогою перекодування, спираючись на результати дослідження.

Тому для реалізації системи залишкових класів необхідно визначити систему числення, в якій будуть представлені залишки.

Придатність для практичного використання системи числення визначається низкою факторів: можливістю подання будь-якого числа в заданому діапазоні; однозначністю подання; простотою і стислістю запису чисел; легкістю оволодіння системою. Практичний вибір системи числення для реалізації системи залишкових класів визначається з урахуванням такого:

- алфавіт системи числення визначає мінімальну кількість позицій подання числа в заданому діапазоні з обліків можливостей вибраного функціонального елемента;
- система числення має забезпечувати прості алгоритми виконання операцій додавання, віднімання і ділення;
- простота алгоритмів виявлення і корекції помилок при низькій складності пристроїв їх реалізації, високій швидкості контролю і корекції.

Таблиця 1

Основні результати аналізу складності пристроїв

№ п/п	Форма представлення	додавання натур. чисел	віднімання натур. чисел	віднімання цілих чисел	ділення натур. чисел	порівняння натур. чисел	$\Sigma$
1	012345	42	37	74	11	66	230
2	012367	28	33	60	9	61	191
3	021346	42	37	74	27	50	230
4	021356	40	37	60	28	48	214
5	021357	28	33	60	28	45	194
6	021457	39	45	120	30	50	284
7	024675	28	33	60	33	40	194
8	026137	34	36	78	34	41	223
9	031756	31	32	54	32	67	216
10	034125	28	28	55	48	119	278
11	034167	29	33	80	53	116	311
12	034216	28	28	85	52	110	303
13	041537	28	33	60	28	45	194
14	042637	28	33	60	33	40	194
15	052143	28	28	85	48	119	299
16	052146	28	28	81	52	110	299
17	061425	28	28	81	72	90	299
18	104576	39	49	90	9	55	242
19	105476	28	33	60	9	59	189
20	124306	28	28	45	55	122	278
21	124307	28	35	67	55	111	296
22	125034	28	28	85	44	118	303
23	125073	29	33	80	53	114	309
24	130246	29	29	53	28	48	187



Ці вимоги до надлишкових систем числення можуть бути реалізовані на основі кодованих позиційних систем числення.

Задача аналізу форм представлення інформації полягає у виборі форм представлення, що забезпечують мінімальну складність арифметичних пристроїв при заданій швидкодії. В роботі Н.М. Пантелеєвої та В.М. Рудницького [8] зроблено припущення, що форми подання інформації, які вимагають найменшої апаратної складності пристрою, забезпечать найбільш прості алгоритми його функціонування. Найбільш цікаві результати моделювання арифметичних пристроїв при заданій швидкодії представлені в табл. 1.

Для реалізації системи залишкових класів найбільший інтерес представляє 24 форма кодування, оскільки забезпечує найменшу складність реалізації як пристроїв додавання і віднімання натуральних чисел, так і реалізації усього комплексу пристроїв [8].

Вибрана форма подання інформації забезпечує мінімальну апаратну надмірність за умови кодування цифр:

0 – 001; 1 – 011; 2 – 000; 3 – 010; 4 – 100; 5 – 110.

Модель пристрою додавання за модулем 5 для цієї форми подання інформації буде визначатися виразом:

$$S_1 = \bar{A}_2 A_3 B_3 \cup A_3 \bar{B}_2 B_3 \cup A_3 \bar{B}_1 \bar{B}_2 \bar{B}_3 \cup \bar{A}_1 \bar{A}_2 \bar{A}_3 B_3 \cup \bar{A}_2 A_3 B_1 \bar{B}_3 \cup \bar{A}_3 A_1 B_3 \bar{B}_2 \cup A_2 A_3 B_1 B_2 \cup \cup A_1 A_2 B_2 B_3 \cup \bar{A}_1 \bar{A}_2 \bar{A}_3 \bar{B}_1 B_2 \bar{B}_3$$

$$S_2 = \bar{A}_2 B_2 \cup A_2 \bar{B}_2$$

$$S_3 = \bar{A}_2 A_3 B_1 \cup A_1 \bar{B}_2 B_3 \cup A_1 \bar{A}_2 B_3 \cup A_3 B_1 \bar{B}_2 \cup A_1 A_2 B_1 B_2 \cup \bar{A}_1 \bar{A}_2 \bar{A}_3 \bar{B}_1 B_3 \cup \bar{A}_1 A_3 \bar{B}_1 \bar{B}_2 \bar{B}_3 \cup A_2 A_3 \bar{B}_1 B_2 \bar{B}_3 \cup \bar{A}_1 A_2 \bar{A}_3 B_2 B_3$$

У процесі синтезу пристрою складання було зазначено, що на основі операції інверсії першого розряду і перестановки першого і другого розрядів ця форма подання буде перетворена на форму подання, коди цифр якої будуть представлені:

0 – 000; 1 – 001; 2 – 010; 3 – 011; 4 – 110; 5 – 111.

Застосувавши структурно-матричний метод синтезу, отримаємо коди цифр системи числення в явному вигляді. Початкові значення кодів цифр представлені в табл. 2.

Ця система числення має вагові коефіцієнти розрядів, задані послідовністю [8]:

1, 2, 2, 6, 6, 18, 18, 54, 54, 162, 162, 486, ...

Отримана система числення представляє собою двійково-шестірівкову позиційну надлишкову систему числення.

Аналітичний вираз для отримання ваги визначається залежністю:

$$\begin{cases} b_1 = 1 \\ b_2 = 2 \\ b_3 = 2 \\ b_{3n-2} = 3 \cdot b_{3(n-1)} \\ b_{3n-1} = 2 \cdot b_{3n-2} \\ b_{3n} = b_{3n-1} \end{cases}$$

Основним недоліком цієї системи числення є складність перекодування з двійкової безнадлишкової системи числення і навпаки.

На складність пристроїв обробки інформації впливають два фактори:

– складність правил виконання арифметичних операцій, яка визначається на основі вагових коефіцієнтів розрядів;

Таблиця 2

Коди цифр обраної системи числення

Значення розряду						Число	Значення розряду						Число
5	4	3	2	1	0		5	4	3	2	1	0	
0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	0	1	0	0	0	1	<b>13</b>
0	0	0	0	0	1	<b>1</b>	0	1	0	0	1	0	<b>14</b>
0	0	0	0	1	0	<b>2</b>	0	1	0	0	1	1	<b>15</b>
0	0	0	0	1	1	<b>3</b>	0	1	0	1	1	0	<b>16</b>
0	0	0	1	1	0	<b>4</b>	0	1	0	1	1	1	<b>17</b>
0	0	0	1	1	1	<b>5</b>	0	1	1	0	0	0	<b>18</b>
0	0	1	0	0	0	<b>6</b>	0	1	1	0	0	1	<b>19</b>
0	0	1	0	0	1	<b>7</b>	0	1	1	0	1	0	<b>20</b>
0	0	1	0	1	0	<b>8</b>	0	1	1	0	1	1	<b>21</b>
0	0	1	0	1	1	<b>9</b>	0	1	1	1	1	0	<b>22</b>
0	0	1	1	1	0	<b>10</b>	0	1	1	1	1	1	<b>23</b>
0	0	1	1	1	1	<b>11</b>	1	1	0	0	0	0	<b>24</b>
0	1	0	0	0	0	<b>12</b>	.	.	.	.	.	.	.
<b>6</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>		<b>8</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	

– алфавіт системи числення накладає обмеження на правила виконання арифметичних операцій, що визначає складність пристроїв та контролю інформації.

Можна припустити, що надлишкова система числення, що забезпечує синтез пристроїв контролю інформації меншої складності при однакових правилах виконання арифметичних операцій, забезпечить меншу складність дискретних пристроїв її практичної реалізації, тому треба провести вивчення саме таких систем числення.

**Висновки.** Для реалізації системи залишкових класів у двійковому базисі на основі дослідження моделей систем числення синтезовано систему числення, що забезпечить зменшення апаратної складності дискретних пристроїв, але за результатами досліджень було виявлено, що основним недоліком цієї системи числення є складність перекодування з двійкової безнадлишкової системи числення і навпаки.

Подальші дослідження будуть направлені на синтез систем числення за умови мінімальної складності на основі дослідження моделей позиційних надлишкових систем числення.

#### Список літератури:

1. Аналіз масиву карток обліку пожеж (POG\_STAT) за 12 місяців 2017 р. URL: <http://undicz.dsns.gov.ua/ua/Analiz-masivu-kartok-obliku-pozhezh.html> (дата звернення: 02.09.2018).
2. Мовчан І.О. Методологія визначення соціального пожежного ризику. Системи обробки інформації. 2015. Вип. 5 (130). С. 181–184.
3. Гуліда Е.М., Башинський О.І., Мовчан І.О. Прогнозування виникнення пожеж в житловому секторі на підставі аналізу техногенного ризику. Збірник наукових праць ЛДУ БЖД «Пожежна безпека». 2012. № 20. С. 150–154.
4. Мельник О.Г. Розробка методу прогнозування передумов виникнення пожеж у житловому секторі. Пожежна безпека: теорія і практика: мат-ли II міжнар. наук.-практ. конф. (12 жовтня 2012 р.). Черкаси: АПБ імені Героїв Чорнобиля, 2012. С. 344–346.
5. Дендаренко В.Ю., Мельник О.Г., Чепурний Г.П. Побудова інформаційної системи моніторингу пожежної безпеки. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2014. Вип. 3 (40). С. 167–170.
6. Мельник О.Г., Мельник Р.П. Застосування методу групового урахування аргументів до прогнозування пожеж у житловому секторі. Надзвичайні ситуації: безпека та захист: мат-ли VII всеукр. наук.-практ. конф. із міжнар. участю (20–21 жовтня 2017 р.). Черкаси, 2017. С. 7–8.
7. Мельник О.Г., Мельник Р.П. Оцінка оперативності прогнозування пожеж у житловому секторі. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». 2017. Вип. 4. С. 27–31.
8. Пантелєєва Н.М., Рудницький В.М. Теоретичні основи створення природно-надійних комп'ютерних систем. Черкаси: Брама-Україна, 2009. 200 с.

#### СИНТЕЗ СИСТЕМ СЧИСЛЕНИЯ ПРИ МИНИМАЛЬНОЙ СЛОЖНОСТИ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЖАРОВ В ЖИЛОМ СЕКТОРЕ

*В статье проведен поиск системы счисления, которая наиболее эффективно реализует систему остаточных классов с учетом современного развития вычислительной техники для решения задачи прогнозирования пожаров в жилом секторе. Для этого определены факторы относительно пригодности для практического использования системы счисления. Проведено моделирование арифметических устройств при заданном быстродействии. Проведено изучение 24 формы представления информации и получены коды цифр выбранной системы счисления. Доказано, что избыточная система счисления обеспечит меньшую сложность дискретных устройств ее практической реализации.*

**Ключевые слова:** прогнозирование пожаров, жилой сектор, система остаточных классов, система счисления, синтез.

#### SYNTHESIS OF CALCULATION SYSTEMS WITH MINIMUM COMPLEXITY FOR THE REALIZATION OF PROBLEMS OF FIRE FORECASTING IN THE RESIDENTIAL SECTOR

*The article searches for the number system, which most effectively implements the system of residual classes taking into account the modern development of computer technology for solving the problem of forecasting fires in the residential sector. For this, factors are determined regarding the suitability for practical use of the number system. The simulation of arithmetic devices at a given speed is carried out. 24 forms of information representation were examined and codes of numbers of the chosen number system were obtained. It is proved that the redundant number system will provide less complexity of discrete devices for its practical implementation.*

**Key words:** fire forecasting, residential sector, residual class system, number system, synthesis.

УДК 528.7: 629.78

**Мещеряков Д.В.**

Одесская национальная академия пищевых технологий

**Черепанова Е.В.**

Одесский государственный экологический университет

## АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЕ С БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*В статье рассмотрена задача обработки выходных сигналов биологического объекта, находящегося в цепи обратной связи системы инфракрасного облучения. Показано, что значимость выходных признаков для принятия решения по управлению системой неодинакова и предполагает подчиненность локальных решений. Предложен подход обработки информации, основанный на нечеткой кластеризации и привязке процесса принятия решения к центральному кластеру.*

**Ключевые слова:** принятие решений, инфракрасное облучение, биологическая обратная связь.

**Постановка проблемы.** В соответствии с принципами теории автоматического управления, элементы биотехнической системы могут рассматриваться в терминах «вход-выход-состояние». В системе инфракрасной пелоидотерапии с биологической обратной связью входным воздействием является энергия инфракрасного облучения кожи пациента. Тепловая нагрузка вызывает ответную реакцию организма в виде ускорения частоты сокращения сердца, повышении частоты дыхания, активизации работы потовых желез. Доли участия органов человека в теплоотдаче в условиях теплового комфорта являются такими: через кожу человека человек отдает примерно 80% теплоты, через легкие примерно 13% [1].

Выходными признаками пациента является изменение артериального давления, составляющих электрокардиограммы, частоты дыхания, насыщенности крови кислородом, температуры кожного покрова. Наиболее исследованной является электрокардиограмма, обработка которой позволяет выявить множество показателей сердечнососудистой системы. Анализ электрокардиологического сигнала существенно усложняется в связи с физиологическим прохождением электрических сигналов, приводящим к недетерминированности и нестационарности, изменчивости и влиянию разнообразных помех на восприятие сигнала измерителем на поверхности кожного покрова. Положительная предсказательная ценность этих показателей не превышает 85% [2]. Аналогичная неопределенность наблюдается и при анализе частоты дыхания и сопротивления кожного покрова, различающихся даже у одного

человека в различное время, зависящих от психологического состояния, внешних условий и т.п.

По этой причине кибернетический подход, состоящий в замене реального организма его математической или физической моделью, имеет ограниченную применимость. Выходной признак биологического объекта формируется в результате суммирования сигналов различных биофизических структур, поэтому результирующий сигнал является стохастическим. Если на биологический объект не действуют раздражающие факторы, то выходные признаки на определенном временном промежутке можно считать стационарными. Если организм находится под влиянием внешних воздействий, приводящих к изменению функционирования отдельных систем или их взаимодействия, выходные признаки становятся нестационарными. Основной проблемой обработки сигналов выходных признаков в инфракрасной системе с биологической обратной связью следует признать неоднозначность связи между входными воздействиями и реакцией на них биологического объекта. Кроме того, аппаратные средства считывания выходной информации должны быть неинвазивными и допускать простоту установки на объект. Это исключает такие информативные средства, как электроэнцефалографические, затрудняет электрокардиологические, которые необходимо совмещать с применением лечебной грязи на грудной клетке и подвижностью пациента.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Аппаратные средства считывания первичной информации перерабатывают данные в режиме реального времени поступления сигналов, поэтому требования к быстройдействию



разование в адаптивное пространство параметры аппроксимирующих функций.

Применительно к модели полезного сигнала 2 важно, что преобразование Фурье не позволяет локализовать во времени частотные компоненты, поэтому оно приемлемо только для стационарных сигналов. Биологические сигналы к таковым не относятся, поэтому преобразование Фурье возможно только на выделенных квазистационарных участках или окнах. Однако при этом ухудшается разрешающая способность по частоте, а увеличение длительности окна приводит к влиянию нестационарности. Вейвлет преобразование в определенной мере компенсирует этот недостаток, однако проблема обработки биологических сигналов, связанная с неопределенностью связи между входным тепловым воздействием и выходными признаками реакции организма, остается нерешенной.

**Постановка задания.** Целью работы является анализ способов обработки выходных признаков биологического объекта, которые способствуют повышению достоверности принятия решений применительно к системе управления с биологической обратной связью.

**Изложение основного материала исследования.** Особенность сигналов выходных признаков человека заключается в том, что сигналы лишь косвенно отражают реакции на входные инфракрасные воздействия. Кроме того, значимость этих признаков не одинакова. Например, информативность сопротивления кожного покрова, которая отображает проницаемость кожного покрова для проникновения лекарственных веществ в подкожный слой, полностью соответствует медицинским задачам инфракрасной пеллоидотерапии. Тем более, что основной теплообмен с поверхностью осуществляется через кожный покров. Основная проблема состоит в существенном запаздывании реакции потовыделения и тем более высыхания жидкости на поверхности кожи, что должно оказывать влияние на процесс управления при использовании этой информации.

Частота сердечных не учитывает перераспределение кровяных потоков в периферийные области тела для переноса тепла от нагретых инфракрасным излучением областей. Очевидно, что информативность этого показателя повышается при избытке поглощенного тепла. Быстродействие отклика данного показателя на изменение радиационного воздействия более высокое, по сравнению с изменением сопротивления кожного покрова. Так, при исследовании динамиче-

ских характеристик электрокардиограммы при стресс-анализе на установке тредмила используется первая производная кривой кардиограммы, однако исследования проводятся не в реальном времени эксперимента. Аналогично, частота дыхания может служить вспомогательным признаком управления, поскольку прямую связь между интенсивностью инфракрасного облучения и частотой дыхания установить крайне сложно. Определение поверхностной температуры кожного покрова может быть осуществлено инфракрасным пирометром, при этом быстродействие считывания данных достаточно высокое и может быть использовано для принятия решения в системе управления. Информативность данного показателя не слишком высока, поскольку определяется только некий физический показатель внешнего воздействия на поверхность кожного покрова, а не функция организма.

Приведенный анализ признакового пространства показывает, что присутствует основной признаковый элемент – сопротивление кожного покрова, и вспомогательные признаковые элементы, которые дополняют по определенным свойствам основной. По каждому элементу признакового пространства можно принять локальное решение, например, пороговое, по увеличению или снижению интенсивности инфракрасного излучения при достижении сопротивлением кожного покрова значения, при котором происходит умеренное потовыделение. Основное значащее решение может влиять на вспомогательные решения, в частности, игнорировать их или готовить новые решения по принципам упреждающего управления. В свою очередь, вспомогательные решения могут оказывать влияние на основное путем учета собственных свойств, что способствует получению общего решения.

Обозначим, как это принято в теории неопределенного программирования [14], через  $x$  и  $y_i$  – управляющие векторы основного значимого элемента и  $i$  – вспомогательного, при  $i = 1, 2, \dots, m$ , целевые функции основного  $F(x, y_1, y_2, \dots, y_m)$  и вспомогательного  $f_i(x, y_1, y_2, \dots, y_m)$ ,  $S$  – допустимое множество управляющего вектора  $x$  основного элемента, определяемое как  $S = \{x | G(x) \leq 0\}$ , где  $G$  – векторзначная функция вектора решений  $x$ ,  $0$  – вектор с нулевыми компонентами. Тогда для каждого решения  $x$ , выбранного основным элементом, в котором допустимые управляющие векторы  $y_i$  для всех вспомогательных элементов должны зависеть не только от  $x$ , но и от  $y_1, y_2, \dots, y_m$  и могут быть представлены

следующим образом  $g_i(x, y_1, y_2, \dots, y_m) \geq 0$ , где  $g_i$  – векторзначные функции. При таком подходе выбор управляющего вектора приводит к выбору управляющего элемента  $x \in S$ , а затем определяется совокупность управляющих векторов  $(y_1, y_2, \dots, y_m)$  вспомогательными элементами. Задача сводится к задаче двухуровневого программирования и записывается в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max_x F(x_1, x_2, \dots, x_m) \\ \text{при ограничениях:} \\ C(x) \leq 0, \\ \text{где каждый } y_i \ (i = 1, 2, \dots, m) \\ \text{получается в результате решения} \\ \left\{ \begin{array}{l} \max_x f_i(x, y_1, y_2, \dots, y_m) \\ \text{при ограничениях:} \\ g_i(x, y_1, y_2, \dots, y_m) \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Выходные сигналы биологического объекта имеют вероятностный характер, на который накладываются составляющие сигналы иных процессов, протекающих в организме. Очевидно, что при большом объеме выборки влияние этих нежелательных составляющих сглаживается и появляется возможность определять очень тонкие нюансы исследуемых процессов. Например, приводятся данные, что при анализе более 50 000 электрокардиограмм можно выделить признаки работы сердечного клапана, которые различают людей южного и северного полушарий.

В случае решаемой задачи обработки информации инфракрасной системой с биологической обратной связью не может идти речь о таком объеме выборок. Если продолжительность процесса инфракрасной пелоидотерапии составляет примерно 20 минут, то максимальное время задержки реакции управляющей системы не может превышать 1 минуты. Это время согласовывается с задержкой реакции организма на тепловые воздействия, составляющие от единиц до десятков секунд. При этом выборка составляет от десяти до сотни измерений для каждого выходного признака. Учитывая их статистический характер и ограниченный диапазон существования при заданной интенсивности излучения, логично использование вероятностного анализа для данной совокупности.

Ранее были определены медицинские уровни состояния пациента применительно к условиям комфортного состояния пациента в камере инфракрасной пелоидотерапии [15]:

1. холодное – ощущается дискомфорт вследствие недостатка тепла;
2. умеренно теплое – отсутствие дискомфорта при движении;

3. теплое – комфортное состояние при отсутствии движения;

4. очень теплое – незначительное потовыделение кожного покрова;

5. горячее – температурный дискомфорт с повышением частоты сердечных сокращений и дыхания, обильное потоотделение.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что температурный диапазон таких состояний находится в пределах от 15°C до 45°C, при этом сопротивление кожного покрова меняется от 100 КОм до 100 Ом. Разбиение полученных значений текущих признаков при заданных температурах и нормировке значений:  $z = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$ , где  $x$  – среднее значение, от минимального до максимального значений, позволяет осуществить классификацию множества признаков на уровни комфортного состояния или кластеры. Если принять за пороговое значение четвертый кластер, соответствующий активному состоянию кожного покрова для процесса пелоидотерапии, то он может служить локальным управляющим признаком для изменения интенсивности инфракрасного излучения по цепи обратной связи. Учитывая разнородность свойств различных признаков можно дополнять основной признак в направлении, например, динамических характеристик, важных для системы управления. Формальное описание задачи кластеризации сводится к тому, что из данного множества объектов данных  $I$ , представленного набором атрибутов, необходимо создать множество кластеров  $C$  и отображение  $F$  множества  $I$  на множество  $C$ , т.е.  $F: I \rightarrow C$ .  $F$  задает модель данных и является решением задачи. Расстояние  $d(i_j, i_p)$  – это мера близости между объектами. Если расстояние меньше некоторого значения  $\sigma$ , то элементы входят в один кластер, если нет – разные. В качестве метрики обычно используется Евклидово расстояние, которое является геометрическим расстоянием в многомерном пространстве:

$$d_{Ei,j} = \left( \sum_{i=1}^m (x_i^j - x_i^p)^2 \right)^{1/2}.$$

Очевидно, что в рассматриваемом случае кластеры будут перекрывающимися, поэтому невозможно с помощью математических процедур отнести объект к определенному кластеру.

Функционирование автоматической системы управления при наличии человека с цепью обратной связи предполагает этап принятия решения. Поскольку принятие решения ориентировано на конкретного человека, то стандартные подходы, ориентированные на усредненные показатели, не обеспечивают положительного результата. Это

означає, що в початку проведення лікувального впливу керуюча система повинна підстроїтися під конкретного пацієнта, т.е. в умовах неопределенності визначити реперні точки (центри або межі кластерів), які потім можуть уточнюватися.

Формування рішення в умовах визначеності суттєво відрізняється від виробки рішень в умовах неопределенності, що полягає в тому, що ймовірності альтернатив не визначені однозначно і множина результатів відповідає кожному варіанту. Для зменшення рівня неопределенності необхідна інформація про те, який повинен бути результат пріоритетного рішення і процедура його досягнення. При такому підході функцію належності  $\alpha_A(x)$  нечіткому множині  $A$  елемента  $x$ , заданого на множині  $X$ , будемо розглядати як міру близькості  $x$  до прототипу  $A$  при трактуванні залежності  $A = \{x, \mu_A(x)\}$ . Аналогічно, з допомогою функції належності будемо здійснювати розподіл елементів множини на більш або менш бажані. При медичній інтерпретації даного тезису це означає, що існують визначені додаткові знання, які не враховані в даній моделі, але можуть впливати на результат прийняття рішення. З формальної точки зору,  $\alpha_A(x)$  можна трактувати як ступінь бажання або відповідності вибору  $x$  як значення змінної  $b$ . Можлива і інша трактування міри неопределенності, спрямована на прийняття рішень в автоматичних системах управління з біологічною зв'язкою:  $x \geq_A x'$ , т.е.  $x$  більше відповідає  $A$  ніж  $x'$ . Це дозволяє формувати керуючі рішення по сукупності локальних рішень, отриманих з джерел з різнорідними ознаками, що

відповідає розглядаваній ситуації багатокритеріальної оптимізації з нечіткою початковою інформацією.

Прийняття рішення про відповідність інтенсивності інфрачервоного опромінення шкіри людини комфортному стану лікування методом пеллоїдотерапії приймається по нечіткій інформації, тому виділимо послідовність етапів:

1. уточнення цілей і критеріїв важливості кожного признака в ланці біологічної зворотної зв'язки і відповідність його основної цілі системи – керуванню інтенсивністю випромінювання по нечітким вихідним ознакам;
2. формування варіантів рішень, що ведуть до досягнення цілі, враховують як біологічні особливості організму, так і часові показники реакції людини і технічної системи на входні впливи;
3. визначення достаточності неінвазивних вихідних ознак для досягнення цілі управління системою з біологічною зворотною зв'язкою;
4. побудова логічної моделі системи прийняття рішень, т.е. зв'язків між локальними цілями, варіантами рішень, часовими і інформаційними ресурсами;
5. визначення критерію вибору і кращого варіанта рішення.

#### Висновки.

1. Показано, що в системі з біологічною зворотною зв'язкою вихідні ознаки об'єкта нерівнозначні по значимості і їм об'єктивно притаманна неопределенність.
2. Представлено підхід забезпечення можливості прийняття рішення по керуванню системою інфрачервоною пеллоїдотерапії при нечіткості входної інформації.

#### Список літератури:

1. Прищепа І.М. Фізіологія людини і тварин: курс лекцій / І.М. Прищепа; М-во освіти РБ, УО «ВГУ ім. П.М. Машерова». Вітебськ: Вид-во УО «ВГУ ім. П. М. Машерова», 2005. 299 с.
2. Калиниченко А.Н. Про точність і достовірність спектральних методів розрахунку показників варіабельності серцевого ритму. Інформаційно-керуючі системи. 2007. № 6. С. 41–48.
3. Богатов Н.М., Гук В.Ф. Порівняльний аналіз методів розпізнавання електрокардіограмм. Інформаційні технології і комп'ютерні системи для медицини. 2006. С. 71–72.
4. Калиниченко А.Н. Комп'ютерні методи автоматичного аналізу ЕКГ в системах кардіологічного спостереження: дис. ... докт. техн. наук. Санкт-Петербург, 2008. 205 с.
5. Кавасма Р.А., Кузнецов А.А., Сушкова Л.Т. Автоматизований аналіз і обробка електрокардіографічних сигналів. Методи і система. М.: Сайнс-прес, 2006. 144 с.
6. Калиниченко А.Н. Про точність і достовірність спектральних методів розрахунку показників варіабельності серцевого ритму. Інформаційно-керуючі системи. 2007. № 6. С. 41–48.
7. Танєєв Р.М. Математичні моделі в задачах обробки сигналів. М.: Горюча лінія-Телеком, 2002. 83 с.

8. Nonlinear filtration of biomedical signals with the locally concentrated signs in task of structural identification. Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. Kharkov: NTU "KhPI", 2011. № 17. Pp. 168–174.

9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебное пособие. СПб.: Питер, 2006. 752 с.

10. Айфичер Э., Джервис Б. Цифровая обработка сигналов: Практический подход. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 992 с.

11. Файнзильберг Л.С. ФАЗАГРАФ – эффективная информационная технология обработки ЭКГ в задаче скрининга ишемической болезни сердца. Клиническая информатика и телемедицина. 2010. Т. 6. Вып. 7. С. 22–30.

12. Файнзильберг Л.С. Методи та інструментальні засоби оцінювання стану об'єктів за сигналами з локально зосередженими ознаками: автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.13.06 «Автоматизовані системи управління та прогресивні інформаційні технології». К., 2004. 35 с.

13. Філатова Г.Є. Структурна ідентифікація сигналів у кардіологічних системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.11.17. Харків, 2002. 177 с.

14. Лю Б. Теория и практика неопределенного. М.: БИНОМ, 2005. 416 с.

15. Гнатовская А.А., Мещеряков Д.В., Черепанова Е.В. Концепция преобразования данных инфракрасной системой с биологической обратной связью. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. 2018. Т. 29(68), № 2. С. 116–120.

### **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ДАНИХ В ІНФРАЧЕРВОНІЙ СИСТЕМІ З БІОЛОГІЧНИМ ЗВОРОТНИМ ЗВ'ЯЗКОМ**

*У статті розглянута задача обробки вихідних сигналів біологічного об'єкта, що знаходиться у ланцюзі зворотного зв'язку системи інфрачервоного опромінювання. Показано, що значимість вихідних ознак для прийняття рішення з управління системою неоднакова і припускає підпорядкованість локальних рішень. Запропоновано підхід обробки інформації, заснований на нечіткій кластеризації і прив'язці процесу прийняття рішень до центрального кластеру.*

**Ключові слова:** прийняття рішень, інфрачервоне випромінювання, біологічний зворотний зв'язок.

### **ANALYSIS OF METHODS OF DATA PROCESSING IN INFRARED SYSTEM WITH A BIOLOGICAL FEEDBACK**

*The article elucidated the problem of processing the output signals of a biological object which is located in the feedback loop of an infrared irradiation system. It was shown that the significance of the output characteristics for the decision making on the management of the system is not the same and assumes the subordination of local solutions. An information processing approach based on fuzzy clustering was proposed, and the decision-making process was linked to the central cluster.*

**Key words:** decision making, infrared irradiation, biological feedback.



**Мешков О.Ю.**

Херсонський національний технічний університет

## РОЗРОБКА ПЕРСОНІФІКОВАНОГО ГОЛОСОВОГО ЕТАЛОНУ ДЛЯ ЗАДАЧІ АУТЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИСТОСТІ

У статті досліджується можливість використання характеристик голосового сигналу людини для задачі аутентифікації. Розроблено персоніфікований голосовий еталон особистості, який передбачає формування локалізованих структур у просторі характеристик голосового сигналу. Досліджено особливості використання різних парольних фраз та базових сигналів для побудови цих структур.

**Ключові слова:** голосовий сигнал, аутентифікація, персоніфікований голосовий еталон.

**Постановка проблеми.** Для розв'язання задачі голосової аутентифікації нині використовується велика кількість різних методів, на основі яких будується сучасне програмне забезпечення. У більшості методів із голосового сигналу виділяється ряд характеристик і на основі порівняння їх із певними еталонами приймається аутентифікаційне рішення. При цьому важливим моментом є саме форма персоніфікованого еталону, який використовується при порівнянні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню процедур голосової аутентифікації та аналізу голосового сигналу приділяли значну увагу вітчизняні та зарубіжні вчені, зокрема: Я.П. Драган, А.П. Кравченко, Е.Г. Жилияков, В.Н. Сорокін, Є.А. Первушин, Д.С. Голубинський, А.Ю. Трубіна, Г. Фант, Дж. Фланаган, Л.Р. Рабінер, Т. Матсуї [1-4]. В основному їх дослідження спрямовані на розробку методів дослідження голосових сигналів у частотному просторі, що передбачає значну попередню обробку сигналу з метою виділення необхідних характеристик. Тому розробка сучасних методів, які передбачають виділення характеристик у часовому просторі у режимі реального часу, є доволі актуальною.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка та дослідження персоніфікованого еталону особистості на основі характеристик голосового сигналу у часовому просторі.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання:

1. охарактеризувати локалізовані структури, які формуються на основі характеристик голосового сигналу;

2. дослідити можливість використання різних парольних фраз для побудови цих локалізованих структур;

3. визначити базові сигнали, які найбільш чітко дадуть змогу розмежовувати ці структури у просторі характеристик голосового сигналу;

4. розробити персоніфікований еталон особистості за голосовим сигналом.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У попередніх роботах автора розроблено метод локальних максимумів із подальшим амплітудним уточненням. Цей метод використовується для вирішення часткової задачі сегментації сигналу, а саме виділення вокалізованих ділянок сигналу з потоку мови [5]. Кожна виділена вокалізована ділянка являє собою набір послідовних квазіперіодичних коливань і характеризується певною динамікою основної частоти сигналу та структури розподілу амплітуди у часовому просторі (рис. 1).

На основі двох виділених характеристик голосового сигналу – основної частоти сигналу та структури розподілу амплітуди – будується простір характеристик. Кожне одиничне коливання у такому просторі відповідатиме точці, координатами якої будуть ці характеристики. Для зведення структури розподілу амплітуди голосового сигналу до єдиного числового параметра використовується коефіцієнт середньоквадратичного відхилення структури сигналів, який для обробки сигналів у дискретних значеннях визначається як

$$K_T = \frac{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N (Y_{xj} - Y_{ij})^2 \Delta t}}{\sqrt{\frac{1}{T} \sum_{j=1}^N Y_{ij}^2 \Delta t}}, \quad (1)$$

де  $Y_{xj}, Y_{ij}$  – амплітуди  $j$ -го відліку введеного та базового сигналу;

$\Delta t$  – інтервали часу між відліками;

$T$  – період (тривалість) сигналів [6].

Загалом набір цих точок формуватиме у просторі деяку хмару, яку надалі називатимемо локалізованою структурою голосового сигналу (рис. 2).

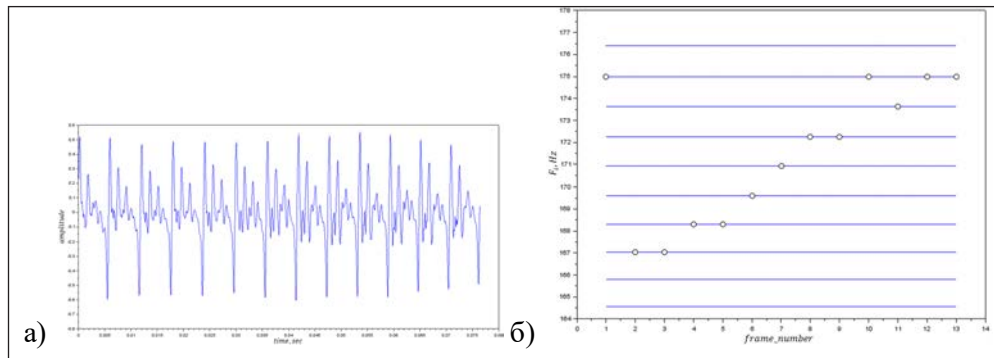


Рис. 1. Приклад вокалізованої ділянки голосу людини (а) та динаміки її основної частоти (б)

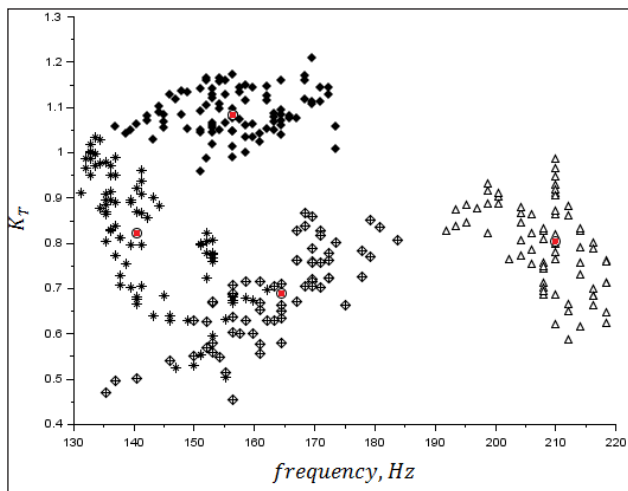


Рис. 2. Приклад формування локалізованих структур голосового сигналу

Залежно від того, яку парольну фразу використовує диктор для аутентифікації, може змінюватись конфігурація локалізованих структур, утворених у просторі характеристик голосового сигналу. Насамперед, це пов'язано з кількістю голосних звуків у фразі, яка визначатиме кількість цих структур. Також це пов'язано з комбінаціями приголосних та голосних звуків у словах. Річ у тому, що залежно від характеру супроводжуючих звуків один і той самий голосний звук може мати різне звучання з точки зору сприйняття та різну структуру з точки зору аналізу. Тому підбір парольної фрази є важливим моментом у формуванні персоналізованого голосового еталону людини.

У роботі використовувались фрази з різною кількістю вокалізованих ділянок для ряду дикторів різної статі, віку та антропометрії. Приклади конфігурації локалізованих структур для групи з 20 дикторів, отримані при цьому, подано на рис. 3. Усі вокалізовані ділянки виділялись з акустичного запису голосового сигналу за допомогою розро-

бленого методу локальних максимумів із подальшим подвійним кепстральним уточненням.

З огляду на отримані локалізовані структури, варто зауважити, що як парольна фраза однозначно не може бути використана фраза, в якій наявні виключно вокалізовані ділянки (рис. 3а). Причиною цього є те, що за відсутності приголосних звуків фраза «АУ» вимовляється протяжно. Як наслідок, у просторі характеристик вона формує ланцюгові структури, що відповідає значній динаміці як частоти, так і структури сигналу. Аналогічна ситуація спостерігається і у разі, коли дві вокалізовані ділянки динамічно переходять одна в одну, як у слові «Океан» (рис. 3в).

Також недоцільним є використання фраз, в яких повторюються однакові чи близькі голосні звуки. Якщо у випадку слова «Молоко» усі три звуки «О» формували різні локалізовані структури, то у випадку фрази «Усе добре» комбінація двох звуків «Е» з різних частин фрази мала однакову локалізацію (рис. 3 б, е). При подальшому аналізі вони можуть бути сприйняті як єдиний звук, що не є дійсним.

Наявність йотованих звуків на початку фрази також формує динамічну ланцюгову структуру, наприклад у слові «Їжачок» (рис. 3г). Водночас наявність йотованого голосного в середині слова, як у «Поїхали» (рис. 3д) спричинює появу динамічної ланцюгової структури не в самому йотованому звуці, а у голосному, який йому передус.

Тому наявність йотованого голосного у парольній фразі також не є доцільною. При застосуванні описаних процедур досить часто серед виділених локальних максимумів отримуються ті, що відповідають сонорним приголосним, які людина вимовляла з особливою чіткістю, зокрема «Р» на початку фрази «Справи ідуть добре». Усі ж інші локальні максимуми для даної фрази відповідають голосним звукам. Від-



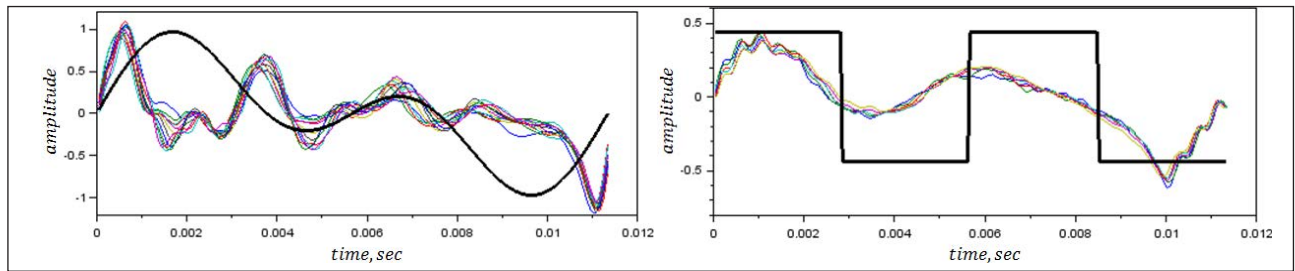


Рис. 4. Приклади базових сигналів, що аналізувались у процесі дослідження, накладені на різні звуки голосу людини (подвійна гармоніка та відповідний їй імпульсний сигнал)

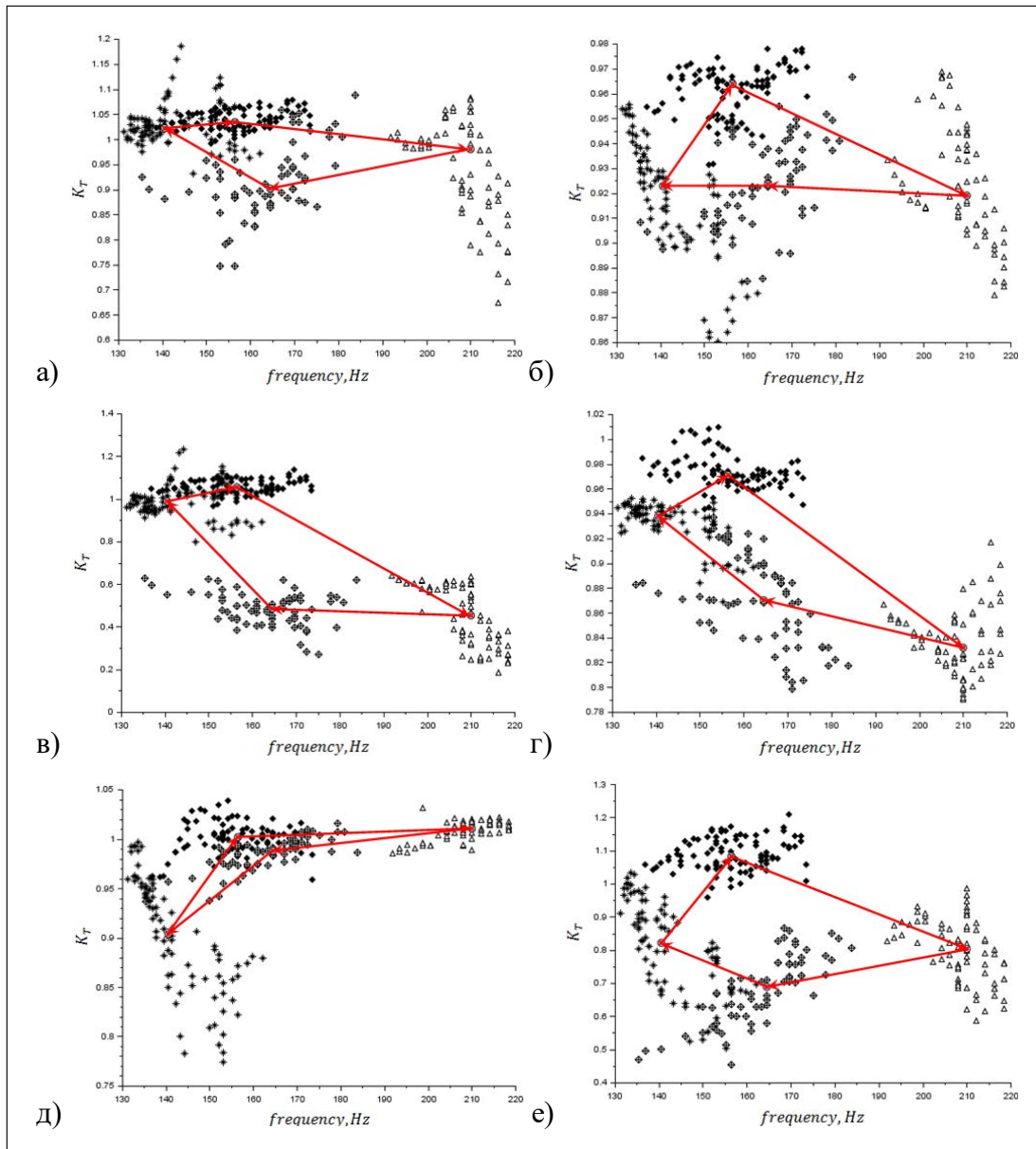


Рис. 5. Типова форма локалізованих структур одного диктора, утворених на основі різних базових сигналів

те, що наприкінці фрази звук починає переходити у фазу гасіння, голосовий апарат використовує на нього менше енергії і він за характеристиками стає подібним до перехідного процесу. З іншого

боку, якщо людина спеціально робить логічний наголос на цьому звуці, характеристики його максимуму будуть на рівні інших голосних звуків паролльної фрази. При цьому здебільшого голо-

Розрахунковий критерій оптимальності базового сигналу

Диктор	Одинична гармоніка	Одиничний імпульс	Дві гармоніки	Подвійний імпульс	Три гармоніки	Потрійний імпульс
1	2,280725	2,147323	1,703720	1,627341	2,124992	2,072514
2	2,717681	2,672270	1,409259	1,765154	2,938353	2,818793
3	2,174144	2,218394	1,768177	1,593370	2,007627	2,076515
4	1,157025	1,598765	1,362184	1,624920	2,495515	2,281771
5	2,696152	2,369970	2,551286	2,534524	1,126795	1,146160
6	1,135752	1,566920	1,482608	1,488141	2,588811	2,687620
7	1,042327	1,105082	1,969038	1,831148	1,848160	1,694886
8	1,036834	1,668583	1,780740	1,535735	2,718052	2,739350
9	2,583295	2,292492	1,735588	1,841599	2,022537	2,075440
10	1,096441	1,418680	2,733767	2,988863	2,121742	1,879209
11	2,417704	2,206978	1,707254	1,788234	1,136529	1,014703
12	1,501837	1,766988	2,296648	2,750775	1,691384	1,738740
13	2,105675	2,131133	1,075725	1,358237	1,590708	1,607094
14	2,126002	2,062242	1,668374	1,544751	2,710007	2,478667
15	2,745217	2,748215	1,172995	1,331794	1,950807	1,679071
16	2,461466	2,981093	2,276191	2,460632	1,977408	1,931138
17	1,154109	1,287459	1,850514	1,550112	2,885515	2,337230
18	1,315872	1,234402	2,640302	2,422446	1,884617	1,756798
19	1,219759	1,019483	2,995053	2,535778	1,768235	1,512491
20	2,831745	2,863388	2,621534	2,689634	2,000080	1,729218

сний «Е» наприкінці фрази не потрапляв до виділених вокалізованих ділянок. Усі ж інші вокалізовані ділянки, які відповідають голосним звукам «А», «И», «У» та «О», мають чіткі локальні максимуми. Вони формують у просторі характеристик компактні структури, які у більшості дикторів не мають ланцюгового характеру. З огляду на це для подальшого дослідження було прийнято рішення використовувати саме цю фразу.

У той же час для різних задач аутентифікації чи діагностики стану людини цілком можливим є використання інших парольних фраз чи звукових комбінацій, які як наявні у цьому дослідженні, так і відсутні у ньому.

Таким чином, за допомогою розробленого методу локальних максимумів із парольної фрази «Справи ідуть добре» виділяється чотири вокалізовані ділянки, які відповідають голосним звукам «А», «И», «У» та «О». Однак для формування оптимальних локалізованих структур у просторі характеристик «частота–структура» необхідно підібрати такий базовий сигнал, який дасть змогу чітко розмежувати отримані чотири структури у просторі. З цією метою було розглянуто можливість використання низки сигналів. Дослідження проводилось на гармонійних сигналах з однією, двома та трьома гармоніками та відповідних імпульсних сигналах з одиничною скважністю.

Амплітуда кожного сигналу приводилась до максимального рівня аналізованого сигналу (рис. 4).

Для кожного аналізованого звуку у межах однієї фрази використовувався один і той самий базовий сигнал. Завдяки цьому у просторі основних характеристик голосового сигналу «частота–структура» формувались локалізовані структури різної форми та локалізації (рис. 5). Для формування кожної такої структури використовувалось від 5 до 20 записів парольної фрази.

На рис. 5. вказано середньозважені центри локалізованих структур, які утворюються у просторі характеристик, а також послідовність їх вимови.

Як критерій оптимальності базового сигналу було обрано довжину траєкторії голосу у цьому просторі характеристик. Під довжиною траєкторії голосу у цьому разі розуміється сума відстаней між двома послідовними локалізованими структурами у порядку їх вимови (А-И-У-О). При цьому значення частоти сигналу ділилось на 100, щоб звести вплив кожної характеристики до одного рівня. Результати розрахунків цього критерію для кожного з аналізованих базових сигналів для групи з 20 дикторів подано у таблиці 1.

На основі аналізу цієї характеристики очевидним є той факт, що не можна визначити один єди-

ний базовий сигнал, який був би оптимальним для усіх людей. Причиною цього є, насамперед, саме індивідуальність людського голосу. Якщо для розмежування локалізованих структур однієї людини оптимальною є одинична гармоніка, то для іншої людини це цілком може досягатись використанням подвійного імпульсу чи взагалі іншого сигналу, який не було розглянуто у процесі цього дослідження.

У той же час за допомогою програмних засобів цілком можливо реалізувати гнучке використання базового сигналу. При формуванні бази цих акустичних записів кожної людини програмний продукт може розраховувати довжину траєкторії голосу у просторі характеристик для кожного із використовуваних базових сигналів. На основі розрахункового значення цього критерію система для кожного диктора підбиратиме оптимальний базовий сигнал і використовуватиме саме його для формування структур.

Тим самим у системі аутентифікації особистості індивідуальні особливості її голосового сигналу фактично враховуватимуться двічі – і при підборі оптимального базового сигналу, і при визначенні критерію аутентифікації особистості. Розробка та дослідження цього критерію будуть проведені у подальшому. При цьому варто зауважити, що виключно оптимальний базовий сигнал не можна вважати критерієм аутентифікації,

оскільки цілком можливо, що для двох чи більше різних людей оптимально буде використовувати один і той самий вид базового сигналу.

**Висновки.** У роботі розроблено персоніфікований еталон особистості на основі характеристик голосового сигналу. Ці характеристики виділяються з голосового сигналу за допомогою попередньо розроблених автором алгоритмів. На основі цих характеристик будуються локалізовані структури у просторі характеристик голосового сигналу, кожна з яких відповідає окремій фонемі. Досліджено можливість використання різних парольних фраз для побудови цих локалізованих структур. Показано, що найбільш доцільно використовувати парольні фрази з найбільшою кількістю різних голосних звуків, без йотованих та комбінацій двох голосних звуків поруч. З огляду на це, парольною фразою для цього дослідження обрано фразу «Справи йдуть добре». Визначено, що найбільш чіткого розмежування локалізованих структур у просторі характеристик голосового сигналу можна досягти, використовуючи різні види базових сигналів. При цьому для кожного диктора вид цього сигналу також є індивідуальним. Тому запропоновано у розробленому персоніфікованому голосовому еталоні особистості підбирати базовий сигнал на основі розробленого критерію довжини траєкторії голосу у просторі характеристик.

#### Список літератури:

1. Сулавко Е.А., Еременко А.В., Борисов Р.В. Генерация криптографических ключей на основе голосовых сообщений. Прикладная информатика / Journal of Applied Informatics. 2016. № 5 (65). С. 78–91.
2. Жилияков Е.Г., Прохоренко Е.И., Болдышев А.В., Фирсова А.А., Фатова М.В. Сегментация речевых сигналов на основе анализа особенностей распределения долей энергии по частотным интервалам. Вестник НТУ ХПИ. 2011. № 17. С. 44–50.
3. Первушин Е.А. Обзор основных методов распознавания дикторов. Математические структуры и моделирование. 2011. Вып. 24. С. 41–54.
4. Трубина А.Ю. Компьютерная обработка речи. Задача определения личности говорящего. Перспективы развития информационных технологий. 2013. № 12. С. 233–238.
5. Мешков О.Ю., Новіков О.О., Злепко С.М. Метод локальних максимумів для виділення вокалізованих ділянок голосового сигналу людини. Вісник Хмельницького національного університету. 2018. № 6. С. 197–210.
6. Понизов А.Г. Устройство и методика формирования тестовых акустических сигналов эквивалентных камертону для оценки качества слуха: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.13.05 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления». Томск, 2012. 20 с.

#### РАЗРАБОТКА ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОГО ГОЛОСОВОГО ЭТАЛОНА ДЛЯ ЗАДАЧИ АУТЕНТИФИКАЦИИ ЛИЧНОСТИ

*В статье исследуется возможность использования характеристик голосового сигнала человека для задачи аутентификации. Разработан персонифицированный голосовой эталон личности, который предусматривает формирование локализованных структур в пространстве характеристик голосового сигнала. Исследованы особенности использования разных парольных фраз и базовых сигналов для построения данных структур.*

**Ключевые слова:** голосовой сигнал, аутентификация, персонифицированный голосовой эталон.

**A PERSONIFIED VOICE STANDARD DEVELOPMENT  
FOR THE TASK OF THE PERSONAL AUTHENTICATION**

*The article investigates the possibility of human voice signal characteristics for the task of the authentication. A personified voice standard that involves the formation of localized structures in human voice characteristics space is developed. The peculiarities of different passphrases and base signals using for construction these structures are explored.*

**Key words:** *voice signal, authentication, personified voice standard.*

*Мухи Алдин Хассан Мохамед*

Одесский национальный политехнический университет

*Ткачева Е.Б.*

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

## КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕПЛИКАЦИИ ДАННЫХ В ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМЫХ СЕТЯХ

*В статье предложена модель формирования, предоставления комплексного сервиса и метод динамической репликации, позволяющие повысить доступность сервисов в программно-конфигурируемых сетях. Проведен обзор общеизвестных методов репликации, которые нашли широкое применение в распределенных сетях, приведены их основные преимущества и недостатки. На основании результатов проведенного анализа и с учетом особенностей формирования сервисов предложен метод, который включает в себя решение таких задач: оценки популярности сервиса и выбора момента запуска операции репликации на основании значения порога репликации; вычисления оптимального количества реплик и их размещения на вычислительных узлах; проверки непротиворечивости новой реплики сервиса уже существующим в сети.*

**Ключевые слова:** *сети SDN, уровень QoS level, протокол OpenFlow, динамическая репликация, моновалентный сервис, ToS.*

**Постановка проблемы.** Возрастающие бизнес-потребности как отдельных пользователей и организаций обусловили рост популярности и стремительного развития новых сетевых решений: программно-конфигурируемых сетей, сетей с поддержкой функций виртуализации, cloud систем обработки и хранения данных. Анализ рынка инфокоммуникаций [1–4] показал, что провайдеры и крупные IT-организации для обеспечения требуемого качества обслуживания (Quality of Service, QoS) и снижения стоимости предоставляемых услуг все чаще прибегают к использованию концепции программно-конфигурированных сетей (Software-Defined Networking, SDN) [1–3].

В основе концепции SDN лежит идея отделения уровня управления сетью (control plane) от уровня передачи данных (forwarding plane) [2; 3]. Логика принятия решений и функции управления передачей данных переносятся на контроллер – сетевой элемент, обеспечивающий централизованное управление и мониторинг [4; 5]. К основным преимуществам SDN относятся адаптивность, высокая производительность и адаптивность. В соответствии со статистическими данными [6; 7] применение концепции SDN позволяет значительно снизить материальные затраты на такие виды услуг, как модернизация сервисов, управление, администрирование и техническая поддержка.

Однако при переходе от традиционных принципов построения к концепции SDN ряд проблем

остается нерешенным: отказы систем хранения данных, избыточность сетевых ресурсов, невысокая отказоустойчивость периферийного оборудования являются основными причинами, вызывающими деградацию QoS в SDN [8]. Наиболее эффективными и распространенными решениями быстрого устранения подобных сбоев и восстановления требуемого уровня QoS на сегодняшний день являются механизмы кластерной [9] и/или глобальной репликации [10] данных. Применение репликации позволяет повысить производительность и надежность сети в целом [9–11].

### **I. Обзор методов репликации в программно-конфигурируемых сетях**

На сегодняшний день множество работ посвящено разработке и усовершенствованию механизмов репликации данных в распределенной сетевой инфраструктуре [9–11]. В современных источниках механизмы репликации классифицируются так: статическая и динамическая, централизованная и децентрализованная, синхронная и асинхронная репликация, каждая из которых находит свое применение в зависимости от топологии и масштабов сети, а также территориального размещения вычислительных элементов [11–14]. Анализ существующих решений показал, что широкое практическое применение приобрела методика динамической асинхронной репликации данных. Основным преимуществом методики является сравнительно низкие служебных и поль-



зовательских данных, передаваемых в процессе репликации.

Методам динамической репликации посвящены работы [15–19]. Совершенствование стратегии динамической репликации приведено в работе японских ученых T. Ikeda, M. Ohara и S. Fukumoto [15]. Применение асинхронного режима репликации с возможностью сохранения нескольких экземпляров копий сервиса на вычислительном узле является основной особенностью предложенного авторами метода [15]. Выбор определенного экземпляра реплики вычислительным элементом осуществляется на основе ее популярности. Управление и поддержка нескольких экземпляров сервиса в данном случае является ресурсоемкой задачей – количество сервисов, а, следовательно, и количество реплик неуклонно растет, что приводит к иррациональному использованию сетевых ресурсов.

В работе [16] основное внимание уделено вопросам формирования оптимального количества копий и их распределения между вычислительными устройствами. Однако алгоритм репликации, предложенный в этой работе, не позволяет учитывать вероятность и причины отказа в обслуживании. Так, обращения к вычислительному элементу, от которого получен отказ в обслуживании, могут повторяться снова и снова, приводя к потерям пакетов и деградации качества обслуживания.

В работе [17] предложена методика хранения и формирования реплик, которая позволяет обеспечивать динамическое распределение сетевых ресурсов между несколькими пользователями или приложениями путем анализа популярности и стоимости использования услуг. Распределение сетевых ресурсов между приложениями выполняется динамически и зависит от типа сервиса и требований QoS. Эффективность данного подхода в процессе предоставления высококачественного контента ограничена из-за длительности времени принятия решения о необходимости репликации и низкой точности распределения сетевых ресурсов.

В работе [18] рассмотрены механизмы асинхронной репликации, а также предложена комплексная методика, которая позволяет уменьшить объемы передаваемых данных и нивелировать противоречия между репликами. Однако возникновение большого количества запросов, обращенных к одному и тому же вычислительному устройству одновременно может привести к его перегрузке и, как следствие, отказу в обслуживании. Кроме этого, оригинал услуги или ее основ-

ная копия всегда должны быть доступны, что накладывает ряд ограничений на использование предложенного метода.

Two-level Distributed Hash Table метод предложен в [19]. В предлагаемом подходе определяется необходимость формирования реплики на основе информации о ее популярности. Решение о размещении реплики принимается на основе двух критериев: основной локации запросов пользователей на предоставление сервиса и физических характеристик вычислительных узлов.

Приведенные выше подходы нашли широкое применение в процессе управления распределенной сетевой инфраструктурой. Однако их непосредственное применение в SDN затруднительно в силу ряда причин, связанных с высокими затратами сетевых ресурсов в процессе распределения и хранения реплик [15], отсутствием методов переадресации запросов на вычислительный узел, содержащий реплику [17], отсутствием учета производительности вычислительных элементов, на которых размещена реплика, [16] и механизмов балансировки сетевой нагрузки в процессе распределения и использования реплик услуги [18; 19].

Таким образом, в условиях применения репликации сервисов как метода повышения их доступности и обеспечения требуемого качества обслуживания в SDN известные решения должны быть пересмотрены в сторону повышения их эффективности, что обуславливает актуальность задачи управления количеством и расположением реплик, в частности подзадач определения момента принятия решения о формировании реплик сервиса, определения необходимого минимального количества реплик и выбора их месторасположения, а также установления момента принятия решения о непротиворечивости новой реплики сервиса в контексте их применения в SDN.

## II. Модель процесса предоставления комплексных сервисов

Как было отмечено, контроллер является ключевым элементом системы управления в сетях, построенных на основе концепции SDN. Производительность сети и качество предоставляемых окончательно пользователю сервисов всецело зависят от функциональных особенностей контроллера и принципов его взаимодействия с рядом других вспомогательных модулей управления, таких как планировщик задач, балансировщик нагрузки, модуль оркестрации сервисов, брокер репликации и прочих [3], которые поставляют контроллеру актуальную информацию о состоянии подчиненных ему фрагментов сети (рис.1).

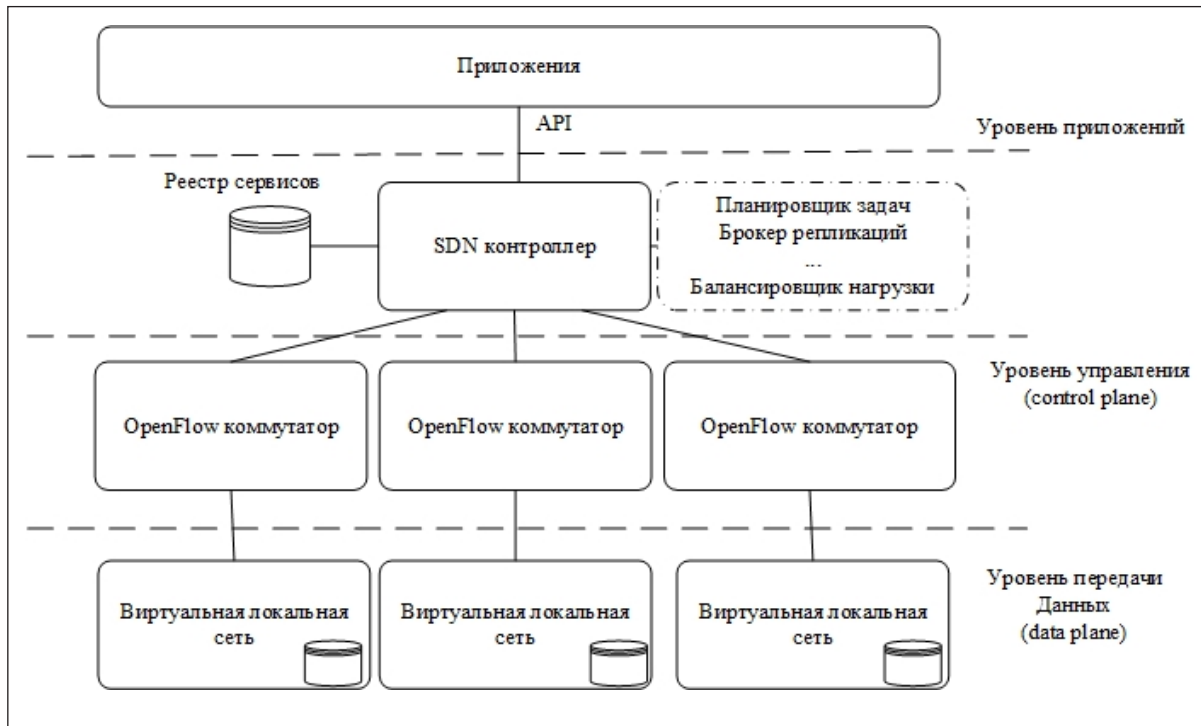


Рис. 1. Архитектура программно-конфигурируемой сети

Процесс предоставления сервисов представляет собой следующую последовательность действий: потребитель сервиса запрашивает определенный набор услуг, требования потребителя посредством OpenFlow коммутатора передаются на контроллер. Контроллер, на основании информации о текущем количестве услуг и их местоположении, формирует ответ, в котором указывает данные для доступа к требуемому сервису. В случае ввода нового сервиса информация о нем передается непосредственно контроллеру, который заносит данные об услуге в каталог сервисов [3; 19; 20].

Процесс предоставления сервисов представляет собой следующую последовательность действий: потребитель сервиса запрашивает определенный набор услуг, требования потребителя посредством OpenFlow коммутатора передаются на контроллер. Контроллер на основании информации о текущем количестве услуг и их местоположении формирует ответ, в котором указывает данные для доступа к требуемому сервису. В случае ввода нового сервиса информация о нем передается непосредственно контроллеру, который в свою очередь, заносит данные об услуге в каталог сервисов [3; 19; 20]. Детализированный сценарий формирования и схема предоставления комплексного сервиса в SDN сети приведены на рис. 2.

Предположим, что множество потребителей сервиса определено как множество

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ , множество предоставляемых сервисов определено как  $SC = \{SC_1, SC_2, \dots, SC_n\}$ , где  $SC_i$  – комплексный сервис, который формируется посредством композиции атомарных сервисов  $sa_{ki} : SC_i = \{sa_{i1}, sa_{i2}, \dots, sa_{ki}\}$ .

Результирующее решение о формировании и предоставлении комплексного сервиса осуществляется на основании информации об атомарных сервисах, входящих в его состав и их месторасположении в сети.

SDN обладает множеством локальных каталогов сервисов (рис. 1). Каждый локальный каталог сервисов  $KC_y[sa]$ , закреплен за определенной VLAN или LAN, сформированной посредством объединения нескольких OpenFlow коммутаторов [1; 3]. Каждый  $KC_y[sa]$  имеет свою область обслуживания, границы которой определяются поставщиком услуг в процессе конфигурирования сети.

В случае использовании такого подхода информация о каждом  $i$ -м сервисе  $SC_i$ , которая хранится в локальном каталоге сервисов  $KC_y[sa]$ , содержащемся в каждой зоне обслуживания, характеризуется множеством следующего вида:

$$KC_y[sa] = \{l(sa), c(sa), t(sa), p(sa), r(sa)\}, \quad (1)$$

где  $l(sa)$  – локация атомарного сервиса,  $c(sa)$  – стоимость сервиса,  $t(sa)$  – время отклика,  $p(sa)$  – производительности вычислительного узла, на котором размещен сервис,  $r(sa)$  – надежность.



Рис. 2. Сценарій надання сервісів в програмно-конфігуруємих мережах

В глобальному каталозі сервісів міститься повна інформація про сервісах, надаваних в даній мережній архітектурі. Структура глобального каталогу представляє собою упорядкований масив виду:

$$KCG[sa] = \{KC_{i1}(sa), KC_{i2}(sa), \dots, KC_{ij}(sa)\}. \quad (2)$$

Результуюче значення при формуванні комплексного сервісу в SDN має функція інтеграції атомарних сервісів, яка дозволяє визначати значення/вагові коефіцієнти кожного атомарного сервісу, що входить до складу комплексного. Функція інтеграції атомарних сервісів має наступний вигляд:

$$IF(SC_i) = K_1(sa_{i1}) + K_2(sa_{i2}) + K_3(sa_{i3}) + \dots + K_k(sa_{ik}), \quad (3)$$

де  $K_1, K_2, \dots, K_k$  – вагові коефіцієнти атомарних сервісів. Результуюче рішення про склад комплексного сервісу визначається виходячи з вагових коефіцієнтів атомарних сервісів.

SDN контролер аналізує склад комплексного сервісу, визначає композицію і місцезнаходження атомарних сервісів в залежності від ряду факторів: навантаженості мережних ресурсів, політики обслуговування постачальника послуг, пріоритету і об'ємів надаваної послуги і т.д.

Основними вимогами, при формуванні комплексного сервісу є такі [21]:

- наявність кінцевого множини атомарних сервісів;
- QoS показники і вартість результуючого комплексного сервісу повинні відповідати вимогам до якості обслуговування, затвердженим в SLA:

$$QoS(SC_i) = K_1(sa_{i1}) + K_2(sa_{i2}) + \dots + K_k(sa_{ik}) = \sum_{k=1}^n K_k \cdot sa_{ki} \rightarrow \max; \quad (4)$$

$$QoS(SC_i) \geq QoS_{SLA}(SC_i).$$

$$C_s(SC_i) = c_1 \cdot sa_{i1} + c_2 \cdot sa_{i2} + \dots + c_k \cdot sa_{ik} = \sum_{k=1}^n c_k \cdot sa_{ki} \rightarrow \min; \quad (5)$$

$$C_s(SC_i) \leq C_{sSLA}(SC_i),$$

де  $QoS(SC_i)$  – результуюче значення якості комплексного сервісу;  $QoS_{SLA}(SC_i)$  – якість комплексного сервісу, узгоджене в SLA,  $c_1, c_2, \dots, c_k$  – вартість атомарних сервісів,  $C_s(SC_i)$  – результуюче значення вартості комплексної послуги,  $C_{sSLA}(SC_i)$  – значення вартості, відповідне SLA.

### III. Метод динамічної реплікації сервісів в програмно-конфігуруємих мережах

Представлений метод реплікації включає в себе наступні етапи:

#### Прийняття рішення про необхідність реплікації сервісів

Прийняття рішення про необхідність реплікації сервісів здійснюється на основі результатів аналізу його популярності і ступеня деградації QoS з ростом його популярності. Як зазначено в роботах [16, 18] значення порога реплікації впливає на частоту формування і розподілу копій сервісу.

Вибір значення порога реплікації залежить від ряду факторів: об'єму даних, які повинні бути передані при реплікації, значення ToS (Type of Service) і поточних фізичних характеристик мережі, що впливають на доступність послуги. Тоді порогове значення реплікації може бути представлено як:

$$Th(SC_i) = f(val(SC_i), ToS(SC_i), A(SC_i)), \quad (7)$$

где  $val(SC_i)$  – объем данных, переданных по сети в процессе предоставления сервиса,  $ToS(SC_i)$  – приоритет сервиса,  $A(SC_i)$  – значение доступности сервиса,  $A(SC_i)$  носит переменное значение, зависящее от таких факторов, как текущая популярность сервиса и значение производительности вычислительного узла, на котором расположен сервис.

Взаимосвязь между порогом репликации и производительностью вычислительного узла, на котором размещен сервис, определяется следующим образом:

$$Th(SC_i) = K_R \cdot p(SC_i), \quad (8)$$

где  $K_R$  – коэффициент, определяющий требования к репликации. Если значение  $K_R < 1$ , то репликация выполняется с целью предотвращения отказов в обслуживании. При  $K_R > 1$  основной целью репликации является разгрузка вычислительного узла при значительном увеличении потока заявок.

Если количество запросов на предоставление  $i$ -го сервиса, поступивших из одного фрагмента сети, превышает порог репликации:

$$cnt(Req(SourceIP), KC_j[SC_i]) > Th(SC_i) \quad (9)$$

и приводит к ухудшению качества сервиса, то брокер принимает решение о необходимости запуска процесса репликации.

#### **Определение количества реплик и их расположение в сети**

С целью обеспечения гарантированного качества услуг в процессе репликации данные переносятся в тот фрагмент сети, где популярность услуги превышает граничный предел.

Учитывая тот факт, что запрашиваемый пользователем сервис не всегда может находиться в рамках области обслуживания локального каталога сервисов  $KC_j[SC_i]$ , а также то, что популярность удаленного сервиса может со временем увеличиться, в распределенных сетях, в частности SDN применяется два вида репликации: локальная и удаленная [18; 20].

Необходимость в локальной репликации возникает тогда, когда к определенному сервису в сети резко возрастает количество запросов от потребителей этой сети и это приводит к появлению отказов. Таким образом, создание дополнительной реплики при локальной зоне позволяет повысить доступность и производительность запрашиваемого сервиса, путем перераспределения запросов между репликами.

Необходимость в удаленной репликации возникает в том случае, когда количество запросов

из одного участка сети к определенному удаленному ресурсу значительно возрастет. С целью уменьшения трафика передаваемого по сети, а также сокращения времени доступа к ресурсу запускается процесс репликации. Основное преимущество использования удаленной репликации состоит в том, что доступ к сервисам может выполняться локально, без поглощения сетевого трафика и задержек.

Количество реплик  $i$ -го сервиса, распределенных между фрагментами сети, определяется следующим образом:

$$n_R(SC_i) = \left\lfloor \frac{F_{R(SourceIP)}(SC_i)}{\sum F_R(SC_i)} \times mSC_i \right\rfloor, \quad (10)$$

где  $F_{R(SourceIP)}(SC_i)$  – фактор репликации, соответствующий определенному фрагменту сети,  $\sum F_R(SC_i)$  – суммарный фактор репликации,  $mSC_i$  – общее количество созданных копий сервиса.

#### **Проверка непротиворечивости реплик**

При выполнении синхронной репликации в качестве протокола обеспечения непротиворечивости предложено использовать протокол первичного архивирования [21]. В случае внесения изменений в первичный экземпляр сервиса информация о его обновлении пересылается в локальный каталог сервисов, принадлежащий данной зоне, и глобальный каталог, находящийся на уровне управления. SDN контроллер обеспечивает проверку содержимого глобального каталога и в случае, если обнаружены копии услуги, посредством протокола OpenFlow выполняется обновление обнаруженных копий.

На основании решения приведенных выше задач (2) – (8) может предложен комплексный метод динамической репликации сервисов в SDN (рис. 3).

Приведенный на рис. 3 комплексный метод динамической репликации включает выполнение трех этапов: своевременное принятие решения о необходимости формирования реплики сервиса и проведения операции репликации; определение количества и выбор месторасположения реплик; обеспечение непротиворечивости новой реплики с существующими сервисами. Применение данного метода позволяет системе управления гибко адаптировать сетевые ресурсы в соответствии с требованиями пользователей, что способствует оперативному предоставлению сервисов и повышению уровня качества обслуживания в SDN.

**Выводы.** Внедрение концепции программно-конфигурируемых сетей позволяет повысить уровень качества предоставляемых сервисов. Главным образом, повышение достигается за счет перераспределения функций: функции передачи

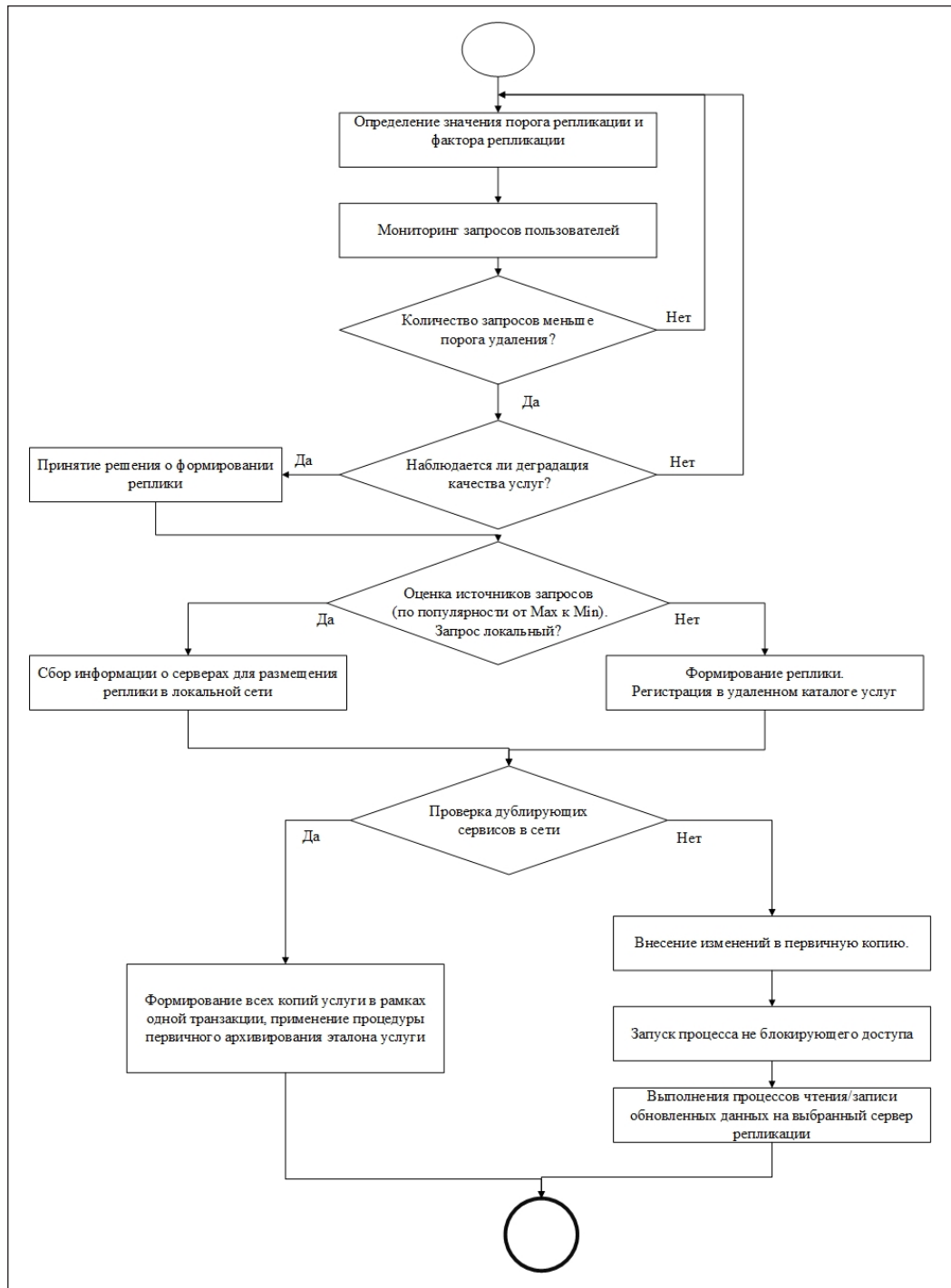


Рис. 3. Метод динамической репликации сервисов

данных выносятся на периферийное и оконечное оборудование, в то время как функции управления закрепляются за контроллером.

Однако при использовании концепции SDN ощутимое улучшение качества сервисов затруднительно в силу следующих причин: отказы систем хранения данных, избыточность сетевых ресурсов, невысокая отказоустойчивость периферийного оборудования и т.д.

В статье предлагается подход, позволяющий повысить качество предоставляемых сервисов путем внедрения разработанного метода динамической репликации. Предлагаемый метод состоит из следующих этапов: выбора момента репликации, расчета количества и месторасположения реплик, проверка непротиворечивости реплики существующим. В качестве критериев принятия решения о необходимости репликации

выступают порог репликации, популярность сервиса, производительность вычислительных устройств и локация запросов. Применение предложенной модели формирования и предо-

ставления сервисов, а также динамического метода репликации позволяет своевременно определять причины деградации качества сервисов и устранять их.

#### Список литературы:

1. SDN architecture. Open Networking Foundation. 2016. 68 p. URL: [https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/TR\\_SDN\\_ARCH\\_1.0\\_06062014.pdf](https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/TR_SDN_ARCH_1.0_06062014.pdf) (viewed: 12.09.2018).
2. Feamster N., Rexford J., Zegura E. The Road to SDN: An Intellectual History of Programmable Networks. ACM Queue. 2013. P. 20–40.
3. Egawa T. SDN standardization Landscape from ITU-T Study Group. ITU Workshop on SDN, Geneva, Switzerland. 2013. 4 June. 22 p.
4. Costas N. Atanasova I. K. OpenFlow and SDN. Technical Report. Technical Report CESGA-2014-001. 2014. 64 p.
5. Issam S. Mathematical models for analysis Software-Defined Network. Information Technologies & Knowledge. 2015. Vol. 9. No.2. P.111–123.
6. Lawrence S. Software Engineering: Theory and Practice. Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall, 2001. 630 p.
7. Infonetics Research, Inc. SDN and NFV Strategies: Global Service Provider Survey. 2014. 39 p. URL: <http://alu.us.neolane.net/res/img/286758382c7e061c52883e873cee02e6.pdf> (viewed: 12.09.2018).
8. Akyildiz I. F. A roadmap for traffic engineering in SDN-OpenFlow networks. Computer Networks. 2014. Vol. 71. No.4. P. 1–30.
9. Stantchev V. Effects of Replication on Web Service Performance in WebSphere // ICSI Technical Report TR-08-003. 2008. 72 p.
10. Yousefi A. Request Replication: An Alternative to QoS Aware Service Selection. Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Service-Oriented Computing and Applications, SOCA. 2011. P. 1–14.
11. Khan S.U., Ahmad I. Comparison and analysis of ten static heuristics-based internet data replication techniques. Parallel Distrib. Comput. 2008. No. 68(2). P. 113–136.
12. Malik S. U., Madani S. A., Khan S. U. Performance analysis of data intensive cloud systems based on data management and replication: a survey. Distributed and Parallel Databases. 2016. Vol.34, No.2. P. 179–215.
13. Chang R. S. Chang H. P. A dynamic data replication strategy using access-weights in data grids. Journal of Supercomputing. 2008. Vol.45. No.3. P. 277–295.
14. Kia H.S. Khan S.U. Server replication in multicast networks. In: 10th IEEE International Conference on Frontiers of Information Technology (FIT). Islamabad, Pakistan. 2012. P. 337–341.
15. Ikeda T., Ohara M., Fukumoto S. A distributed data replication protocol for file versioning with optimal node assignments. In: Proceedings of IEEE International Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing 2010. 2010. P. 117–125.
16. Wei Q., Veeravalli B., Gong B. and all CDRM: A cost-effective dynamic replication management scheme for cloud storage cluster. In: IEEE International Conference on Cluster Computing. 2010. P. 188–197.
17. Bonvin N., Papaioannou T.G., Aberer K. A self-organized, fault tolerant and scalable replication scheme for cloud storage. In: Proceedings of the Symposium on Cloud Computing, Indianapolis, USA. 2010. P. 205–216.
18. Khan S., Ahmad I. Heuristic-based replication schemas for fast information retrieval over the internet. In: Proceedings of 17th International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems. 2004. P. 278–283.
19. OpenFlow Switch Consortium and Others. OpenFlow Switch Specification Version 1.2.0. OpenFlow Switch Consortium and Others. 2011. URL: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/> (viewed: 12.09.2018).
20. Yang Y., Tang S., Xu Y. and all. An Approach to QoS-Aware Service Selection in Dynamic Web Service Composition . In: 3rd IEEE International Conference on Networking and Services (ICNS). 2007. P.18–23.
21. Дейт К. Дж. Введение в системы баз данных. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2005. 1328 с.

#### КОМПЛЕКСНИЙ МЕТОД ДИНАМІЧНОЇ РЕПЛІКАЦІЇ ДАНИХ У ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖАХ

*У статті запропоновано модель формування та надання комплексного сервісу і метод динамічної реплікації, що дозволяють підвищити доступність сервісів у програмно-конфігурованих мережах. Проведено огляд загальновідомих методів реплікації, які знайшли широке застосування в розподілених мережах, наведено основні переваги та недоліки. На підставі результатів проведеного аналізу та з*

урахуванням особливостей формування сервісів у програмно-конфігурованих мережах запропоновано метод, який включає в себе вирішення таких завдань: оцінки популярності сервісу та вибору моменту запуску операції реплікації на підставі значення порога реплікації; обчислення оптимальної кількості реплік і розміщення на обчислювальних вузлах; перевірки несуперечності нової репліки сервісу із тими, що вже існують у мережі.

**Ключові слова:** мережі SDL, рівень QoS level, протокол OpenFlow, динамічна реплікація, моновалентний сервіс, ToS.

#### **AN INTEGRATED METHOD FOR DYNAMICALLY REPLICATING DATA IN SOFTWARE-CONFIGURABLE NETWORKS**

*The work is devoted to the increasing quality of services in software-Defined Network by modifying the resource allocation during service provision and services' replication techniques. The well-known replication techniques are analyzed in the work. The result of the analysis shows that existing replication techniques that are used in distributed networks should be revised with the purpose to improve their effectiveness and as a result, increase the availability of services. With the aim to increase the effectiveness of replication techniques in software-defined networking the solution of next tasks are proposed: determining the decision about start replication procedure based on simultaneously increasing of service popularity and degradation of quality of service; determine the required minimum number of replicas and their allocation in the network based on intensive of incoming customers' requests; checking the consistency of new replica of service with almost existing in the network. The complex method of dynamic service replication that is based on this particular solution is proposed. The model of complex services provision is also proposed in the work. The proposed model allows to analytically analyze the value of each monatomic service in complex solution. The case of using the proposed model of the monatomic services that included in complex service can be preplaced by the service with better quality characteristics.*

**Key words:** software-defined networking, QoS level, OpenFlow, dynamic service replication, monatomic service, type of service.

**Орлов Є.А.**

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

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ПРОДАЖУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ОТРИМАНОЇ ВІД ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ MICROGRID

*У статті розглядається метод, завдяки якому можна вирахувати прибуток за продану електроенергію із використанням відновлювальних джерел енергії в локальній системі MicroGrid. Представлено дослідження взаємодії факторів, що впливають на прибуток за продану електроенергію з використанням регресійного аналізу. Виявлено основні показники, які мають найбільший вплив на прибуток, та зроблені висновки з приводу ефективного використання цього методу для локального ринку MicroGrid.*

**Ключові слова:** соціально-економічний розвиток, регресія, кореляція, MicroGrid, прибуток за продану електроенергію, «зелений» тариф.

**Постановка проблеми.** Сучасні дослідження, спрямовані на підвищення ефективності використання електричної енергії у системах розподіленої генерації MicroGrid та перерозподіл енергетичних потоків на локальних віртуальних ринках [1–4], підкреслюють актуальність задач моніторингу, оцінки та прогнозування обсягів генерації енергії. З точки зору сумісного розглядання технічних та економічних факторів функціонування MicroGrid враховуються рівень попиту, ціна на електроенергію, «зелений» тариф, сезонність, надлишок енергії від альтернативних джерел. На підставі аналізу цих та інших показників формуються заявки на продаж та придбання енергії у гравців віртуального ринку.

**Метою** цієї статті є розроблення методу прогнозування кількості електроенергії, яка може бути підготовлена для реалізації на локальному ринку MicroGrid, з урахуванням підвищення або зниження цін на «зелений» тариф. При цьому на базі кореляційно-регресійного аналізу часових рядів, які попередньо підлягають екстраполяційній обробці [5], встановлюється статистичний взаємозв'язок між параметрами й оцінюється вплив обраних параметрів на значення попиту на електричну енергію в майбутньому на прогнозований період.

Одним з напрямів розвитку інтелектуальної електроенергетичної системи з активно-адаптивною мережею постає концепція MicroGrid. Система MicroGrid найчастіше включає в себе джерела розподіленої генерації, накопичувачі енергії і локальних споживачів [9]. Важливою власти-

вістю MicroGrid можна назвати те, що, незважаючи на функціонування в рамках розподільної системи, вони можуть автоматично переходити в ізольований режим роботи у разі аварій у мережі і відновлювати синхронну роботу з мережею після усунення аварії з підтриманням необхідної якості електричної енергії. Будучи автономними або підключеними до національної енергетичної мережі, об'єкти розподільної генерації розташовані в безпосередній близькості від споживачів (невеликих міст, сіл, заводів) і виробляють електроенергію «на місці», істотно знижуючи втрати у передачі по лініях і підвищуючи таким чином ККД. Електрична енергія, вироблена об'єктами розподільної генерації, буде безпосередньо залежати від попиту локальних споживачів, які, своєю чергою, будуть мати можливість коригувати поставки енергії відповідно до своїх потреб, що веде до підвищення їх ролі в керуванні енергосистемою.

Необхідність прогнозування електроспоживання в системах MicroGrid зумовлена економічними причинами. Причини пов'язані з появою ринку електроенергії, при цьому зростає важливість прогнозування енергоспоживання учасників цього ринку. Відхилення фактичного споживання від заявлених значень більше певного відсотка призводить до покупки електроенергії з балансууючого ринку за більшою ціною. Відхилення в менший бік теж карається оплатою недопоставленої електроенергії, яка визначається різницею між заявленим і фактичним споживанням за встановленими розцінками [10]. Складність прогнозу



електроспоживання зумовлена необхідністю обліку багатьох факторів, що впливають на споживання електроенергії (температура навколишнього повітря; ступінь освітленості; тривалість дня; день тижня; переходи з зимового на літній час і назад; наявність екстраординарних подій; прогнози погодних умов; стан інших факторів, що впливають на зміну споживання відповідно до даних, отриманих у результаті обробки статистики споживання; плановане включення/відключення енергоємних виробництв) [1]. Вибір того чи іншого методу прогнозування є досить складною задачею, від вирішення якої залежить як підвищення надійності системи MicroGrid, так і уникання невідповідності попиту і пропозиції електроенергії. Проблема привабливості інтелектуальної енергетики для споживачів полягає в принциповому розриві між потребою інтелектуальної енергетики в активній участі широкого класу споживачів в управлінні нею для забезпечення гнучкості та підвищення ефективності енергосистеми і нинішньою поведінкою споживачів, які не зацікавлені в участі в управлінні енергетикою і не розуміють, навіщо і як вони могли б це робити.

Очевидно, що точність прогнозу визначається кількістю параметрів, що беруться до розгляду, а також глибиною ретроспективи часового ряду цих параметрів. Для прикладу було проведено дослідження часового ряду, що містить дані про ціну на електроенергію мережі, «зелений» тариф [6] та обчислений прибуток від продажу надлишків електроенергії, згенерованої альтернативними джерелами MicroGrid. У табл.1 наведено приклад такого часового ряду за 2010–2018 рр. Ретроспективні статистичні дані надалі екстраполюються на майбутні періоди.

Таблиця 1

	Ціна за електроенергію мережі, грн/кВт*год ( $x_1$ )	«Зелений» тариф, грн/кВт*год ( $x_2$ )	Прибуток за продану електроенергію, грн/кВт*год ( $y$ )
2010	0,60	14,11	689,5
2011	0,72	13,12	701,4
2012	0,84	12,19	684,4
2013	0,95	11,19	650,3
2014	1,07	10,70	648,8
2015	1,31	10,06	645,6
2016	1,42	10,04	643,0
2017	1,50	10,01	642,2
2018	1,52	10,00	642,1

Спираючись на отримані дані, можна зробити прогноз, що ціна на електроенергію в мережі на 2019 р. становитиме 1,55 грн за 1 кВт/г.

Таблиця 2

$y$	$x_1$	$x_2$	$(y - \bar{y})^2$	$(x_1 - \bar{x}_1)^2$	$(x_2 - \bar{x}_2)^2$
689,50	0,60	14,11	823,052	0,253	8,07
701,40	0,72	13,12	1647,458	0,146	3,43
684,40	0,84	12,19	556,436	0,069	0,85
650,30	0,95	11,19	110,484	0,023	0,01
648,80	1,07	10,70	144,267	0,001	0,32
645,60	1,31	10,06	231,378	0,042	1,46
643,00	1,42	10,04	317,236	0,100	1,51
642,20	1,50	10,01	346,374	0,157	1,58
642,10	1,52	10,00	350,106	0,174	1,61

Де  $\bar{y}$  – середнє арифметичне значення прибутку за продану електроенергію (660.81 грн/кВт\*год),

$\bar{x}_1$  – середнє арифметичне значення фактора  $x_1$  (1,10 грн/кВт\*год),

$\bar{x}_2$  – середнє арифметичне значення фактора  $x_2$  (11,27 грн/кВт\*год).

Часові ряди параметрів підлягають кореляційно-регресійному аналізу. При цьому необхідно встановити наявність кореляційних взаємозв'язків між параметрами, які розглядаються, як випадкові величини та, відповідно, підлягають статистичній оцінці. Кореляційні моменти (коваріації) характеризують наявність або відсутність зв'язку між випадковими величинами  $x_1, x_2$  та  $y$  з табл.1 за формулою (1) та (2):

$$K_{yx} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{n} \quad (1)$$

$$K_{yx_1} = -6,4624$$

$$K_{yx_2} = 30,3868$$

$$K_{x_1x_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_1)(x_i - \bar{x}_2)}{n} = \frac{-4,0185}{9} = -0,4465 \quad (2),$$

де  $\bar{y}$  – середнє арифметичне значення прибутку за продану електроенергію (660.81 грн/кВт\*год),

$\bar{x}_1$  – середнє арифметичне значення фактора  $x_1$  (1,10 грн/кВт\*год),

$\bar{x}_2$  – середнє арифметичне значення фактора  $x_2$  (11,27 грн/кВт\*год),

$n$  – кількість значень (9).

Як бачимо, кореляційний момент у всіх випадках розглянутого прикладу відмінний від нуля, отже, кореляційний зв'язок є між усіма змінними. Нормоване значення коефіцієнта коваріації називається коефіцієнтом кореляції.

Для перевірки наявності кореляції парного лінійного зв'язку використовують лінійний коефіцієнт парної кореляції, який є мірою пропорційності ступеня залежності явищ, показником інтенсивності лінійного зв'язку. Для розглянутого випадку коефіцієнти кореляції приймають значення:

$$r_{yx_1} = \frac{\overline{x_1 \cdot y} - \overline{x_1} \cdot \overline{y}}{(\overline{x_1 - \overline{x_1}})^2 \cdot (\overline{y - \overline{y}})^2} = 0,88 \quad (3)$$

$$r_{yx_2} = \frac{\overline{x_2 \cdot y} - \overline{x_2} \cdot \overline{y}}{(\overline{x_2 - \overline{x_2}})^2 \cdot (\overline{y - \overline{y}})^2} = 0,94 \quad (4)$$

$$r_{x_1 x_2} = \frac{\overline{x_1 \cdot x_2} - \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}}{(\overline{x_1 - \overline{x_1}})^2 \cdot (\overline{x_2 - \overline{x_2}})^2} = 0,94 \quad (5)$$

Коефіцієнт кореляції приймає чисельні значення в проміжку від -1 до +1. Якщо значення позитивне, це свідчить про прямий зв'язок, негативне – про зворотний.

Коефіцієнт кореляції перевіряється шляхом знаходження t-критерію Стьюдента [5]. Визначимо значення критерію t. Потім перевіримо на відсутність зв'язку між прибутком за продану електроенергію та факторами.

$$t_{роз(yx)} = \frac{|r| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = 4,866 \quad (6)$$

$$t_{роз(yx_1)} = 4,866$$

$$t_{роз(yx_2)} = 7,059$$

$$t_{роз(x_1 x_2)} = 7,339$$

$t_{табл} = 1,8331$  з рівнем імовірності 0,90

Обчислене за формулою (6) значення  $t_{роз}$  порівнюється з  $t_{табл}$ , який отримують за таблицею Стьюдента [5]. У разі якщо  $|t_{роз}| > |t_{табл}|$  зв'язок вважають суттєвим. Оскільки  $|4,866| > |1,8331|$ ,  $|7,059| > |1,8331|$  та  $|7,339| > |1,8331|$ , це означає, що зв'язок є суттєвим для будь-якої з пар розглянутих коефіцієнтів табл.1.

Регресійний аналіз є кількісним методом визначення виду математичної функції в причинно-наслідковій залежності між прибутком за продану електроенергію і факторами, які впливають на нього. Тому необхідно зробити прогноз результативного показника (y) побудовою рівняння регресії. Лінійне рівняння множинної регресії має вигляд:

$$\overline{y_{x_i}} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_i x_i + \dots + a_n x_n,$$

де  $x_i$  – факторні ознаки (в розглянутому випадку їх дві –  $x_1$  та  $x_2$ );

$a_i$  – невідомі параметри рівняння (коефіцієнти регресії).

Коефіцієнти регресії  $a_i$  показують, наскільки змінюється значення прибутку за продану елек-

троенергію у за збільшення її факторного значення  $x_i$  на одиницю у фіксованому значенні інших факторних ознак. Вільний член рівняння  $a_0$  показує усереднений вплив на результативний показник усіх неврахованих факторів.

Для розглянутого випадку рівняння множинної регресії з двома факторами має вигляд:

$$\overline{y_{x_i}} = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2.$$

Для знаходження коефіцієнтів лінійної двофакторної моделі необхідно вирішити систему рівнянь з трьома невідомими параметрами  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ :

$$\begin{cases} a_0 n + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 = \sum y \\ a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 = \sum x_1 y \\ a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 = \sum x_2 y \end{cases}$$

$a_1$  та  $a_2$  є коефіцієнтами регресії,  $a_0$  – вільним членом рівняння, n – кількість значень (9).

Отримаємо значення коефіцієнтів:

$$a_0 = 492,34; \quad a_1 = 1,40; \quad a_2 = 14,81.$$

Остаточо рівняння лінійної регресії має вигляд:

$$\overline{y_{x_i}} = 492,34 + 1,40 x_1 + 14,81 x_2$$

Розглянемо економічне трактування результатів побудованої двофакторної регресійної моделі. Лінійна регресія виражає залежність результативного показника – прибутку проданої електроенергії (y) – від ціни на «зелений» тариф ( $x_1$ ) та ціни на електроенергію в мережі ( $x_2$ ). Коефіцієнти рівняння підтверджують наявність впливу всіх факторів на результативний показник. У нашому разі за один рік ціна на електроенергію в мережі збільшується в середньому на 1,40 грн/кВт\*год за збільшення ціни «зеленого» тарифу на 1 грн/кВт\*год за незмінності ціни на електроенергію в мережі. Прибуток від проданої електроенергії за «зеленим» тарифом збільшується в середньому на 14,81 грн/кВт\*год за збільшення ціни на електроенергію в мережі на 1 грн/кВт\*год за незмінності ціни на «зелений» тариф.

Отримані дані дають змогу прогнозувати економічні параметри локального ринку MicroGrid та, відповідно, планувати обсяги закупівель та продажів електроенергії його учасниками.

**Висновок.** Таким чином, проведений кореляційно-регресійний аналіз підтверджує існування статистичного взаємозв'язку між прибутком від реалізації електроенергії за «зеленим» тарифом, цінами на «зелений» тариф та цінами на електроенергію в мережі. Обчислення коефіцієнтів двофакторної регресійної моделі встановлює рівень залежності між параметрами та дає змогу прогнозувати економічні параметри локального ринку MicroGrid для планування обсягів закупівель та продажів електроенергії його учасниками.

**Список літератури:**

1. Жуйков В.Я., Ямненко Ю.С., Бойко І.Ю., Клепач Л.Є. Статична та динамічна тарифікація електроенергії автономних MicroGrid. Вісник ЖДТУ, № 3 (78). 2016.
2. Yamnenko J., Tereshchenko T., Klepach L., Pali D. Forecasting of electricity consumption in SmartGrid. International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2017, pp.
3. Thirugnanam K., Kerk S.K., Yuen C., Liu N., Zhang M. Energy Management for Renewable Micro-Grid in Reducing Diesel Generators Usage with Multiple Types of Battery. IEEE Trans. Ind. Electron. 2018.
4. Кириленко О.В., Блінов І.В., Попович В.І., Олефір Д.О., Методологія об'єктно орієнтованого моделювання для опису функціонування конкурентного оптового ринку електричної енергії. Проблеми загальної енергетики. 2011. Вип. 1(24). 5–10 с.
5. Харченко М.А. Корреляционный анализ: Учебное пособие для вузов. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2008. – 31 с.
6. Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії». URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/514-19> (дата звернення 19.09.2018).
7. Военно-экономический анализ: учеб. / под общ. ред. С.Ф. Викулова. Ярославль: ВФЭИ, 2010.
8. Интеллектуальная энергетическая система России: проект реализации технологической платформы. Российское энергетическое агентство. М., 2010. 169 с.
9. Sustainable Energy Management Solution – GridLogic/SolarCity. URL: <http://www.solarcity.com/commercial/sustainable-energy-solution>
10. Conejo A.J., Morales J.M., Baringo L. Real-time demand response model, IEEE Trans. on Smart Grid. 2010, p. 236–242.
11. Ferreira R.S., Barroso L.A.N., Carvalho M.M. Demand response models with correlated price data: a robust optimization approach, App. Energy, 96, 2012, p. 133–149.
12. Lujano-Rojas J.M. Optimum residential load management strategy for real time pricing demand response programs. Energy policy, 45, 2012, p. 671–679.
13. Khalili A.H., Wu C., Aghajan H. Hierarchical preference learning for light control from user feedback, IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW 2010), 2010, p. 56–62.
14. Gottwalt S. Demand side management – a simulation of household behavior under variable prices. Energy policy, 2011, p. 8163–8174.
15. Li B. Predicting user comfort level using machine learning for smart grid environments, Innovative Smart Grid Technologies (ISGT 2011), p. 1–6.
16. Hastie Trevor, Tibshirani Robert, and Friedman Jerome. The Elements of Statistical Learning, Springer New York Inc., USA, 2009.
17. Hyndman Rob and Athanasopoulos George. Forecasting: principles and practice. OTexts: Melbourne, Australia, 2013. URL: <http://otexts.org/fpp/>.
18. Zagdański Adam, Suchwałko Artur. Analiza i prognozowanie szeregów czasowych. Praktyczne wprowadzenie na podstawie środowiska R (in Polish). PWN, 2015.
19. Zhuikov V.Y., Tereshchenko T.O., Petergerya J.S. Preobrazovanie diskretnyih signalov na konechnyih intervalah v orientirovannom bazise. K.:Avers, 2004. 274 p.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРОДАЖИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, ПОЛУЧЕННОЙ ОТ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В СИСТЕМЕ MICROGRID**

*В статье рассматривается метод, благодаря которому можно вычислить прибыль за проданную электроэнергию с использованием возобновляемых источников энергии в локальной системе MicroGrid. Представлены исследования взаимодействия факторов, влияющих на прибыль за проданную электроэнергию с использованием регрессионного анализа. Выявлены основные показатели, которые оказывают наибольшее влияние на прибыль, и сделаны выводы по поводу эффективного использования этого метода для локального рынка MicroGrid.*

**Ключевые слова:** *социально-экономическое развитие, регрессия, корреляция, MicroGrid, прибыль за проданную электроэнергию, «зеленый» тариф.*

**ESTIMATION OF USE AND SALE OF THE ELECTRIC POWER  
RECEIVED FROM ENERGY SOURCES IN MICROGRID SYSTEM**

*The problem of attractiveness of intellectual energy for consumers lies in the fundamental gap between need of the active participation of wide range of consumers in its management to ensure the flexibility and efficiency of the power system, and current behavior of consumers who aren't interested in participating in energy management and don't understand why and how they could do it. This article is devoted to calculation of predicted profit for the sold electricity at local MicroGrid energy market with renewable energy sources. The choice of forecasting method is quite complicated task, its solution affects both on reliability of MicroGrid system, and avoiding mismatches of demand and proposal of electricity.*

**Key words:** *socio-economic development, regression, correlation, MicroGrid, profit for electricity sold, green tariff.*

УДК 004.896

**Плохута Д.О.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Корнага Я.І.**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## СИСТЕМА ВИДІЛЕННЯ ЛЮДСЬКИХ СИЛУЕТІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ, НА СЕРІЇ ЗОБРАЖЕНЬ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

*Штучні нейронні мережі є одним з основних інструментів, що використовуються у машинному вивченні. У статті проведено аналіз можливих нейронних мереж та способів їх навчання. Визначено найбільш продуктивну для нашої задачі нейронну мережу, яка може виконувати задачу пошуку людських силуетів на фотографії. Проведено аналіз наявних програм, традиційних методів, додатків та способів редагування фотографій та можливість практичної реалізації. Було проведено повне навчання нейронної мережі.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, редагування зображень, навчання, розпізнавання, фотографія.

**Постановка проблеми.** Під час фотографування різних краєвидів, будинків тощо на фотографії попадають багато невідомих людей, щоб їх прибрати треба використовувати різні програми. У них є багато можливостей для редагування зображень, але таких можливостей нема в сучасних додатках, а є тільки наближені до такого рівня редактори, які не можуть виконати весь той функціонал, який мають програмні продукти на ПК. Для цих завдань використовується «Штамп»/Clone Stamp Tool або «Заплатка»/Patch Tool. Якщо зайвий об'єкт розташований на простішому (однотонному) фоні, то ці методи не є ідеальними, у разі обробки великої зони фотографії цими способами буде помітно неозброєним оком, де саме була оброблена фотографія. Також для цього потрібен ПК, але це вже не практично, на це потрібно витратити багато часу та мати певні навички, отже, потрібен такий додаток, який зможе впоратися з цією задачею.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Маловідома компанія Scalado розробила програму для смартфонів. Програма має назву “Remove”, вона прибирає з фотографії зайвих людей.

Її робота базується на: замість одного кадру робиться 10 кадрів поспіль з проміжком 0,5-1 секунди (залежно від можливостей апаратного забезпечення), які зливаються в єдину фотографію. Стабільні об'єкти (пікселі) залишаються на місці, нестабільні (рухомі) просто видаляються

[10]. Таким чином, усі перехожі і взагалі будь-які рухомі об'єкти просто зникають з фотографії.

Проблемою цього додатка є те, що з моменту оприлюднення можливостей “Remove” пройшло вже 6 років, але додаток так і не вийшов у світ, також проблемою є витрата великого проміжку часу на обробку фото.

Один із найпопулярніших та створений відомою компанією Adobe “Adobe Photoshop Fix” – це справді дуже хороший додаток, в якому є багато можливостей, і в ньому теж є можливість прибрати різні предмети з фотографії, але їх потрібно прибирати вручну, в ньому немає автоматизації виділення людського силуету та видалення його.

**Постановка завдання.** У сучасному світі можна з упевненістю сказати, що гаджети є у кожної людини всіх вікових категорій (планшети, телефони), тому потрібно, щоб додаток працював на всіх гаджетах, в яких є вбудована камера. На відміну від додатка “Remove”, виділення людських силуетів, що рухаються, буде відбуватися значно швидше та автономно. За останні 20 роки набрала великої популярності штучна нейронна мережа, тому потрібно обрати правильну нейронну мережу та навчити її розпізнавати людські силуети.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Штучні нейронні мережі є одним з основних інструментів, що використовуються у машинному вивченні. Нейронна мережа складається з декількох вузлів, які імітують біологічні нейрони

людського мозку. Нейрони зв'язуються по ланках, вони взаємодіють один з одним. Вузли можуть приймати вхідні дані та виконувати прості операції з даними. Результат цих операцій переданий іншим нейронам. Вихід на кожному вузлі називається його активацією або значенням вузла. Нейронні мережі здатні до навчання, що відбувається шляхом зміни значення ваги [5]. На рис. 1 показано просту нейронну мережу.

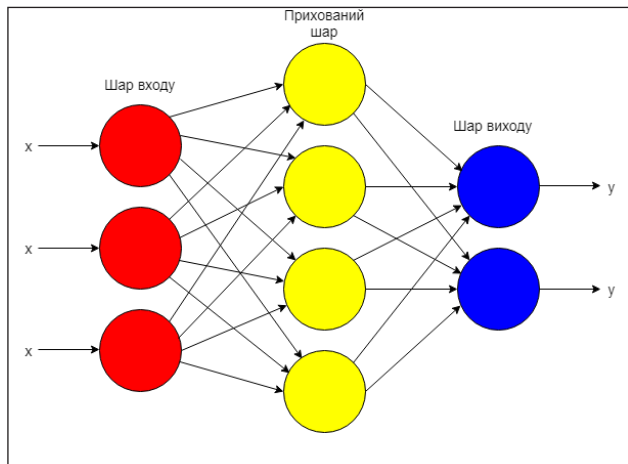


Рис. 1. Проста нейронна мережа

На сьогодні є багато способів розробки нейронної мережі, для цього є такі види нейронних мереж: згорткова нейронна мережа, штучна нейронна мережа, модулярні нейронні мережі, рекурентна нейронна мережа. Тому потрібно обрати найбільш продуктивну для нашої задачі нейронну мережу.

Згорткові нейронні [8] мережі дуже схожі на звичайні нейронні мережі: вони також збудовані на основі нейронів, які володіють постійно змінюваною вагою і зміщенням. Кожен нейрон отримує деякі вхідні дані, виконує скалярний добуток інформації і в окремих ситуаціях супроводжує це нелінійністю. Як і у разі зі звичайними нейронними мережами, вся згорткова нейронна мережа висловлює одну диференційовану функцію внеску (ефективний внесок): з одного боку, це необроблені пікселі зображення, з іншого – висновок класу або групи ймовірних класів, які характеризують картинку. Тут також присутня функція втрати на останньому (повне підключення) шарі.

Модулярні нейронні мережі [1]. Група нейронних мереж (які в цьому разі називаються модулями), що керуються певним посередником.

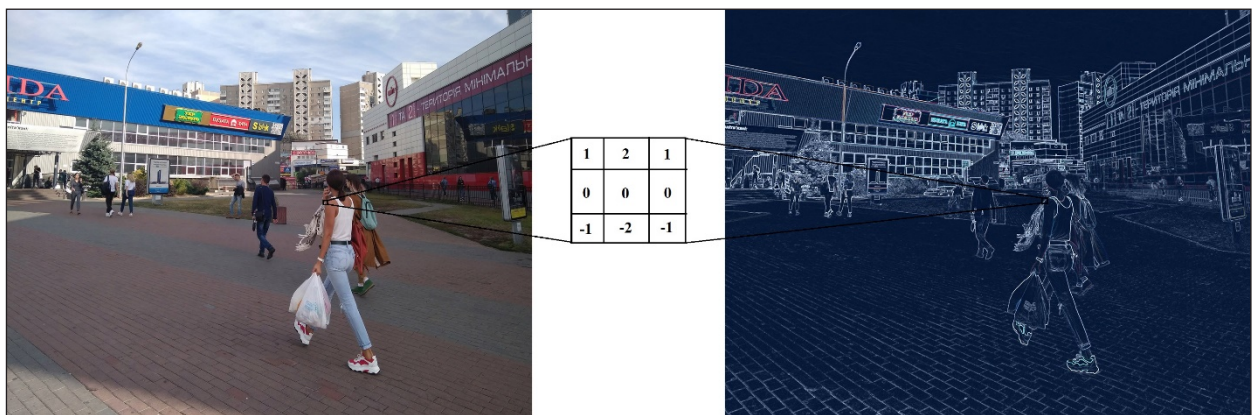


Рис. 2. Виявлення горизонтальних країв із зображення за допомогою згорткової фільтрації



Рис. 3. Приклади зображень для навчання нейронної мережі

Кожна нейронна мережа слугує модулем і оперує окремими входами для вирішення певних підзавдань із групи завдань, які має виконати модулярна нейронна мережа. Посередник приймає вихідні сигнали кожного модуля нейронної мережі, виконує певну їх обробку та створює вихідний сигнал усієї модулярної мережі. Посередник не отримує жодних інших сигналів, окрім сигналів з виходів модулів нейронної мережі. Модулі не взаємодіють між собою.

Нейронна мережа прямого поширення [1]. Вид нейронної мережі, в якій сигнали поширюються в одному напрямку, починаючи від вхідного шару нейронів, через приховані шари до вихідного шару і на вихідних нейронах отримується результат опрацювання сигналу. В мережах такого виду немає зворотних зв'язків. Прикладом нейронної мережі прямого поширення є перцептрон Розенблатта, від якого і беруть свій початок нейромережі прямого розповсюдження. У літературі часто термін перцептрон, багат шаровий перцептрон та нейромережа прямого поширення застосовуються синонімічно.

Рекурентна нейронна мережа [1]. Це клас штучних нейронних мереж, у якому з'єднання між вузлами утворюють орієнтований цикл. Це створює внутрішній стан мережі, що дає змогу їй проявляти динамічну поведінку в часі. На відміну від нейронних мереж прямого поширення, РНМ можуть використовувати свою внутрішню пам'ять для обробки довільних послідовностей входів [7]. Це робить їх застосовними до таких задач, як розпізнавання несегментованого неперервного рукописного тексту та розпізнавання мовлення.

Протягом останнього десятиліття в галузі машинного навчання домінують так звані глибокі нейронні мережі [9], які користуються перевагами покращення в обчисленні потужності та

доступності даних. Підтип нейронної [2] мережі має назву згортова нейронна мережа, добре підходить для завдань, пов'язаних із зображенням. Мережа навчається шукати різні функції, такі як краї, кути та кольорові відмінності, та об'єднувати їх у більш складні фігури. Для виявлення об'єкта система має оцінювати розташування ймовірних об'єктів та їх класифікувати.

Тим часом мобільні пристрої стали досить потужними для обробки обчислень, необхідних для розгортання згорткової нейронної мережі.

Під час обробки зображення можна фільтрувати за допомогою згортки, щоб виробляти різні видимі ефекти. На рис. 2 показано, як вибраний вручну згортковий фільтр виявляє горизонтальні краї зображення, функціонує аналогічно сприйнятливому полю [3]. Дискретна операція згортки між зображенням  $f$  та матрицею фільтрів  $g$  визначається як:

$$h[x, y] = f[x, y] * g[x, y] = \sum_n \sum_m f[n, m] g[x - n, y - m].$$

Для навчання описаної нейронної мережі було використано алгоритм зворотного розповсюдження помилок (зворотне поширення). Такий алгоритм є першим і основним практично застосовуваним для навчання багат шарових нейронних мереж. У мережі є множина входів  $x_1, \dots, x_n$ , множина виходів Outputs і безліч внутрішніх вузлів [4]. Якщо нам відомий навчальний приклад (правильні відповіді мережі  $t_k, k \in \text{Outputs}$ ), то функція помилки, отримана за методом найменших квадратів, виглядає так:

$$E(\{\omega_{i,j}\}) = \frac{1}{2} \sum_{k \in \text{Outputs}} (t_k - o_k)^2.$$

Для модифікування ваги ми будемо реалізувати стохастичний градієнтний спуск [6]:

$$\Delta \omega_{i,j} = -\eta \frac{\partial E}{\partial \omega_{i,j}}$$



Рис. 4. Результати до проходження навчання нейронної мережі



Рис. 5. Результати після проходження 50% навчання



Рис. 6. Результати після проходження навчання



Рис. 7. Результат після обробки фото

Для навчання нейронної мережі було використано відкриту базу зображень MS-COCO, приклади зображень на рис. 3.

**Проведення експерименту.** Для проведення експерименту було використано пристрій з такими характеристиками:

Xiaomi Redmi 4 Prime

Процесор: Qualcomm MSM8953 Snapdragon 625 + GPU Adreno 506

Тип процесора: Octa-Core

Частота процесора: 2 GHz

ОС: Android 6.0 (Marshmallow)

Сенсор камери: Samsung S5K3L8

Розділова здатність камери: 13 Мрх.

Було проведено повне навчання нейронної мережі за допомогою відкритої бази зображень MS-COCO, результати до проходження навчання нейронної мережі зображено на рис. 4, було використано 16 слоїв нейронної мережі.

Пройшовши навчання на 50%, ми отримали такі результати, які зображені на рис. 5. Видно, що нейронна мережа показує не досить гарний результат. Червоними прямокутниками помічені людські силуєти.





Рис. 8. Загальна схема роботи додатка

Після завершення навчання точність виявлення людських силуетів зростає до 92%, результат зображено на рис. 6. Після навчання нейронної мережі можна використати алгоритм для прибирання цих людей з фотографії, для цього і потрібна серія знімків, ті люди, які рухаються будуть замінені на вирізки фрагментів з інших фотографій. На рис.7

показано результат роботи та на рис. 8 зображено загальну схему роботи додатка.

**Висновки.** Було зроблено велику кількість роботи, проаналізовано останні дослідження та публікації, вибрано найоптимальнішу для цієї задачі нейронну мережу, навчено її та проведені експерименти. Варто продовжити роботу для виведення цього додатка в світ.

#### Список літератури:

1. Саймон Хайкин. Нейронные сети: Полный курс. Киев. 2008. 1103 с.
2. Paul Viola. Detecting Pedestrians Using Patterns of Motion and Appearance. 2005. Vol. 63(2). P. 153–161. DOI: 10.1007/s11263-005-6644-8.
3. Evgeniy Bart, Evgeny Byvatov and Shimon Ullman. View Invariant Recognition Using Corresponding Object Fragments. 2004. vol. 3022. P. 152–165.
4. Liu Y. and Goto S. An efficient and accurate approach of circular object detection in color images. 2014. vol. 40. P. 26–36.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика. Мир. 1992. 240 с.
6. Agoston M.K. Computer graphics and geometric modeling: Implementation and algorithms. 2005. P. 290–306. DOI: 10.1007/b138805.
7. Amosov O.S. High-speed neurofuzzy algorithms for filtering the mobile object trajectory parameters. 2016. P. 389–392.
8. Jang-Shing Roger Jang. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. 1993. Vol. 23(3). P. 665–685. DOI: 10.1109/21.256541.
9. Ouyang W. Joint Deep Learning for Pedestrian Detection. 2013. P. 2046–2063. DOI: 10.1109/ICCV.2013.257.
10. Enzweiler M. Monocular Pedestrian Detection: Survey and Experiments. 2009. Vol. 31(12). P. 2169–2195. DOI: 10.1109/TPAMI.2008.260.

### СИСТЕМА ВЫДЕЛЕНИЯ ДВИЖУЩЕГОСЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО СИЛУЭТА НА СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

*Искусственные нейронные сети являются одним из основных инструментов, используемых при машинном обучении. В статье проведен анализ возможных нейронных сетей и способ их обучения. Определена наиболее продуктивная для нашей задачи нейронная сеть, которая может выполнять задачу поиска человеческих силуэтов на фотографии. В работе проведен анализ существующих программ, традиционных методов, приложений и способов редактирования фотографий и возможность практической реализации. Было проведено полное обучение нейронной сети.*

**Ключевые слова:** нейронная сеть, редактирование изображений, обучение, распознавание, фотография.

### SYSTEM OF DETECTION OF SILHOUETTE HUMAN ON A CONTINUOUS SHOOTING BY USING NEURAL NETWORK

*Artificial neural networks are one of the main tools used in machine learning. The article analyzes possible neural networks and their way of learning. The most productive for our task is the neural network which can carry out the task of searching for human silhouettes in a photograph. An analysis of existing programs, traditional methods, applications and ways to edit photos and the possibility of practical implementation was done. A complete study of the neural network was conducted.*

**Key words:** neural network, image editing, learning, recognition, photography.

УДК 004.896

**Поляков А.С.**

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

**Корнага Я.І.**

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

## ВИДІЛЕННЯ ЗВУКУ ПТАХА В ЖИВІЙ ПРИРОДІ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

*У статті висвітлюються практичні аспекти використання нейронної мережі для виділення звуку птахів у живій природі за допомогою нейронної мережі. Зокрема, навчання нейронної мережі за допомогою потрібних даних. У статті буде розглянуто, як подається інформація для навчання нейронної мережі, а також як нейронна мережа навчається. Також ми розглянемо попередні актуальні системи виділення звуку птаха у живій природі за допомогою нейронної мережі. Наостанок у статті будуть показані результати експерименту.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, спектрограма, навчання, функція, алгоритм.

**Постановка проблеми.** Важливою проблемою в екології є вивчення взаємодії між організмами та їх оточенням, що полягає в тому, щоб стежити за тваринними популяціями, зважаючи на постійну загрозу зміни клімату. Використання акустики для моніторингу та класифікації птахів у природних умовах останнім часом викликало великий інтерес.

Класифікація видів птахів на основі записаних звукових даних є, наприклад, корисною під час моніторингу поведінки розмноження, біорізноманіття та динаміки популяції. Птахи є особливо корисним екологічним індикатором, оскільки вони швидко реагують на зміни в їхньому середовищі. Класифікація птахів може здійснюватися вручну спеціалістами домену; однак зі зростанням кількості даних це швидко стає нудним і трудомістким процесом. Тому необхідні автоматичні інструменти, які можуть допомогти у цьому процесі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Bird Classification Challenges

Кілька видів змагань щодо класифікації птахів, які були проведені протягом останніх кількох років, є тісно пов'язаними, але мали різні описи завдань. Інтерес та участь у цих змаганнях були високими, що вказує на те, що це важливі проблеми та що їх необхідно вирішити.

Змагання, як правило, передбачають, які види присутні в наборі записів із прихованими мітками, які називаються тестовим набором, а також для подання прогнозованого виду для кожної точки

тестування для оцінки з нанесенням ілюстрації на землю.

Опис завдання може відрізнитися від прогнозування лише наявністю або відсутністю птахів у записі для прогнозування всіх активно співаючих видів птахів. Тобто проблеми мають різні ступені складності. Ми розглянемо деякі змагання.

MLSP 2013. The IEEE International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP) оголосила про змагання категорії ідентифікації видів птахів у 2013 році [1]. Завдання було визначити всі акустично активні види птахів у кожному аудіозаписі тестового набору з 19 різними видами птахів. Тобто завдання розглядаються як одноразові проблеми з кількома мітками.

Набір даних складався з 645 десятисекундних аудіозаписів, які були розділені на тренувальний набір (50%) та тестовий набір (50%). Мітки птахів для кожного запису в наборі тренувань були оприлюднені, але етикетки для кожного запису в тестовому наборі були збережені в секреті.

Команда-переможець використовувала random forest (RF) classifier, де функції було витягнуто з вводу за допомогою відповідності шаблону. Шаблони обчислювали за допомогою спеціальної методики сегментації часової частоти, де кожний сегмент зберігався як шаблон і обчислювався лише з 81 аудіозапису, що були помічені одним класом звуку. Потім розраховували спектрограму кожного запису.

Функції були витягнуті для кожної спектрограми, обчислюючи нормалізовану крос-

кореляційну карту між спектрограмою та кожним шаблоном, подібність між шаблоном і спектрограмою була потім оцінена на максимальному значенні нормалізованої крос-кореляційної карти з використанням методу відповідності шаблону, що означає, що кожна спектрограма дає вектор функції з тією ж довжиною, що і число шаблонів, які було витягнуто з 81 запису міток сигналу. Метод також використовував функції, доступні як базова лінія у виклику, такі як гістограма сегментів, які були додані до вектора функцій і використовувались як вхідні дані для класифікатора.

Багато команд розробили спеціальні функції, проте одна команда, яка посіла четверте місце, використовувала необроблені дані спектрограми для навчання згорткової нейронної мережі. Після цього було зазначено, що подальше дослідження використання згорткових нейронних мереж у цій проблемній галузі є виправданим.

NIPS4B 2013. У Neural Information Processing Scaled for Bioacoustics (NIPS4B) опис завдання був подібний до опису завдання MLSP 2013. Учасникам було запропоновано ідентифікувати всіх активно співаючих птахів у кожному з тестових файлів. Однак число можливих видів становило 87 замість 19, а записи могли змінюватися в довжину (від 0,5 до 5,5 с).

Переможець цього змагання використовував подібний [9] підхід, як в останньому. Головна відмінність полягала в тому, що для кожного аудіофайлу витягаються додаткові функції. Окрім функцій, витягнутих шляхом оцінки відповідності шаблону за максимальним значенням нормалізованої крос-кореляційної карти, вектор функції ще більше доповнюється статистикою файлу та сегмента (наприклад, середнє значення, стандартне відхилення тощо).

BirdCLEF 2016. Завдання BirdCLEF використовувало дуже великий набір даних із записом птахів. Набір даних BirdCLEF [2] є підмножиною бази даних і складається з 999 різних видів, зареєстрованих у Південній Америці. Набір даних складається приблизно з 33 200 записів, які були нормалізовані до 44,1 кГц 16-розрядний моноформатний формат аудіофайлів.

Завдання полягало у визначенні видів птахів, присутніх у кожному записі. Учасникам було запропоновано надати список найуспішніших птахів для записів прихованого тестового набору. Набір даних поділений на 1/3 даних тесту та 2/3 навчальних даних, а показник, який використовується для оцінки ефективності класифікації тестів, що поставляються командами-учасниками, є

середньою точністю (MAP) над усіма записами в тестовому наборі.

Найкращий метод [3] використав метод згорткової нейронної мережі, де вхід до мережі був сегментами спектрограми, обчисленої зі звукових файлів. Звукові файли попередньо обробляються шляхом вилучення двох звукових класів із кожного аудіофайлу: шум та сигнал (пташиний спів), які поділяються на однаково довгі звукові сегменти приблизно на 3 секунди. Сегменти сигналу являють собою фактичний пташиний спів, кожен з яких має пов'язані з ним види птахів. Потім зразки, показані нейронній мережі, завантажуються та розширюються випадковим чином. Кожен сегмент сигналу додатково поєднується з іншим сегментом сигналу одного класу, вибраним у випадковому порядку, а також трьома випадковими сегментами шуму. Зразки потім додатково збільшуються випадковим зрушенням у часовій сфері та невеликим випадковим зсувом (5%) у частотній сфері.

З усього цього у програмі MLSP 2013 рішення, що виграли, були random forests, що навчалися з ймовірностей, отриманих на основі зіставлення шаблонів специфічних для видових спектрограм [10]. Переможець NIPS4B 2013 року використовував ці результати як вихідну точку, але ввів додатковий набір функцій, статистично виведених з аудіофайлів. Лассек [8] також використовував подібний метод, щоб виграти BirdCLEF 2015 завдання.

Проте під час BirdCLEF 2016 було показано, що згорткові нейронні мережі, навчені спектральних даних, обчислених із звукозаписів, можуть перевершити інші сучасні системи. Ця теза використовує роботу Спренгеля [3] як вихідну точку та базову лінію, а також досліджує використання нового методу згорткової нейронної мережі, що називається глибинними залишковими нейронними мережами, а також нової методики збільшення даних, яка називається збільшенням дельта-даних частот з множинною шириною.

**Постановка завдання.** Потрібно навчити нейромережу виділяти відповідні спектри голосу птахів з попередньою підготовкою звуку.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Необроблені звукові дані не підходять для введення нейронної мережі, тому аудіосигнал зазвичай перетворюється на тимчасове спектральне подання.

Спектрограма дискретного звукового сигналу  $\bar{x} = x_1, \dots, x_n$  обчислюється в два або три кроки. По-перше, Short-Time Fourier Transform (коротке

тимчасове перетворення Фур'є) (STFT) застосовується до аудіосигналу. STFT розраховується стандартним способом, розділяючи сигнал [4] на різні фрейми, що перекриваються, а потім обчислюють Discrete Time Fourier Transform (DTFT) для кожного кадру, що призводить до матриці зі складними значеннями:

$$STFT\{\bar{x}\}(m, \omega) \equiv X_m(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x_n w(n - mR) e^{-j\omega n},$$

де  $x_n$  – вхідний сигнал у момент часу  $n$ ,  $w(n)$  – довжина  $M = 512$  вікно хеннінга орієнтовно навколо  $n$ , а  $R = 128$  являє собою розмір переходу між послідовними кадрами. Ми використовуємо librosa.stft метод бібліотеки librosa для обчислення STFT. По-друге, обчислюється квадратна амплітуда величини STFT, яку ми називаємо ampspectrogram, і, по-третє, натуральний логарифм амплітудної спектрограми обчислюється, яку ми називаємо logspectrogram.

$$ampspectrogram\{\bar{x}\}(\omega) \equiv |\bar{X}(\omega)| \equiv |\bar{X}(\omega)|^2$$

$$Logspectrogram\{\bar{x}\}(\omega) \equiv \log_e(|\bar{X}(\omega)|^2)$$

Виявлення типу звуку птаха

Аудіофайли спочатку переробляються у формат, який можна використовувати для навчання нейронної мережі. Аудіофайли нормалізуються до 16-бітних даних моноканальної хвилі, повторно відібрані з 44100 Гц до 22.050 Гц.

Виявлення пісні птаха

Записи пташиних пісень розділені на два різні звукові класи: сигнал (птаха вокал) та шум. Розділення дає змогу набуті нейронну мережу за найбільш релевантними даними, і це дає нам доступ до класу шумів, який може бути використаний для покращення навчальних зразків.

Після того, як запис був розділений [5] на сигнальну хвилю і шумову хвилю, кожен розділяється на 3-секундні сегменти, які зберігаються на диску. Сегменти шуму можуть пізніше бути використані для посилення навчальних зразків, що показуються в мережі, які мають поліпшити узагальнення. Частина сигналу витягується спочатку, обчислюючи маску сигналу  $\bar{v}$  для заданої звукової хвилі  $\bar{x}$ , а потім, використовуючи маску для витягання відповідної частини звукової хвилі, де  $v_i = 0$  вказує, що  $x_i$  не є частиною сигналу, і  $v_i = 1$  вказує, що це частина сигналу. Маска походить від бінарного зображення, яке обчислюється шляхом аналізу нормалізованої амплітудної спектрограми  $\bar{x}$ . Нехай  $\bar{b}$  є бінарним зображенням, нехай  $\bar{s}$  буде нормованою амплітудною спектрограмою  $\bar{x}$ , де  $\bar{b}$  та  $\bar{s}$  мають однакові розміри. Піксель за

індексом  $(i, j)$  у бінарному зображенні потім встановлюється в один, якщо  $s_j^{(i)}$  у  $t$  разів перевищує межу рядка та стовпця  $s$  у рядку  $i$  та стовпці  $j$

$$b_j^{(i)} = \begin{cases} 1, & \text{if } s_j^{(i)} > t \times \text{median}(s^{(i)}) \wedge s_j^{(i)} > t \times \text{median}(s_j) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

Двійкове зображення обробляється [6] додатково, застосовуючи бінарну ерозію, а потім двійкове розширення на зображенні, обидва з використанням розміру ядра від 4 до 4, що згладжує області, позначені як пташиний вокал, а маска сигналу  $\bar{v}$  походить від бінарного зображення, встановлюючи  $v_j$  до одного, якщо стовпчик  $\bar{b}_j$  містить один. Маску також згладжують шляхом виконання ще двох двійкових розбавлень (розмір ядра 4), а потім повторно треба масштабувати так, що  $|\bar{v}| = |\bar{x}|$ . Зображення на малюнку 2.1 були вручну порівняні для кожного етапу з відповідним зображенням, представленим Спренгелем для одного звукового файлу, і метод видає подібні результати.

Алгоритм Обчислення маски сигналу

- 1: procedure ComputeMask( $\bar{r}, t$ )
  - 2:  $Pxx \leftarrow \text{spectrogram}(\bar{r})$
  - 3:  $Pxx \leftarrow \text{normalize}(Pxx)$
  - 4: BinaryImage  $\leftarrow \text{medianClipping}(Pxx, t)$
  - 5: BinaryImage  $\leftarrow \text{erosion}(\text{BinaryImage}, (4, 4))$
  - 6: BinaryImage  $\leftarrow \text{dilation}(\text{BinaryImage}, (4, 4))$
  - 7: mask  $\leftarrow \text{computeMask}(\text{BinaryImage})$
- return mask

Маска сигналу обчислюється шляхом встановлення порога  $t = 3$ , а шум обчислюється шляхом встановлення  $t = 2,5$ , а потім інвертує маску наприкінці (фліпінг 0с-1с, а 1с-0с). Це може залишити частину хвилі, яка позначена як не сигнал і не шум (2.5-3). Вважається, що ці частини не сприяють випуску будь-якої відповідної інформації для мережі, їх просто ігнорують.

**Експеримент.** У експерименті було використано 18-шарову залишкову нейронну мережу, яка пройшла навчання на 120 епох, історія тренування якої показана на рисунках. На рисунку 1 показана зміна тренувань та втрат валідації.

А також зміна точності навчання та перевірки щодо навчальної епохи показана на рисунку 2.

На рисунку 3 показано кількість навчальних сегментів (синіх), зображених на правій осі у відношенні до 5% шматочків класів звуку, класифікованих за кількістю тренувальних сегментів у кожному 5-відсотковому шматочку. Він також показує середню кількість прогнозів, які отримують шматочки звукових класів (червоний колір) та очікувану середню кількість прогнозів для кож-

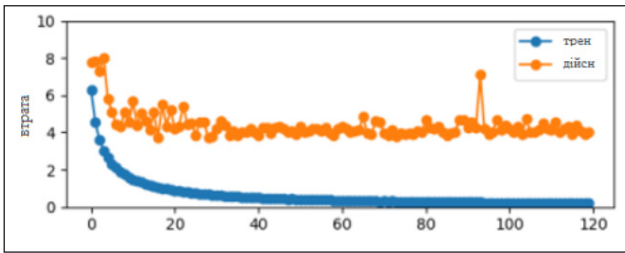


Рис. 1. Зміна тренувань та втрат валідації

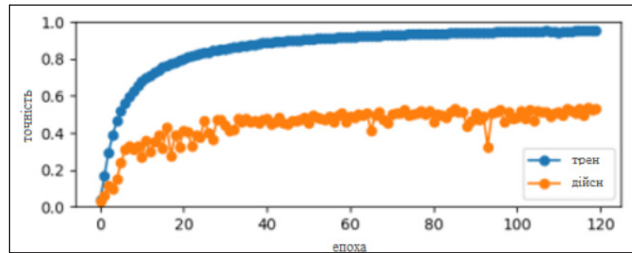


Рис. 2. Зміна точності навчання та перевірки щодо навчальної епохи

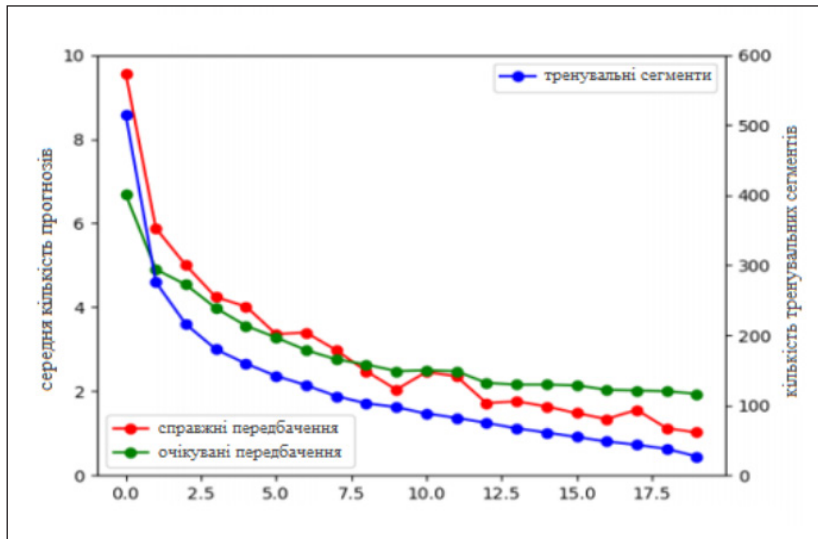


Рис. 3. Передбачені та тренувальні сегменти

ного шматка (зеленого кольору), нанесеного на ліву вісь Y.

**Висновок.** Нейронна мережа, яка може розпізнавати види живих птахів, дуже корисна для ефективного отримання даних у сфері екології, але для того щоб нейронна мережа могла бути

корисною, спочатку треба її навчити, як відрізняти звуки. Для цього треба обробити дані на подання навчання для нейромережі. Тому якщо не надати нейронній мережі досить даних для навчання, ми не будемо завжди отримувати правильні відповіді.

**Список літератури:**

1. Sergey Zagoruyko and Nikos Komodakis. Wide Residual Networks. Arxiv, 2016.
2. Dan Stowell, Mike Wood, Yannis Stylianou, and Hervé Glotin. Bird detection in audio: a survey and a challenge. 2016.
3. Elias Sprengel, Martin Jaggi, Yannic Kilcher, and Thomas Hofmann. Audio Based Bird Species Identification using Deep Learning Techniques. 2016
4. Jaderick P. Pabico, Anne Muriel V. Gonzales, Mariann Jocel S. Villanueva, and Arlene a. Mendoza. Automatic identification of animal breeds and species using bioacoustics and artificial neural networks. arXiv preprint, pages 1–17, 2015.
5. Peter Jancovic and Munevver Kokuer. Acoustic recognition of multiple bird species based on penalised maximum likelihood. IEEE Signal Processing Letters, 22(10):1–1, 2015.
6. Jason Wimmer, Michael Towsey, Paul Roe, and Ian Williamson. Sampling environmental acoustic recordings to determine bird species richness. Ecological Applications, 23(6):1419–1428, 9 2013.
7. Alexis Joly, Herve Goeau, Herve Glotin, Concetto Spampinato, Pierre Bonnet, Willem-Pier Vellinga, Robert Planque, Andreas Rauber, Robert Fisher, and Henning Müller. LifeCLEF 2014: Multimedia Life Species Identification Challenges. (ii):229–249, 2014.
8. Mario Lasseck. Bird song classification in field recordings: Winning solution for NIPS4B 2013 competition. Proc. of int. symp. Neural Information Scaled . . . , pages 1–6, 2013.
9. Herve Goeau, Herve Glotin, Willem Pier Vellinga, Robert Planque, Andreas Rauber, and Alexis Joly. LifeCLEF bird identification task 2015. CEUR Workshop Proceedings, 1391, 2015.
10. Yann LeCun, Yoshua Bengio, and Hinton Geoffrey. Deep learning. Nature Methods, 13(1):35–35, 2015.

## **ВЫДЕЛЕНИЕ ЗВУКА ПТИЦЫ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

*В статье освещаются практические аспекты использования нейронной сети для выделения звука птиц в живой природе с помощью нейронной сети. В частности, обучение нейронной сети с помощью нужных данных. В статье будет рассматриваться, как подается информация для обучения нейронной сети, а также как нейронная сеть обучается. Также мы рассмотрим предыдущие актуальные системы выделения звука птицы в живой природе с помощью нейронной сети. В конце статьи будут показаны результаты эксперимента.*

**Ключевые слова:** нейронная сеть, спектрограмма, обучение, функция, алгоритм.

## **ALLOCATION OF THE SOUND OF BIRDS IN WILDLIFE THROUGH THE NEURAL NETWORK**

*The article covers practical aspects of using the neural network for the allocation of the sound of birds in wildlife through the neural network. In particular, training the neural network with the necessary data. The article will consider how to provide information for training the neural network and also how the neural network learns. Also, we will consider the previous up-to-date systems for the allocation of bird's sound in wildlife through the neural network. The last one in the article will show the results of the experiment.*

**Key words:** neural network, spectrograph, training, function, algorithm.

УДК 004.8

**Савчук Т.О.**

Вінницький національний технічний університет

**Приймак Н.В.**

Вінницький національний технічний університет

## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ FP-GROWTH (FPG) ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*У роботі здійснено порівняльний аналіз методів генерації частих предметних наборів для пошуку асоціативних правил. Обґрунтовано доцільність використання методу FP-Growth (FPG) для пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення. Наведено основні етапи процесу розробки програмного забезпечення. Описано методи інтелектуального аналізу даних, що можуть використовуватися під час розробки програмного забезпечення. Обґрунтовано доцільність пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення.*

**Ключові слова:** програмне забезпечення, етапи розробки програмного забезпечення, метод FP-Growth, асоціативні правила, інтелектуальний аналіз даних.

**Постановка проблеми.** Розробка програмного забезпечення (ПЗ) – це комплексний процес створення комп'ютерних програм, в якому беруть участь розробники, бізнес-аналітики, дизайнери, інженери з якості та менеджери, що утворюють команду розробки [1]. Для ефективного планування роботи такої команди та для управління проектом менеджерам потрібно визначити тривалість кожного з етапів розробки ПЗ.

З метою покращення функціональності або виправлення дефектів код програмного продукту змінюється в процесі розробки. Усі зміни фіксуються в системах управління версіями коду, які дають змогу використовувати накопичену інформацію для подальшого аналізу. Оскільки обсяг таких даних неможливо проаналізувати вручну, то виникає потреба в автоматизованому аналізі. Для цього використовують різноманітні технології інтелектуального аналізу даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробка програмного забезпечення здійснюється із використанням різноманітних технологій, в основу яких покладено відповідні моделі.

Будь-яка з моделей процесу розробки програмного забезпечення складається з таких етапів (рисунок 1) [2, с. 210]:

1. Аналіз, під час якого відбувається дослідження предметної галузі і визначення вимог до ПЗ. Кінцевий результат – специфікація на розроблюваний програмний продукт.

2. Проектування, під час якого відбувається визначення внутрішньої будови та функціону-

вання майбутньої програми з точки зору розробника. Кінцевий результат – прототип розроблюваної програми.

3. Програмування (кодування, реалізація), під час якого створюється програмне забезпечення із використанням визначених мов програмування та засобів. Кінцевий результат – комп'ютерна програма.

4. Тестування та виправлення помилок, під час якого здійснюється виявлення та усунення дефектів, налагодження створеного продукту. Кінцевий результат – програма, що відповідає специфікації.

5. Документування, під час якого пишеться документація, описується майбутній продукт як з точки зору його створення, так і з точки зору його використання. Кінцевий результат – документація на розроблену програму.

Інформація, накопичена під час реалізації цих етапів, зберігається у репозитаріях з метою її подальшого аналізу. Для отримання корисних даних із накопиченої інформації доцільно застосовувати технології Data Mining [3, с. 57].

Основними методами інтелектуального аналізу даних (ІАД), що можуть використовуватися під час розробки програмного забезпечення, є [3, с. 60; 4]:

1. Інтелектуальний аналіз текстової інформації (листи, коментарі, документація), що дасть змогу визначити найактивніших учасників процесу розробки програмного забезпечення.

2. Кластеризація, що може використовуватися для визначення груп схожих модулів програм, базуючись на кількості зроблених модифікацій.

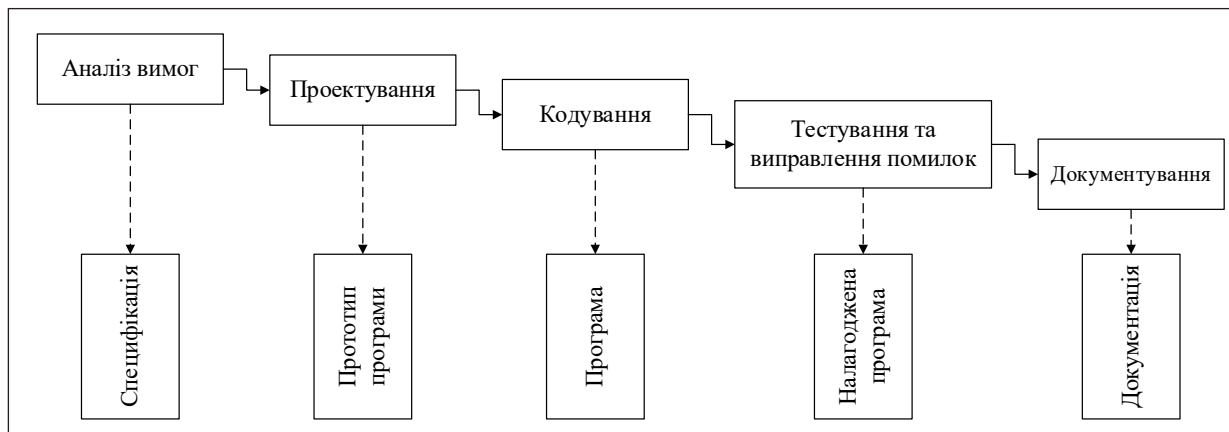


Рис. 1. Основні етапи розробки програмного забезпечення

3. Класифікація, що може використовуватися з метою визначення механізму ідентифікації вразливих модулів програмного забезпечення на основі атрибутів модулів чи системи.

4. Добування частих шаблонів або асоціативних правил, що можна використовувати для прогнозування розробника, який працюватиме над виправленням конкретної помилки в ПЗ. Такий підхід скоротить час, необхідний для підбору людських ресурсів, потрібних для виправлення дефектів.

5. Міркування на основі прецедентів, що може бути використане для знаходження необхідного набору тест-кейсів для валідації конкретного компонента, базуючись на даних, отриманих у разі тестування схожих компонентів раніше.

Пошук асоціативних правил дасть змогу досягти таких цілей під час розробки програмного забезпечення:

1) Визначення порушень в архітектурі програмного продукту.

У роботі [5] автори пропонують використовувати пошук асоціативних правил для визначення порушень в архітектурі об'єктно орієнтованого ПЗ.

Такий підхід допоможе визначати вразливі місця в архітектурі ПЗ на ранніх етапах його розробки, що дасть змогу уникнути додаткових матеріальних затрат на їх виправлення в майбутньому.

2) Визначення кількості необхідних ресурсів на розробку ПЗ.

У роботі [6] запропоновано застосовувати теорію нечітких множин та пошук асоціативних правил із використанням алгоритму Argiotti для оцінки необхідних людських ресурсів у процесі розробки ПЗ.

Такий підхід дасть змогу менеджерам проекту ефективно планувати діяльність кожного учасника процесу розробки ПЗ.

3) Визначення розробника, якого буде призначено для виправлення знайденого дефекту.

У роботі [7] запропоновано використовувати методи пошуку асоціативних правил для визначення розробника, що виправлятиме знайдений дефект у програмі.

Такий підхід дасть змогу автоматизувати процес призначення розробника на виправлення конкретного дефекту та може бути використаний менеджерами проекту під час планування діяльності учасників команди розробки ПЗ.

Отже, задача пошуку асоціативних правил під час процесу розробки ПЗ є актуальною, а її вирішення допоможе полегшити процес розробки програм.

**Постановка завдання.** Метою цього дослідження є обґрунтування доцільності використання методу генерації частих предметних наборів FP-Growth для пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Асоціативні правила – це закономірності типу «із події X витікає подія Y», тобто  $X \rightarrow Y$ , при цьому обов'язково має виконуватися умова, що  $X \cap Y \rightarrow \emptyset$  [8, с. 85].

Будь-яке асоціативне правило можна охарактеризувати двома числовими величинами [9, с. 244]:

1) Підтримкою  $supp(X \rightarrow Y)$ . Це величина, що дорівнює відношенню кількості записів  $X \cup Y$  в БД до загального числа записів у БД.

2) Достовірністю  $conf(X \rightarrow Y)$ . Це величина, що дорівнює відношенню підтримки  $supp(X \rightarrow Y)$  до підтримки  $supp(X)$ .

Задачу пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення можна розділити на дві підзадачі:

1. Підзадачу генерації частих предметних наборів для пошуку АП під час розробки про-



грамного забезпечення, в яких рівень підтримки не нижче заданого експертом порогового значення  $minsupp(X)$ .

2. Підзадачу генерації асоціативних правил  $X \rightarrow Y$  під час розробки програмного забезпечення, що мають рівень достовірності не нижче заданого експертом порогового значення  $minconf(X \rightarrow Y)$ .

Щоб вирішити підзадачу генерації частих предметних наборів для пошуку АП під час розробки ПЗ, використовують методи (рисунок 2), які можна класифікувати за способом цієї генерації:

– методи, що генерують кандидатів для частих предметних наборів [10, с. 487; 11–13];

– методи, що не виконують генерацію кандидатів перед пошуком частих предметних наборів [14]. Розглянемо кожен метод детальніше та здійснимо їх порівняльний аналіз (таблиця 1).

**Set-oriented mining method** [11].

Це найперший метод, що був запропонований для генерації частих предметних наборів. Обмеження: база даних є статичною.

Переваги: може застосовуватися до потужних БД, метод простий для розуміння.

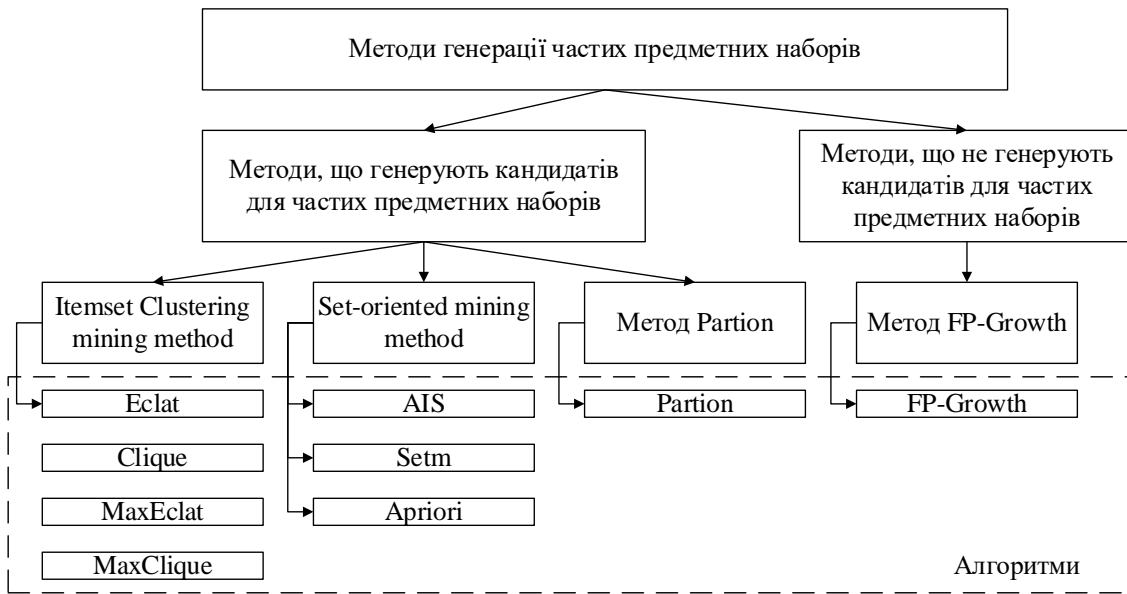


Рис. 2. Методи генерації частих предметних наборів

Таблиця 1

**Порівняння характеристик методів генерації частих предметних наборів для пошуку асоціативних правил**

Метод	Переваги	Недоліки
Set-oriented	– Можна застосовувати до потужних БД; – метод простий для розуміння	– Процес генерації можливих частих предметних наборів тривалий та використовує пам'ять комп'ютера; – виконується багаторазове сканування БД; – можливість роботи лише зі статичними даними
Partion	– Швидкий пошук у потужних БД; – лише два сканування БД	– Потреба у комп'ютері з великою кількістю оперативної пам'яті; – недосконалий підхід поділу БД на частини на першому етапі
Itemset Clustering	– Використання невеликої кількості оперативної пам'яті, – Немає необхідності у побудові хеш-структури, – лише одне сканування БД	– Необхідність здійснювати вибір параметрів для алгоритму кластеризації
FP-Growth	– Розмір FP-дерева досить малий, – висока швидкість пошуку частих предметних наборів	– Розмір FP-дерева не може бути більшим, ніж пам'ять комп'ютера, – два сканування БД, що може призвести до нетривіальних витрат, – обробка лише статичних даних

Недоліки: процес генерації можливих частих предметних наборів тривалий та використовує пам'ять комп'ютера, виконується багаторазове сканування БД, можливість роботи лише зі статичними даними.

**Метод Partion** [12].

Метод доцільно застосовувати для пошуку асоціативних правил у потужних БД. Основною його відмінністю від Set-oriented mining method є те, що перед пошуком частих предметних наборів БД розділяється на декілька частин, кожна з яких обробляється окремо. Обмеження: дані в БД зберігаються відсортованими в лексикографічному порядку у форматі  $\langle TID, it \rangle$ , де  $TID$  – це унікальний ідентифікатор транзакції, що розглядається,  $it$  – окремі елементи, з яких складається транзакція.

Переваги: метод дає змогу здійснювати швидкий пошук у потужних БД, відбувається лише два сканування БД для генерації частих предметних наборів, що зменшує використання фізичної пам'яті комп'ютера.

Недоліки: виконання цього методу потрібно здійснювати на комп'ютері з великою оперативною пам'яттю, підхід поділу БД на частини на першому етапі недосконалий.

**Itemset Clustering mining method** [13].

Це метод, в якому спочатку за допомогою методів кластеризації (кластеризація на основі класів еквівалентності, maximal Hypergraph Clique кластеризація) генеруються потенційні максимальні часті предметні набори, що складаються, як мінімум із 2 елементів. Для генерації кінцевих частих предметних наборів використовуються методи проходження по графу: з низу до верху та гібридний. Обмеження: дані в БД мають бути представлені у вертикальному вигляді, що дасть змогу їх кластеризувати за одне проходження по БД.

Переваги: використовується мало оперативної пам'яті, оскільки відбувається лише одне сканування БД, не потрібно будувати складну хеш-структуру для генерації частих предметних наборів.

Недоліки: необхідно вибрати параметри для алгоритму кластеризації.

До методів, що не здійснюють генерацію кандидатів для частих предметних наборів, належить FP-Growth.

**Метод FP-Growth** [14].

За використання цього методу вся інформація перетворюється на деревовидну структуру – FP-дерево, після проходження по якому зна-

ходяться часті предметні набори. Обмеження: FP-дерево не може бути більшим за розмірами, ніж основна пам'ять комп'ютера, на якому виконується його створення.

Переваги: розмір FP-дерева досить малий, що дає змогу уникнути затратної процедури генерації кандидатів, швидкість пошуку частих предметних наборів вища, ніж у попередніх методах.

Недоліки: неможливо побудувати FP-дерево, що матиме розмір більший, ніж основна пам'ять комп'ютера. Хоча FP-дерево досить компактне, для його побудови потрібно двічі сканувати БД, що може являти собою нетривіальні витрати, дає змогу обробляти лише статичні дані.

Для вирішення підзадачі генерації асоціативних правил  $X \rightarrow Y$  використовується один загальний підхід, який полягає в такому [10, с. 490]:

1. Для кожного частого набору довжиною  $w$  елементів всі можливі комбінації з  $w - 1$  елементів розглядаються як умова ( $X$ ), а елемент, що залишився, як наслідок ( $Y$ ).

2. Для кожної комбінації  $X$  та  $Y$  перевіряється, чи значення достовірності дорівнює або більше значення заданої мінімальної достовірності  $minconf(X \rightarrow Y)$ .

3. Якщо умова мінімальної достовірності виконується, асоціативне правило записується у вигляді  $X \rightarrow Y$ .

Як видно з таблиці 1, метод FP-Growth виконує генерацію частих предметних наборів швидше, ніж інші наявні методи, а також дає змогу обробляти потужні БД, отже, його варто застосовувати для генерації частих предметних наборів для пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення.

**Висновки.** Отже, було проведено аналіз наявних методів генерації частих предметних наборів, що можуть бути використані для пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення. Було з'ясовано, що для пошуку асоціативних правил під час розробки програмного забезпечення доцільно використовувати метод FP-Growth, оскільки він відповідає таким вимогам: дає змогу обробляти потужні БД; швидкість генерації частих предметних наборів досить висока.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що метод FP-Growth потрібно удосконалити за рахунок здійснення класифікації даних перед пошуком асоціативних правил, що скоротить час їх пошуку. Удосконалений метод може бути використаний у створенні відповідної інформаційної моделі.

**Список літератури:**

1. BPC, Articles and Glossary. Application Development. URL: <http://www.bestpricecomputers.co.uk/glossary/application-development.html> (дата звернення: 10.08.2018)
2. Glass R. Fact and Fallacie of Software Engineering. Boston. 2003, 210 p.
3. Xie T., Thummalapenta S. Data Mining for Software Engineering. Computer Volume. 2009. pp.55–62.
4. Halkidi M., Tsatsaronis G. Data mining in software engineering. Intelligent Data Analysis – IOS Press. 2011. pp. 413–441.
5. Maffort C. Mining Architectural Patterns Using Association Rules. International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. 2013. pp. 234–240.
6. Azzeh M. Software Stage-Effort Estimation Using Association Rule Mining and Fuzzy Set Theory. 2011. URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1703/1703.04539.pdf> (дата звернення: 05.09.2018).
7. Sharma M., Kumari M. Bug Assignee Prediction Using Association Rule. ICCSA 2015. Lecture Notes in Computer Science. 2015. pp.444–457.
8. Зайко Т., Олійник А. Ассоциативные правила в интеллектуальном анализе данных. Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. 2013. С. 82–96.
9. Zhang C. Association Rule Mining, Models and Algorithms. Berlin. 2002. С.244.
10. Agrawal R. Srikant P. Fast Algorithms for Mining Association Rules in Large Databases. Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases. 1994. pp. 487–499.
11. Agrawal R., Swami A. Mining Association Rules between Sets of Items in Large Databases. International Conference on Management of Data. 1993. pp. 207–216.
12. Savasere A., Omiecinski E. An Efficient Algorithm for Mining Association Rules in Large Databases. Proceedings of the 21th International Conference on Very Large Data Bases. 1995. pp. 432–444.
13. Hipp J. Algorithms for Association Rule Mining – A General Survey and Comparison. ACM SIGKDD Explorations Newsletter. 2000. pp. 58–64.
14. Han J., Pei J., Yin Y. Mining frequent patterns without candidate generation. SIGMOD '00 Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD international conference on Management of data. 2010. pp. 1–12.

**ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА FP-GROWTH (FPG) ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

*В работе осуществлен сравнительный анализ методов генерации частых предметных наборов для поиска ассоциативных правил. Обоснована целесообразность использования метода FP-Growth (FPG) для поиска ассоциативных правил при разработке программного обеспечения. Приведены основные этапы процесса разработки программного обеспечения. Описаны методы интеллектуального анализа данных, которые могут использоваться при разработке программного обеспечения. Обоснована целесообразность поиска ассоциативных правил при разработке программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** *программное обеспечение, этапы процесса разработки программного обеспечения, метод FP-Growth, ассоциативные правила, интеллектуальный анализ данных.*

**THE FEASIBILITY STUDY OF USING METHOD FP-GROWTH (FPG) DURING THE SOFTWARE DEVELOPMENT**

*In the paper a comparative analysis of the methods of frequent object sets generation for the associative rules search is performed. The expediency of using the FP-Growth (FPG) method for searching associative rules in software development is grounded. The main stages of the software development process are represented. The methods of data mining, which can be used in software development, are described. The expediency of associative rules search during the software development is substantiated.*

**Key words:** *software, stages of the software development process, method FP-Growth, associative rules, data mining.*

УДК 004.942

**Самодєлок Р.В.**

Інститут проблем безпеки  
атомних електростанцій НАН України

**Любицький О.В.**

Інститут проблем безпеки атомних  
електростанцій НАН України

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ПОБУДОВІ МОДЕЛЕЙ НА ПЛАТФОРМІ «3DS MAX»

*Проведено аналіз сфер застосування чисельних методів моделювання деформації сітчастих тривимірних структур, як-то проведення фізичного експерименту «in silico», обчислення в галузі інженерних наук та комп'ютерна візуалізація динамічних процесів. У результаті аналізу виявлено, що основою створення методології моделювання є визначення оптимального співвідношення між точністю моделі та ресурсоемності алгоритмів. Показано, що моделювання деформації може відбуватися у режимі реального часу за умови накладання обмежень на обчислювальний ресурс апаратної платформи програмного забезпечення, водночас воно має забезпечувати достатню точність обчислень. Показана можливість реалізації такого алгоритму у середовищі «Autodesk 3ds Max» і пакеті прикладних програм для числового аналізу. Зазначено, що різниця реалізації лінійного та нелінійного методу, що зростає з ростом вузлової сили, функція нелінійного методу скінченних елементів при цьому наближається до квадратичної. Також продемонстровано збіжність методу дотичних для нелінійного методу скінченних елементів.*

**Ключові слова:** модель деформації, тетраедральний елемент, матриця жорсткості, метод скінченних елементів, нелінійна модель, «3ds Max».

**Постановка проблеми.** Моделювання деформацій сітчастих тривимірних структур має широку галузь застосування, воно використовується для аналізу та візуалізації процесів у різних сферах фізики (механіка, термодинаміка, гідродинаміка тощо), підготовці краш-тестів, створенні хірургічних тренажерів, комп'ютерній анімації та комп'ютерних іграх [1-6], зокрема таких, що будуються у програмному пакеті “Autodesk 3ds Max”, для якого буде проведено подальше моделювання. Основою створення методології моделювання деформацій є визначення оптимального співвідношення між точністю розробленої моделі та ресурсоемності алгоритмів.

Моделювання часто відбувається у режимі реального часу, при цьому обчислювальний ресурс апаратної платформи може бути суттєво обмежений, тому що програмне забезпечення (ПЗ) має використовуватися широким загалом користувачів. При цьому практика використання моделей деформацій сітчастих тривимірних структур показує, що лінійні методи, що характеризуються меншою ресурсоемністю, не забезпечують достатню точність обчислень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі роботи було проведено аналіз сучас-

них публікацій, присвячених моделюванню деформацій та використання чисельних методів у галузі фізики, інженерних наук та структурного аналізу [2; 5–7; 10]. У результаті було запропоновано метод швидкого розрахунку матриць жорсткості для методу скінченних елементів через розширення моделі лінійної деформації до деформації Гріна Лагранжа.

**Постановка завдання. Мета статті** – проаналізувати сфери застосування чисельних методів моделювання деформацій сітчастих тривимірних структур, як-то проведення фізичного експерименту «in silico», обчислення в галузі інженерних наук та комп'ютерна візуалізація динамічних процесів. Показати можливість реалізації такого алгоритму у середовищі “Autodesk 3ds Max” і пакеті прикладних програм для числового аналізу. Розкрити збіжність методу дотичних для нелінійного методу скінченних елементів.

**Виклад основного матеріалу.** Моделювання деформацій може відбуватися у режимі реального часу за умови накладання обмежень на обчислювальний ресурс апаратної платформи програмного забезпечення, водночас воно має забезпечувати достатню точність обчислень.

Таблиця 1

Визначення значень  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  і  $\delta_i$  через координати  $x_i, y_i$  і  $z_i$

$i$	1	2	3	4
$\alpha_i$	$\begin{vmatrix} x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_3 & y_3 & z_3 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_4 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$
$\beta_i$	$\begin{vmatrix} 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_3 & z_3 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & y_1 & z_1 \\ 1 & y_2 & z_2 \\ 1 & y_3 & z_3 \end{vmatrix}$
$\gamma_i$	$\begin{vmatrix} 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_4 & z_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & z_3 \end{vmatrix}$
$\delta_i$	$\begin{vmatrix} 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_3 & y_3 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_4 & y_4 \end{vmatrix}$	$\begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}$

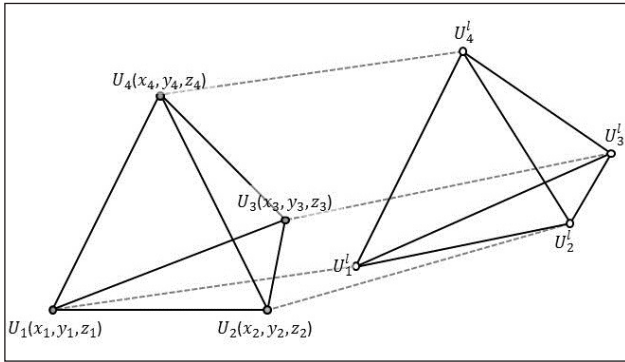


Рис. 1. Математична модель деформації тетрадрального елемента сітчастої 3D структури у разі деформації об'єкта, що моделюється

1. Математичне моделювання деформації сітчастої структури.

Як базовий елемент сітчастої 3D-структури у рамках цієї роботи пропонується використовувати найбільш простий елемент – тетраедр, що характеризується повним набором координат чотирьох точок у тривимірному просторі, і, таким чином, може бути описаний набором змінних  $U_i(x,y,z)$ , де  $i=4$ . Деформація тривимірної моделі у математичному вигляді може бути описана як перехід від матриці  $U$  (рис. 1) до матриці  $U_i$  (l: linear function displacement) через функцію  $C(c_1, c_2, c_3, c_4)$ :

$$U_i(x,y,z) = C(U(x,y,z)) = c_1 + c_2x + c_3y + c_4z \quad (1)$$

Координати окремої вершини тетраедра при цьому можуть бути визначені [5–7]:

$$U_i^l(x,y,z) = \begin{pmatrix} U_1^l \\ U_2^l \\ U_3^l \\ U_4^l \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Таким чином,  $c_n$  можна визначити через  $U_n$  як  $c_n = Y \cdot U_n$ , причому  $Y$  описується через співвідношення наборів значень  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  і  $\delta_i$ , представлених у вигляді матриці та об'єму тетраедра  $V$ :

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{pmatrix} = \frac{1}{6V} \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 & \gamma_4 \\ \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & \delta_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Відповідно,  $U^l$  може бути визначена через об'єм деформованого тетрадрального елемента  $V$ :

$$U_i^l(x,y,z) = \frac{1}{6V^l} [1 \ x \ y \ z] \cdot \begin{bmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 \\ \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 \\ \gamma_1 & \gamma_2 & \gamma_3 & \gamma_4 \\ \delta_1 & \delta_2 & \delta_3 & \delta_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{pmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Очевидно, складники матриці  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  і  $\delta_i$  визначаються через координати  $x_i, y_i$  і  $z_i$  (табл. 1).

Водночас об'єм тетрадрального елемента може бути визначено:

$$V = \frac{1}{6} \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_j & y_j & z_j \\ 1 & x_n & y_n & z_n \\ 1 & x_k & y_k & z_k \end{vmatrix} \quad (5)$$

Надалі з метою отримання формул для розрахунку ефекту деформації рівняння (4) можна переписати:

$$U_i^l = \frac{1}{6V^l} \begin{bmatrix} \alpha_1 + \beta_1x + \gamma_1y + \delta_1z \\ \alpha_2 + \beta_2x + \gamma_2y + \delta_2z \\ \alpha_3 + \beta_3x + \gamma_3y + \delta_3z \\ \alpha_4 + \beta_4x + \gamma_4y + \delta_4z \end{bmatrix} \times [u_1, u_2, u_3, u_4] \quad (6)$$

Рівняння (6) вказує на можливість спрощення математичного опису тетрадрального елемента, замість чотирьох наборів змінних  $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$  і  $\delta_i$  можна ввести один набір  $\epsilon_i$ :

$$\begin{cases} \varepsilon_1 = \frac{1}{6V} (\alpha_1 + \beta_1 x + \gamma_1 y + \delta_1 z) \cdot u_1 \\ \varepsilon_2 = \frac{1}{6V} (\alpha_2 + \beta_2 x + \gamma_2 y + \delta_2 z) \cdot u_2 \\ \varepsilon_3 = \frac{1}{6V} (\alpha_3 + \beta_3 x + \gamma_3 y + \delta_3 z) \cdot u_3 \\ \varepsilon_4 = \frac{1}{6V} (\alpha_4 + \beta_4 x + \gamma_4 y + \delta_4 z) \cdot u_4 \end{cases} \quad (7)$$

Метод, що пропонується використовувати у рамках цієї роботи, базується на виведенні матриць жорсткості через великі деформації Гріна-Лагранжа, що можна розглядати як розширення теорії нескінченно малих деформацій, за якого не виключаються з розгляду нелінійні члени.

**2. Застосування методу скінченних елементів та моделі деформації Гріна-Лагранжа.** Запропонована нелінійна модель методу скінченних елементів (FEM: Finite Element Method) використовує лінійну структуру, що не вимагає використання вагових функцій та диференціальних рівнянь, а отже, у розрахунку задачі немає необхідності у використанні чисельних методів інтегрування, що значно зменшує ресурсоемність апаратної платформи.

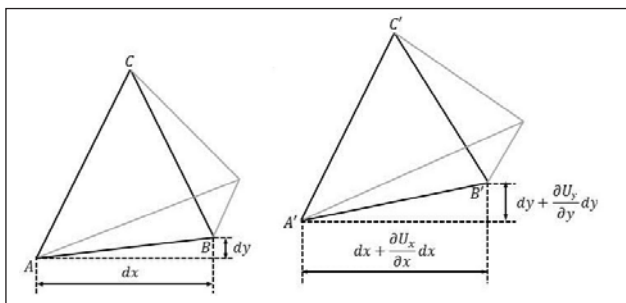


Рис. 2. Математичне моделювання деформації ребра грані тетраедрального елемента сітчастої 3D структури

Замість вагових функцій та інтегрального обчислення у цьому разі пропонується застосувати градієнти зміщення та деформації, це дає змогу змоделювати просторово незалежну матрицю елементарної жорсткості і таким чином розширити лінійний FEM до нелінійного FEM через розширення моделі лінійної деформації до деформації Гріна-Лагранжа.

Очевидно, що розробка цього методу моделювання деформацій тривимірних об'єктів вимагає переходу від 2D-FEM, що широко представлено у літературних джерелах [4–7], до 3D-FEM. На рис. 2 моделювання деформації показано на прикладі розрахунку для ребра однієї з граней тетраедрального елемента, трансформації відрізка  $AB \rightarrow A'B'$ :

$$\Delta_x = \frac{|A'B'| - |AB|}{|AB|} \quad (8)$$

Довжина відрізка може бути визначена:

$$|A'B'| = \sqrt{\left(dx + \frac{\partial U_x}{\partial x} dx\right)^2 + \left(dy + \frac{\partial U_y}{\partial y} dy\right)^2} \quad (9)$$

Якщо знехтувати членами високого порядку, трансформацію 2D-об'єкта на рівні нескінченно малих деформацій можна визначити як:

$$\begin{cases} \Delta_{xx} = \frac{\partial U_x}{\partial x} \\ \Delta_{yy} = \frac{\partial U_y}{\partial y} \\ \Delta_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) \end{cases} \quad (10)$$

Подальший розвиток моделі і проведення нелінійного FEM-аналізу необхідно включити до розгляду членів високого порядку. Лінійний FEM-аналіз базується на припущеній нескінченно малого зсуву вздовж осей  $x, y, z$ , тоді як для великих деформацій слід розрізняти початкові та кінцеві координати елементів сітчастої структури. Для 3D-деформацій слід ввести члени високого порядку  $\eta_{ij}$  (табл. 2).

Тензор деформації Гріна-Лагранжа у матричному представленні:

$$\{\eta\} = \frac{\{d\}^T \cdot [B_{NL}] \cdot \{d\}}{2} + [B_L^T] \cdot \{d\}, \quad (11)$$

де  $\{d\}$  характеризує зсув вузла елемента сітчастої структури 3D-моделі (відповідно,  $\{d\}^T$  – транспонований вектор  $\{d\}$ ),  $[B_{NL}]$  – нелінійна частина матриці вузлів  $[B_0]$ , а  $[B_L]$  – лінійна частина).

Таблиця 2

Визначення високого порядку  $\eta_{ij}$  для  $i \in \{x, y, z\}$  та  $j \in \{x, y, z\}$

$\eta_{ij}$	Члени високого порядку 3D-деформації
$\eta_{xx}$	$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial U_x}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial U_x}{\partial z} \right)^2 \right]$
$\eta_{yy}$	$\frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^2 \right]$
$\eta_{zz}$	$\frac{\partial U_z}{\partial z} + \frac{1}{2} \left[ \left( \frac{\partial U_x}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial U_x}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial U_x}{\partial z} \right)^2 \right]$
$\eta_{xy} = \eta_{yx}$	$\frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial U_x}{\partial x} \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \frac{\partial U_z}{\partial y} \right]$
$\eta_{yz} = \eta_{zy}$	$\frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial z} \right) + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial U_x}{\partial y} \frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_y}{\partial y} \frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \frac{\partial U_z}{\partial y} \right]$
$\eta_{xz} = \eta_{zx}$	$\frac{1}{2} \left( \frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \right) + \frac{1}{2} \left[ \frac{\partial U_x}{\partial x} \frac{\partial U_x}{\partial z} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial x} \frac{\partial U_z}{\partial z} \right]$

Для окремого тетраедрального елемента  $[B_{NL}]$  і  $[B_L]$  є константами відповідно до лінійного

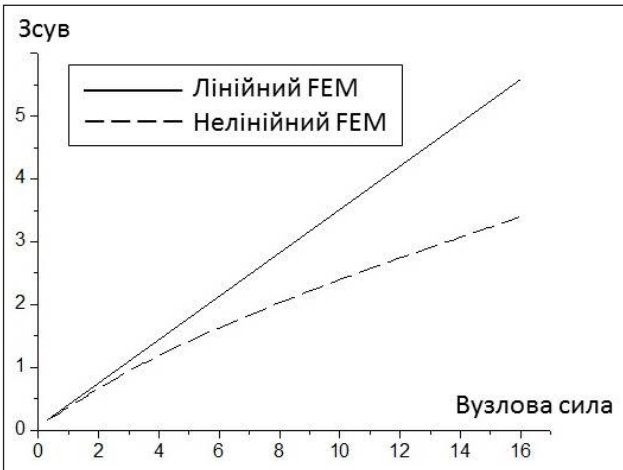


Рис. 3. Залежність зсуву від вузлової сили для лінійного та нелінійного FEM

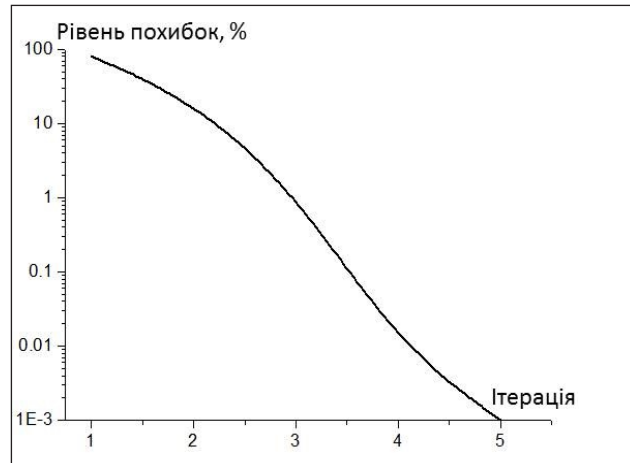


Рис. 4. Графік збіжності методу дотичних для нелінійного FEM

FEM-аналізу. Але якщо включити у аналіз зміну вектора  $\{d\}$ , рівняння (11) можна записати так:

$$\{\bar{\eta}\} = \{d\}^T \cdot [B_{NL}] \cdot \{d\} + [B_L^T] \cdot \{d\}. \quad (12)$$

Остаточно аналіз деформації сітчастої структури 3D-моделі, що включає всі тетрадральні елементи ( $\{\eta\} = [B_0] \cdot \{d\}, \{\bar{\eta}\} = [\bar{B}_0] \cdot \{d\}$ ):

$$\begin{cases} \{\eta\} = \left( \frac{\{d\}^T \cdot [B_{NL}]}{2} + [B_L^T] \right) \cdot \{d\} \\ \{\bar{\eta}\} = (\{d\}^T \cdot [B_{NL}] + [B_L^T]) \cdot \{d\} \end{cases} \quad (13)$$

При цьому складник  $[B_L]$  нелінійного FEM-аналізу відповідатиме аналогічному складнику лінійного FEM-аналізу.

Таким чином, на основі матриці вузлів  $[B_0]$  та матриці секунтних зв'язків  $[E]$  можна визначити матрицю жорсткості окремого елемента  $[k(U)]$  і далі спростити рівняння, враховуючи, що для тетрадрального елемента  $[B_0]$ ,  $[E]$  та  $[\bar{B}_0]$  є константами:

$$\begin{aligned} [k(U)] &= \iiint \{d\}^T [B_0]^T [E] [\bar{B}_0] \{d\} dx dy dz = \\ &= \{d\}^T [B_0]^T [E] [\bar{B}_0] \mathcal{V}. \end{aligned} \quad (14)$$

Тоді вузлові сили у деформованому елементі можна визначити як через зсув вузла елемента, так і через матрицю координат:

$$f^i = k_s^i(d) \{d\}^i = k_s^i(U) U^i, \quad (15)$$

де  $k_s^i()$  – секундна матриця жорсткості.

У результаті функції нелінійного переміщення можна отримати шляхом використання методу дотичних (метод Ньютона-Рафсона).

**Аналіз результатів моделювання.** Розроблений алгоритм нелінійного FEM найбільш ефективно реалізується і візуалізується у середовищі “3DS Max” і пакета прикладних програм для числового аналізу [8–10]. При цьому можна

визначити табличні дані лінійних властивостей матеріалів для моделей. У цій роботі використано 1 ГПа для модуля Юнга, що є близьким для поліпропілену і 0,25 для коефіцієнта Пуассона, який ми використовували. У наборі проведених експериментів кожен мав різну кількість елементів для спостереження за прискоренням для обчислення матриць жорсткості та для рішення системи. На рис. 3 показана різниця реалізації лінійного та нелінійного методу, що зростає з ростом вузлової сили, функція нелінійного FEM при цьому наближається до квадратичної.

На рис. 4 показано збіжність методу дотичних для нелінійного FEM, при цьому рівень похибок представлено в логарифмічному масштабі.

Таким чином, запропонований метод розрахунку матриць жорсткості для нелінійного FEM дає змогу збільшити точність аналізу та його швидкість у побудові матриць елементарної жорсткості. Запропонований метод показує 2-3 більшу швидкість в обчисленні матриць жорсткості і на 1,1-1,2 більшу швидкість обчислення всієї сітчастої структури, ніж типові методи, що використовуються для розрахунку подібних задач, як-то, наприклад, метод Педерсена.

**Висновки.** Проведено аналіз чисельних методів моделювання деформацій сітчастих тривимірних структур. Виявлено, що основою створення методології моделювання є визначення оптимального співвідношення між точністю моделі та ресурсомності алгоритмів. Моделювання деформацій має відбуватися у режимі реального часу за умови жорстких обмежень обчислювального ресурсу. Для побудови моделі було запропоновано використовувати тетрадральний базовий елемент як основу

сітчастої тривимірної структури; метод, що було розроблено у рамках цієї роботи, базується на виведенні матриць жорсткості через великі деформації Гріна-Лагранжа. Запропоновано нелінійну модель методу скінченних елементів, що містить у своїй основі лінійну структуру та градієнти зміщення і

деформацій. Показана можливість реалізації такого алгоритму у середовищі “Autodesk 3DS Max” і пакеті прикладних програм для числового аналізу. Продемонстровано збіжність методу дотичних для розробленого нелінійного методу скінченних елементів.

#### Список літератури:

1. The Finite Element Method for Fluid Dynamics. (2014). The Finite Element Method for Fluid Dynamics, Iii. DOI:10.1016/b978-1-85617-635-4.00018-2.
2. G.R. Joldes, A. Wittek, and K. Miller, “Real-timenonlinear finite element computations on GPU: application to neurosurgical simulation”. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 199, no. 49–52, pp. 3305–3314, 2010.
3. Rao S.S. (2011). MATLAB Programs for Finite Element Analysis. The Finite Element Method in Engineering, pp. 683–704. DOI:10.1016/b978-1-85617-661-3.00023-4.
4. Huthwaite P., & Lowe M.J. (2014). High speed finite element simulations on the graphics card. DOI:10.1063/1.4865070.
5. Extended Finite Element Formulation. (2014). Extended Finite Element Method, 31–76. DOI:10.1002/9781118869673.ch2.
6. Matrix Presentation of the Finite Element Method. (2013). Finite Element Method, 231–343. DOI:10.1002/9781118569764.ch4.
7. D.L. Logan. A First Course in the Finite Element Method, Cengage Learning, 5th edition, 2012.
8. Autodesk, “3ds Max – 3D Modeling, Animation, and Rendering Software”. 2012, URL: <http://www.autodesk.com/products/autodesk-3ds-max/>.
9. E. Madenci and I. Guven. The Finite Element Method and Applications in Engineering Using ANSYS, Springer, Berlin, Germany, 1st edition, 2006.
10. Maplesoft, “MATLAB Connectivity – Maple Features”. 2012, URL: <http://www.maplesoft.com/products/maple/features/matlabconnectivity.aspx>

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛЕЙ НА ПЛАТФОРМЕ «3DS MAX»

*Проведен анализ областей применения численных методов моделирования деформаций сетчатых трехмерных структур, таких как проведение физического эксперимента «insilico», вычисления в области инженерных наук и компьютерная визуализация динамических процессов. В результате анализа определено, что основой для создания методологии моделирования является определение оптимального соотношения между точностью модели и ресурсоемкости алгоритмов. Показано, что моделирование деформаций может происходить в режиме реального времени при наложении ограничений на вычислительный ресурс аппаратной платформы программного обеспечения, в то же время оно должно обеспечивать достаточную точность вычислений. Показана возможность реализации данного алгоритма в среде “Autodesk 3ds Max” и пакете прикладных программ для численного анализа. Отмечено, что разница реализации линейного и нелинейного метода растет с ростом узловой силы, функция нелинейного метода конечных элементов при этом приближается к квадратичной. Также продемонстрировано сходимость метода касательных для нелинейного метода конечных элементов.*

**Ключевые слова:** модель деформации, тетраэдральный элемент, матрица жесткости, метод конечных элементов, нелинейная модель, “3ds Max”.

#### APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD OF THE 3DS MAX MODELS

*The analysis of the areas of numerical methods application for modeling deformations of mesh three-dimensional structures, such as the physical experiment “in silico”, calculations in the field of engineering sciences and computer visualization of dynamic processes was done. As a result of the analysis, it is determined that the basis for development a modeling methodology is to determine the optimal relationship between the accuracy of the model and the resource intensity of the algorithms. It is shown that the modeling of deformations can occur in real time mode while imposing limitations on the computational resource of the hardware platform of the software, at the same time, it should provide sufficient accuracy of the calculations. The possibility of implementing this algorithm in the environment of “Autodesk 3ds Max” and a package of applied programs for numerical analysis is shown. It is noted that the difference in the implementation of the linear and nonlinear method increases with the growth of the nodal force, and the function of the nonlinear finite element method approaches the quadratic one. The convergence of the tangent method for the nonlinear finite element method is also demonstrated.*

**Key words:** deformation model, tetrahedral element, stiffness matrix, finite element method, nonlinear model, “3ds Max”.



УДК 004.932.2; 004.932.2

**Самойлов А.Н.**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

**Шевченко И.В.**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

## РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА АДАПТИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЯРКОСТНЫХ ПОРОГОВ ФРАГМЕНТОВ ЦИФРОВОГО РАСТРОВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПЛАСТИНЫ ПОЛУПРОВОДНИКА

*В статье исследуются методы получения бинаризованных цифровых изображений. Метод, подлежащий анализу, оценивается с точки зрения использования для бинаризации изображения пластины полупроводника. Дислокацию можно описать как схему с геометрическими примитивами – линиями в сочетании со структурным описанием формы дислокации для пиксельного анализа. Анализируются параметры, используемые для настройки метода обработки цифровых изображений пластин полупроводников GaAs.*

**Ключевые слова:** глобальная бинаризация, адаптивная бинаризация, растровое изображение, фрагмент, дислокация, пластина GaAs, ямки травления.

**Постановка проблемы.** Монокристаллы полупроводников, а в частности монокристаллы GaAs, изготовленные методом Чохральского, имеют отклонения по качеству, которые согласно нормативным документам по производству монокристаллов характеризуются наличием микродефектов, неровностей, дислокаций и других структурных нарушений кристаллической решётки. Качество изготовления монокристалла определяется стандартизированной величиной плотности дислокаций: отношения их числа к площади проверяемой фотоэлектрической пластины из расчёта на квадратный сантиметр пластины, полученной изданного монокристалла. Наличие дислокаций является нормированным и может достигать  $10^3 \div 10^5 \text{ см}^{-2}$ , при контроле качества монокристалла GaAs.

Количественный контроль дислокаций пластин монокристаллов GaAs, выполняемый оператором, неэффективен. Однако удобство и дешевизна визуально-оптического метода инициирует исследование в области автоматизации процесса подсчёта ямок травления дислокаций на цифровом растровом изображении, полученном на интерферометре МИИ-4.

Ямки травления дислокации на изображении могут быть представлены как последовательность отрезков, сходящихся в общий центр [1], что инвариантно относительно аффинных преобразований. Эффективность такого подхода позволяет использовать яркостные переходы на фрагментах изображения как признаки контуров дислокаций.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Глобальные методы бинаризации [2] позволяют получить обобщённую картину всех имеющихся дефектов и артефактов освещения поверхности пластины с помощью визуально-оптического метода, реализуемого оператором, определяющего степень бинаризации дислокаций. Методы локального порога яркости позволяют детализировать растровое бинарное изображение.

Работа [3] посвящена определению локального порога яркости, однако реализация имеет трудности для вычислительных систем с ограниченными ресурсами.

В работе [4] описано применение альтернативного подхода адаптивной бинаризации к поиску местного порога по статистически исследованным интенсивностям значений локальной окрестности каждого пикселя. Быстрые для реализации функции включают определение среднего значения локального распределения интенсивности, медианного значения или среднего значения от минимального и максимального значений.

**Постановка задачи.** Необходимо проанализировать метод адаптивной пороговой обработки [4] яркостных перепадов элементов цифрового изображения с точки зрения целесообразности его применения в дальнейших исследованиях фрагментов цифрового растрового изображения пластины полупроводника для подсчёта дислокаций.

**Изложение основного материала исследования.** Рассмотрим свойства адаптивного извлечения порога в областях интереса растрового изображения

для получения некоторой количественной оценки различий в результатах обработки цифрового растрового изображения теми или иными используемыми методами. Применение вышеупомянутого метода является промежуточным этапом, влияющим на последующие этапы обработки.

В работе [4] предложена методика статистического анализа ограниченной области размером  $N$  с определённым размером связности вокруг анализируемого пикселя растрового изображения  $N$  и степенью обработки  $C$ . В то время как глобальные операторы порога используют единый порог для всех пикселей, адаптивный порог изменяется динамически, что учитывает изменения условий освещённости изображения фрагментов, например, возникающих в результате сильного градиента освещения или теней.

Значительная вариативность параметров связности и степени бинаризации позволяет экспериментально подобрать альтернативное глобальной бинаризации определение локального порога яркости при помощи адаптивной бинаризации.

Размер окрестности для получения данных об яркости, с одной стороны, должен быть большим для охвата статистически достаточного количества пикселей на переднем и заднем плане, иначе выбранный порог будет неоптимальным. С другой стороны, выбор слишком больших областей может нарушить предположение приблизительно равномерного освещения.

Здесь и далее примем за интенсивность пикселей фона значение 255, а их количество будет подсчитано в процентах от общего количества точек плоскости  $S$  полутонового изображения [2].

Экспериментально рассматриваемое полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] после предварительной подготовки имеет явно выраженные ямки травления дислокаций. Размер интересующих фрагментов дислокаций, полученных визуально-оптическим методом, составляет 5 мкм.

Ямки травления дислокаций расположены как составляющие элементарных треугольных граней с общими вершинами (рис. 1). Неравномерное отражение света не даёт полного отображения в плоскости цифрового растрового изображения. Учитываем тот факт, что грань дислокации – это порог яркости, отображающий соседние плоскости дислокации или граница перехода со скачком яркости на крае поверхности [1]. Используя подходы к выделению границ и восстановления контуров на основе скачкообразного перехода яркости, можно определить грань ямки травления.

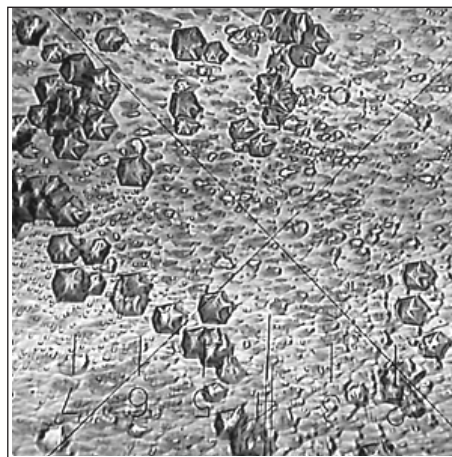


Рис. 1. Полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] с явно различимыми ямками травления дислокаций

Предварительно обработанное полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] (рис. 1) подвергается адаптивной бинаризации с исходными параметрами связности по соседним точкам изображения  $N=7$ , с вариацией величины коэффициента адаптивной бинаризации  $C=[4..40]$ . Величина связности с соседними пикселями анализируемого пикселя растрового изображения  $N$  позволяет получить полную картину учёта яркости.

Для полутонового восьмибитного растрового изображения пластины полупроводника результатом обнаружения яркостного порога при параметре связности  $N=7$  является различие в количестве подчёркнутых фрагментов на изображении для коэффициентов адаптивной обработки яркостных порогов  $C=[4..40]$ , что выражается численным показателем площади  $S_{\text{бин}}\%$ .

Результаты обработки содержит таблица 1. Полученные значения бинаризованной площади  $S_{\text{бин}}\%$  в случае изменения величины коэффициента адаптивной бинаризации  $C=[4..40]$  после обработки изображения позволяют сделать вывод о зависимости величины значения бинаризованной площади  $S_{\text{бин}}\%$  от увеличения  $C$ . Коэффициент адаптивной бинаризации  $C$  вносит в обработку возрастающую степень подавления пикселей по мере увеличения своего значения.

Анализируя полученные результаты визуально-оптическим методом, с точки зрения оператора, можно заметить, что такое изображение содержит множество несущественных фрагментов с одной стороны, и их количество, выраженное через  $S_{\text{бин}}\%$ , заметно сокращается. Сократить число несущественных фрагментов позволяет медианный фильтр с минимальным параметром усреднения 2 пикселя [5] (рис. 3).

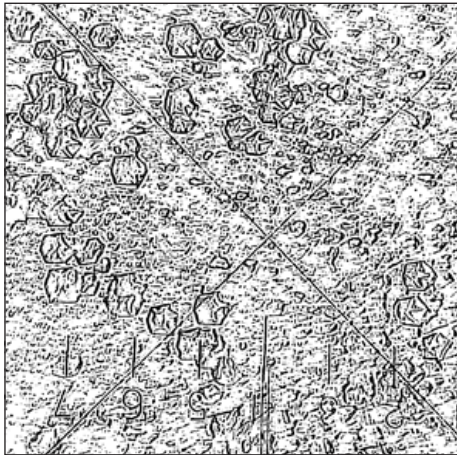


Рис. 2. Обработанное полутоновое восьмибитное изображение пластины полупроводника GaAs ориентации [100] с параметром связности  $N=7$  и коэффициентом адаптивной бинаризации  $C=7$

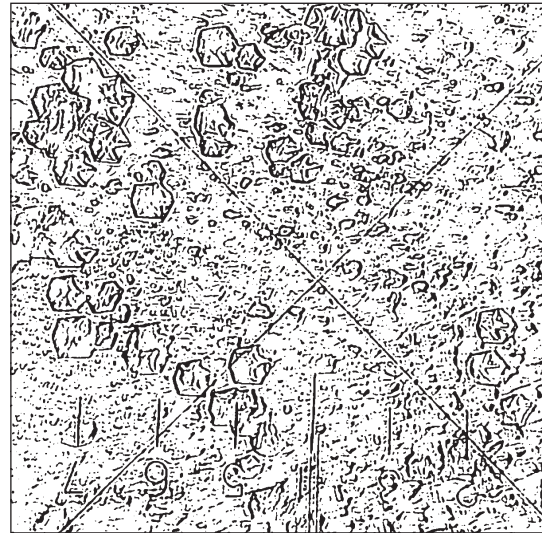


Рис. 3. Обработанное изображение пластины после применения медианного фильтра

Таблица 1

Процент площади обнаруженных точек фрагментов при значениях коэффициента адаптивной бинаризации  $C=[4...40]$  для изображения и значение площади  $S_{\text{бин}}\%$

№	C	N	$S\%$	$S_{\text{бин}}\%$
1	4	7	57,75	42,250
2	7	7	62,601	37,399
3	10	7	66,876	33,124
4	15	7	72,716	27,284
5	20	7	77,25	22,75
6	25	7	80,78	19,22
7	30	7	83,588	16,412
8	40	7	87,718	12,282

Экспериментальные данные в таблице 2 показывают, что процент площади  $S_{\text{мед}}\%$  после обработки изображения медианным фильтром с минимальным параметром усреднения 2 пикселя заметно уменьшает количество фрагментов изображения. Тем самым уменьшается суммарный объем операций для дальнейшей обработки. Количественные параметры (доля площади после обработки медианным фильтром  $S_{\text{мед}}\%$ ) приведены в таблице 2.

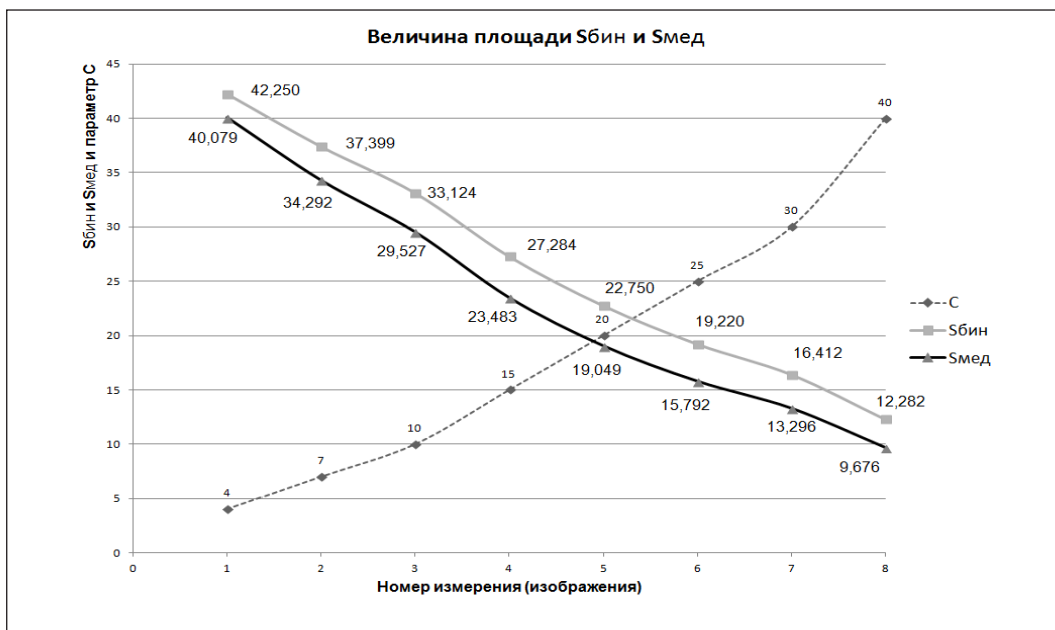


Рис. 4. График зависимости  $S_{\text{бин}}\%$ ,  $S_{\text{мед}}\%$  площади фрагментов после адаптивной бинаризации  $S_{\text{бин}}\%$  и дополнительной обработки медианным фильтром  $S_{\text{мед}}\%$  соответственно, при изменении коэффициента адаптивной бинаризации  $C=[4...40]$  для полутонового восьмибитного изображения пластины полупроводника GaAs ориентации [100]

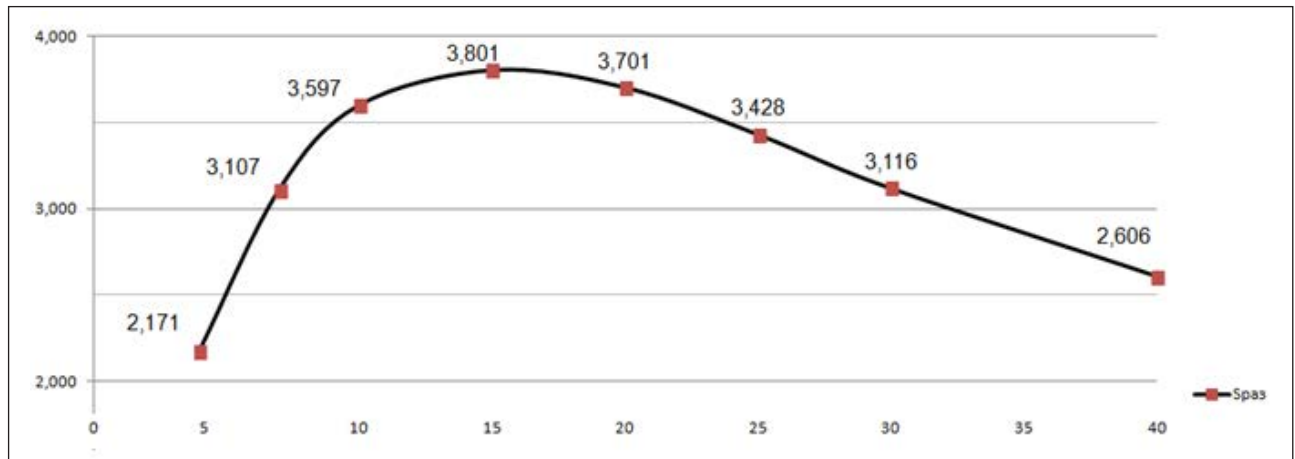


Рис. 5. Графічне зображення різниці площей  $S\Delta\%$  показує величину зменшення площі бінаризованих фрагментів пластини напівпровідника GaAs орієнтації [100] після адаптивної бінаризації з коефіцієнтом  $C=[4...40]$  і медіанного фільтра

Таблиця 2

Процент площі виявлених точок фрагментів  $S_{мед}\%$  бінаризованного зображення обробленого медіанним фільтром для значень коефіцієнта адаптивної бінаризації  $C=[4...40]$

№	C	S%	$S_{мед}\%$
1	4	59,921	40,079
2	7	65,708	34,292
3	10	70,473	29,527
4	15	76,517	23,483
5	20	80,951	19,049
6	25	84,208	15,792
7	30	86,704	13,296
8	40	90,324	9,676

Площа фрагментів після бінаризації фрагментів  $S_{бин}\%$  з параметром бінаризації  $C=[4...40]$ , а також площа  $S_{мед}\%$  після обробки медіанним фільтром (таблиці 1 і 2) мають залежність, показану на графіку (рис. 4).

Площа фрагментів  $S_{бин}\%$  має устойчиво більше значення, ніж після обробки медіанним фільтром (площа  $S_{мед}\%$ ). Проаналізуємо різницю в площах  $S\Delta\%$  для різних значень  $C=[4...40]$ . Детальна оцінка  $S\Delta\%$  з масштабуванням дозволить знайти визначені закономірності в обробці зображення.

Різниця площі  $S\Delta\%$  отримується як  $S\Delta\% = S_{бин}\% - S_{мед}\%$  після бінаризації фрагментів  $S_{бин}\%$  з параметром бінаризації  $C$ , а також площа  $S_{мед}\%$  після обробки медіанним фільтром показана на рис. 5 і в табл. 3.

Таблиця 3

Різниця площі  $S\Delta\%$  точок фрагментів бінаризованного зображення  $S_{бин}\%$  і обробленого медіанним фільтром  $S_{мед}\%$  для різних значень коефіцієнта адаптивної бінаризації  $C=[4...40]$

№	C	$S_{бин}\%$	$S_{мед}\%$	$S\Delta\%$
1	4	42,250	40,079	2,171
2	7	37,399	34,292	3,107
3	10	33,124	29,527	3,597
4	15	27,284	23,483	3,801
5	20	22,75	19,049	3,701
6	25	19,22	15,792	3,428
7	30	16,412	13,296	3,116
8	40	12,282	9,676	2,606

Изучая разностную величину  $S\Delta\%$  для значений  $C=[4...40]$ , представленную на рис. 4 в графическом виде, можно сделать вывод о получении наибольшей разницы в площади  $S\Delta\%$  после медіанного фільтра в случае значения  $C=15$ . Количество обнаруженных точек убывает с увеличением значения коэффициента  $C$ .

Таким образом, анализируя результаты адаптивной обработки яркостных порогов фрагментов цифрового растрового изображения пластинки напівпровідника, можно утверждать, что вариация параметра  $C=[4...40]$  позволяет гибко использовать адаптивную бінаризацію для уменьшения количества незначительных фрагментов. Из вышеприведенных данных (рис. 4, табл. 3) можно увидеть большее количество полученных точек для  $C=15$ , нежели для остальных значений  $C$ .

Данный факт подтверждает, с одной стороны, сокращение количества мелких несуществен-

ных фрагментов, с другой, позволяет определить коэффициент  $C=15$  как оптимальный для метода адаптивной бинаризации с целью достижения наибольшей детализации данных о фрагментах в областях интереса на растровом изображении пластины полупроводника.

**Выводы.** Анализ результатов адаптивной обработки яркостных порогов для фрагментов цифрового растрового изображения пластины GaAs методом адаптивной обработки полутонового восьмибитного изображения со значением коэффициента адаптивной бинаризации  $C=15$

показывает возможность автоматически выявлять максимальное количество фрагментов. Применение медианной фильтрации с параметром усреднения 2 пикселя объединяет ближние фрагменты и уменьшает количество незначимых фрагментов.

Дальнейшие исследования направлены на применение автоматического режима оценки степени бинаризации для получения фрагментов линий контуров предполагаемых граней бинаризованного изображения с целью обнаружения следов дислокаций на полупроводниковых пластинах GaAs.

#### Список литературы:

1. Самойлов А.Н., Петренко В.Р. Методы распознавания объектов цифрового изображения, отображающие структурные дефекты пластин GaAs, используемые для изготовления ФЭП. Функциональная база нанoeлектроники: материалы V Междунар. научн. конф., (Харьков– Кацивели, 30 сентября–5 октября 2012 г.). Харьков: ХНУРЭ, 2012. С. 386–389.
2. Самойлов А.Н., Петренко В.Р. Сравнение эффективности глобальных методов бинаризации растровых цветных изображений. Вестник КрНУ имени Михаила Остроградского. 2012. № 4(75). С. 49–54.
3. Chow C.K., Kaneko T. Automatic Boundary Detection of the Left Ventricle from Cineangiograms. Comp. Biomed. 1972. vol. 5. No. 34. PP. 388–410.
4. Gonzales R., Woods R. Digital Image Processing. Addison-Wesley Publishing Company, 1992. PP. 443–452.
5. Самойлов, А.Н. Исследование медианной фильтрации бинаризованных контуров дислокаций пластины GaAs на растровых цифровых изображениях. IT-Перспектива: материалы I Всеукр. науч.-практ. конф. (Кременчуг, 4–5 апреля 2014 р.). Кременчуг, 2014. С. 10–11.

#### РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ АДАПТИВНОЇ ОБРОБКИ ЯРКІСНИХ ПОРОГІВ ФРАГМЕНТІВ ЦИФРОВОГО РАСТРОВОГО ЗОБРАЖЕННЯ ПЛАСТИНИ НАПІВПРОВІДНИКА

*У статті досліджуються методи одержання бінаризованих цифрових зображень. Метод, що підлягає аналізу, оцінюється з точки зору використання бінаризації зображення пластини напівпровідника. Дислокацію можна описати як схему з геометричними примітивами – лініями в поєднанні зі структурним описом форми дислокації для піксельного аналізу. Аналізуються параметри, що впливають на настройку методу з метою використання в обробці цифрових зображень пластин напівпровідників GaAs.*

**Ключові слова:** глобальна бінаризація, адаптивна бінаризація, растрове зображення, фрагмент, дислокація, пластина GaAs, ямки травлення.

#### RESULTS OF THE ANALYSIS OF ADAPTIVE PROCESSING OF THE BRIGHTNESS THRESHOLD OF THE DIGITAL RASTER IMAGES SEMICONDUCTOR WAFER

*The given work is devoted to the methods of obtaining binarized digital images on the wafer GaAs. The analyzed method is evaluated for view of using for semiconductor plate for image binarization. Dislocation can be described as an outline with geometric primitives – lines in conjunction with a structural description of the form of dislocation and per-pixel analysis. Parameters for adjusting the method for the purpose of using in the processing of digital images of GaAs semiconductor plates are analyzed.*

**Key words:** global binarization, adaptive binarization, raster image, fragment, dislocation, etching pits, wafer GaAs.

**Соколенко Д.Г.**

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

**Корнага Я.І.**

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

## СИСТЕМА РОЗПІЗНАВАННЯ ПИСЕМНИХ СИМВОЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

*Нейронні мережі знаходять все більшу кількість сфер, де вони можуть використовуватись, починаючи від допомоги у захисті інформації на мобільних пристроях і закінчуючи алгоритмами прогнозування будь-яких соціальних, економічних або природних процесів. У статті буде розкрито питання роботи однієї з таких нейронних мереж для розпізнавання рукописних символів. Під час аналізу цього питання буде виявлено, як можна навчити мережу розпізнавати символи та як покращити роботу такого алгоритму за допомогою самонавчання нейронної мережі. Також буде розглянуто питання роботи нейронної мережі за некоректних вхідних даних та які перспективи роботи такої системи у цілому. Загалом стаття має розкрити питання призначення нейронної мережі та доцільність її використання.*

**Ключові слова:** нейронна мережа, нейрон, машинне навчання, алгоритм, система.

**Постановка проблеми.** У людині бувають випадки у житті, коли вона хоче зекономити час на переписування тексту з паперового вигляду на електронний пристрій. Одна з таких ситуацій може відбуватися, коли студент для підготовки до екзамену хоче бачити свій конспект у електронному вигляді, тоді як він записував навчальний матеріал тільки на папері. У такій ситуації може використовуватись нейронна мережа, що може перевести текст із зошита в електронний вигляд.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом алгоритми роботи додатка від Google – Google Translate допомагає побачити, наскільки світові компанії намагаються вдосконалити алгоритми роботи з текстом (і не тільки з ним), оскільки у довгостроковій перспективі такі алгоритми відіграватимуть значну роль у житті суспільства. Дослідження та публікації ми можемо побачити в офіційному блозі компанії Google – AI Google Blog, де останні статті присвячені розпізнаванню музики або того, що зображено на картинках.

Якщо говорити не тільки про компанію Google, то можна навести одну зі статей з Міжнародної конференції з комп'ютерних наук в Індонезії у 2017 році (ICCCSI 2017), де порушувалося питання роботи нейронних мереж у розпізнаванні символів порівняно з іншими алгоритмами (наприклад, оптичними алгоритмами) розпізнавання тексту, не використовуючи нейромережу. У статті зазначалося, що нейронна мережа у будь-

якому разі краще розпізнає текст, ніж будь-які інші системи, які розроблені на цей час.

**Постановка завдання.** Система розпізнавання писемних символів буде складатися з додатка, який оброблятиме вхідні зображення та оформлюватиме текст в електронному вигляді. Головне завдання нейронної мережі – розпізнавання писемних символів із зображення та виявлення аналогів в електронному вигляді.

Експеримент буде полягати у розробці програми, яка зможе розпізнавати текст із зображення. Під час розробки буде проаналізований алгоритм роботи системи, оброблено інформацію щодо коректності роботи такої системи та знаходження шляхів, як можна покращити роботу нейронної мережі.

**Виклад основного матеріалу.** Штучна нейронна мережа – це математична модель, яка розроблена за прикладом роботи людського мозку. Основним складником будь-якої нейронної мережі є нейрон. Для штучної нейронної мережі характерна можливість навчання. Це її основна відмінність від роботи звичайних алгоритмів [1].

Для будь-якої нейронної мережі основними складниками є вхідні та вихідні дані. Якщо говорити про вхідні дані (вхідний шар) щодо нашого експерименту, то головним елементом є зображення, на якому присутній текст. Якщо говорити про вихідні дані (вихідний шар), то головним елементом буде електронний текст, який був перенесений з паперового вигляду. Етапом обробки тек-

сту (прихований шар) будуть алгоритми, які мають обробляти вхідні дані та вивести вихідні дані [2].

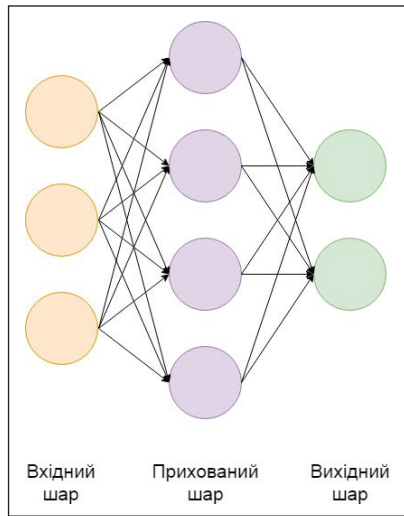


Рис. 1. Структура нейронної мережі

Етап розпізнавання тексту можна поділити на декілька етапів:

1. Обробка зображення та розпізнавання тексту у цілому. Цей етап нам необхідний для виявлення меж тексту. Ця процедура відбувається за допомогою роботи із фільтрами зображення для виявлення того, де знаходиться текст, а де зображені звичайні «шумові» предмети (ручка, олівець, цяточки на зображенні та ін.).

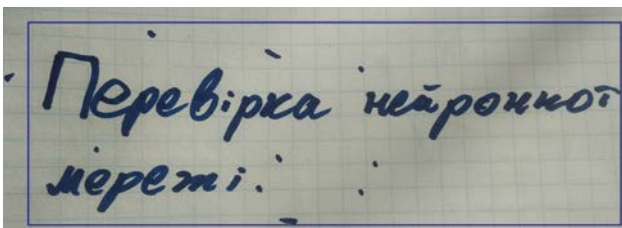


Рис. 2. Розпізнавання області тексту на зображенні

2. Обробка кожного окремого слова за допомогою визначення відступів між словами. Головною проблемою цього етапу може бути переплутування літери у слові з окремим словом. Для вирішення цієї проблеми нейронна мережа має навчитися пристосовуватися до почерку окремої людини.

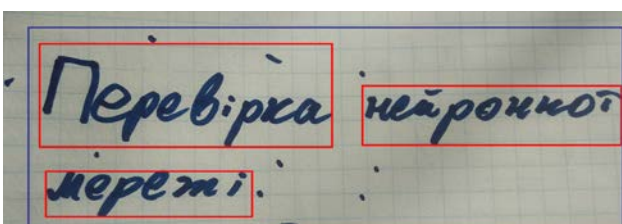


Рис. 3. Розпізнавання кожного окремого слова у тексті

3. Виявлення окремих літер у слові та розпізнавання, на які печатні літери вони схожі. Складність цього етапу буде полягати тільки у почерку кожної людини та виявлення основних рис кожної окремої літери у слові.



Рис. 4. Розпізнавання кожної окремої літери у слові

Перевірка розпізнавання кожного окремого слова робиться за допомогою виявлення зміни кольору та встановлення коефіцієнта жирності тексту, щоб можна було виявити особливі прикмети кожної літери [3; 4; 5]. Наприклад, для літери «в» основними прикметами є два кола. Щоб знайти ці два кола, по-перше, потрібно виявити грані кожної літери. Наприклад, на зображенні можна побачити, де присутній напис ручкою, а де ні. По-друге, потрібно побудувати символ за допомогою лінії.

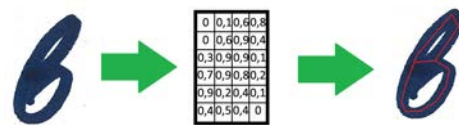


Рис. 5. Розпізнавання літери та її основних прикмет

Робота виявлення та розпізнавання кожної літери не така і складна, але бувають моменти, коли доводиться продумати, як можна розрізнити для нейронної мережі такі літери, як «Й» та «И» та інші. На жаль, такі моменти будуть виникати під час роботи системи доволі часто, на допомогу якраз і приходить етап виявлення кожного окремого слова у реченні, що дає можливість виділити цілу область слова та побачити, чи не пропустила нейронна мережа випадково який-небудь напис.

Загалом для коректної роботи потрібно зробити тренування для більш досконалішого алгоритму розпізнавання писемних символів. У кожної людини свій окремий почерк, в якому буває важко розпізнати, які літери написані, або текст може бути написаний настільки стисло, що нейронна мережа може розпізнавати окремі слова як одне слово [8; 9].

Для тренування нейронної мережі краще за все для людини написати декілька раз літери

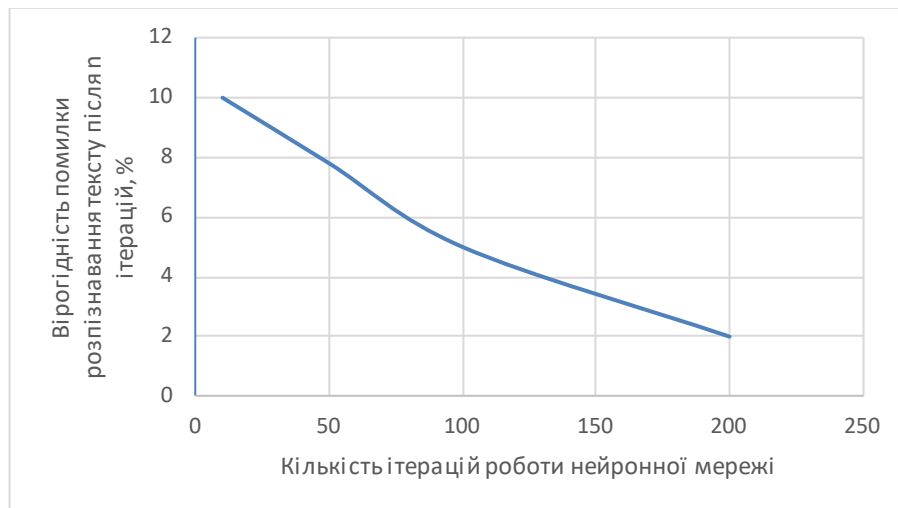


Рис. 6. Графік залежності процента помилок роботи нейронної мережі від кількості навчальних ітерацій

алфавіту, щоб нейронна мережа могла пристосуватися до почерку людини [6; 7]. Загалом з графіка ми можемо бачити, що зі збільшенням кількості використання нейронної мережі кількість помилок у розпізнаванні літер зменшується [10].

Особливим етапом має бути обробка тексту з помилками, де нейронна мережа мусить визначити ці помилки, виправити їх і правильно обробляти. Для цього до нейронної мережі потрібно підключити словник та під'єднати до цього правила граматики кожної мови. Наприклад, компанія Google протягом 10 років намагається зробити коректну роботу свого перекладача, але результат досі не найкращий, система іноді не може провідмінити деякі слова.

Для роботи нейронної мережі з помилковими вхідними даними кількість ітерацій роботи нейронної мережі має сягати 1000 та більше разів. Чим більша кількість ітерацій, тим краще нейронна мережа буде справлятися зі своєю роботою.

**Висновки.** Якщо говорити про експеримент, який був представлений у статті, то ми можемо бачити, що алгоритм розпізнавання тексту можна вдосконалювати за допомогою збільшення кількості випробувань такої системи. Важливу частину роботи такої системи відіграватиме оптимізація алгоритму обробки фотографії з текстом.

Робота алгоритму розпізнавання тексту може мати багато сфер, де вона має шанс бути використаною. Одразу можна сказати, що це роботи з розпізнавання тексту незнайомої для людини мови та її перекладом на знайому мову.

Загалом, якщо говорити про нейронні мережі, то вони мають перспективи використання в усіх сферах життя людини. Наприклад, якщо ми будемо говорити про проект розумного дому, де система буде підлаштовуватися під життя людини та обробляти такі вхідні дані, як час, температура та вологість повітря, голос людини та інше, а на виході результатом буде коректна робота такої системи, що може поліпшити життя людини.

#### Список літератури:

1. Кононюк А.Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми. Київ, 2008. 446 с.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2006. 1104 с.
3. Wang T., Wu D., Coates A. End-to-End Text Recognition with Convolutional Neural Networks. 2012. 60 p.
4. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. 2006. 758 p.
5. Raschka S. Python Machine Learning. 2005. 456 p.
6. Locascio N. Fundamentals of Deep Learning. 2017. 298 p.
7. Whitley D. Genetic Algorithms and Neural Networks: Optimizing Connections and Connectivity. 1990. 361 p.
8. Rashid T. Make Your Own Neural Network. 2016. 222 p.
9. Rogers J. Object-Oriented Neural Network in C++. 1997. 310 p.
10. Хинтон Д. Как обучаются нейронные сети. 1992. 107 p.



## СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ПИСЬМЕННЫХ СИМВОЛОВ С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СИСТЕМЫ

*Нейронные системы находят все большее количество сфер, где они могут применяться, начиная с помощи в защите информации на мобильных устройствах и заканчивая алгоритмами прогнозирования каких-либо социальных, экономических или природных процессов. В статье будет раскрыт вопрос работы одной из таких нейронных систем для определения рукописных символов. Во время анализа данного вопроса будет определено, как можно научить систему распознавать символы и как можно улучшить работу данного алгоритма с помощью самообучения нейронной системы. Также будет рассмотрен вопрос работы нейронной системы при некорректных входящих данных и какие перспективы работы такой системы в целом. В целом статья должна раскрыть вопрос предназначения нейронной системы и целесообразность её использования.*

**Ключевые слова:** нейронная система, нейрон, машинное обучение, алгоритм, система.

## RECOGNITION SYSTEM OF WRITING SYMBOLS BY NEURAL NETWORK

*Neural systems find an increasing number of spheres where they can be applied. It can be use from helping to protect information on mobile devices and to create any prediction of any social, economic or natural processes. The article will try to answer on question of how neural system can determine handwritten symbols. During the analysis of this issue it will be determined how it is possible to teach the system to recognize symbols and how to improve the operation of this algorithm by self-learning algorithm of neural system. Also we will try answer on question of work neural network with incorrect input data and perspective of neural network. In whole the article need to answer the question of neural network mission and do we need to use it or we have another alternatives.*

**Key words:** neural system, neuron, machine learning, algorithm, system.

**Стародуб А.О.**

Одеський національний політехнічний університет

**Бабіч В.Ф.**

Одеський національний політехнічний університет

## РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ГАЗОПОДІБНОГО ПАЛИВА ЯК ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ

*У сучасних умовах витрати на паливо становлять значну частину бюджету теплопостачальних підприємств, особливо в зонах з помірним і холодним кліматом. Тому в умовах зростання цін на енергоносії та загострення екологічних проблем все більш високі вимоги висуваються до систем оптимізації використання енергії органічного палива. У статті представлена математична модель статички процесу горіння газоподібного палива як об'єкта управління. Представлені розрахункові формули та результати розрахунків у середовищі Matlab. Також отримані розрахунки концентрацій складників димових газів установки для згорання газоподібного палива в режимах недостачі і надлишку повітря.*

**Ключові слова:** процес згорання палива, об'єкт управління, оптимізація, модель динаміки, статичні характеристики.

**Постановка проблеми.** Найбільшими забруднювачами навколишнього середовища шкідливими викидами техногенного характеру в атмосферу є продукти спалювання органічного палива в котлах теплових електростанцій, підприємств промислового виробництва, водогрійних і опалювальних установках житлово-комунального господарства, а також двигунами внутрішнього згорання автотранспорту.

У більшості установок спалювання палива, що використовуються нині, оптимізація режиму горіння забезпечується шляхом підтримки співвідношення тиску палива і повітря відповідно до режимної карти. Такий спосіб є не досить ефективним, оскільки він не дає змогу враховувати зміни температури і вологості повітря, теплотворної здатності і температури газу і низки інших зовнішніх факторів. У зв'язку з цим у разі складання режимних карт допускають наявність значного надлишку повітря, щоб за жодних умов не допустити виникнення хімічного недопалу. У результаті в деяких режимах витрати повітря на горіння палива перевищують оптимальні в 1,5–2 рази, що збільшує витрату електроенергії на дуття і призводить до необхідності нагрівання надлишкового повітря, що подається в топкову камеру, тобто до додаткової витрати палива.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У спеціалізованій статті [1, с. 174–177] йдеться про перспективу використання мініатюрних датчиків для регулювання в технології спалювання палива. Також, аналізуючи дослідження із вико-

ристання сучасних систем автоматичної оптимізації у більшості установок спалювання палива, що використовуються нині, оптимізація режиму горіння забезпечується шляхом підтримки співвідношення тиску палива і повітря відповідно до режимної карти, але такий спосіб є не досить ефективним.

**Постановка завдання.** Більшість розроблених систем автоматичної оптимізації співвідношення «паливо–повітря» побудовані із використанням стаціонарних газоаналізаторів і використовують коригуючий сигнал за величиною вмісту кисню в димових газах. На деяких типах котлів ці системи регулювання передбачені проектною документацією в обов'язковому порядку. Однак ці системи, як правило, не працюють у режимі регулювання, а газоаналізатор використовується в моніторинговому режимі, що зумовлено низкою причин:

– концентрація кисню в димових газах залежить не тільки від витрати повітря в топці (дуття), але й від інших умов експлуатації (неконтрольованого підсмоктування повітря, що спотворює показання киснеміра, зміни характеристик пальників, неідентичності характеристик пальників в багатопальникових котлах, зміни теплотворної здатності та виду палива, коливання вологості повітря тощо), що, своєю чергою, знижує ефективність роботи системи з регулювання за величиною вмісту кисню в димових газах;

– обмежене поширення мікропроцесорних контролерів, що мають стійкі та надійні алго-

ритми роботи з газоаналізаторами за значних збурень у широкому діапазоні навантаження установки, оскільки багато з розроблених алгоритмів регулювання не враховують перехідні процеси в топці у разі зміни потужності, а також інерційність електроприводів вентиляторів і димососів.

Вказані причини контрастують з вимогою, щоб у заданій продуктивності установки, тобто в кожній робочій точці і в будь-який момент часу оптимальна ефективність процесу згоряння палива була гарантована, мінімізуючи при цьому забруднюючі речовини, такі як сажа, CO,  $H_2$ , CnHm, а також  $CO_2$ . Виконання цих вимог стає дедалі важчим за дуже змінних граничних умов без відповідного інноваційного контролю горіння.

Тому необхідні нові рішення для керованої або оптимізованої експлуатації установок спалювання палива, які також можуть бути використані економічно в системах автоматичного регулювання установок від малої до великої потужності і навіть для регулювання двигунів внутрішнього згоряння. Прикладом прогресивних рішень у цьому напрямі є системи автоматичного регулювання процесу горіння в різноманітних установках для згоряння палива як постійного складу (сертифікованого), так і змінного складу (несертифікованого) з використанням коригуючих сигналів за вмістом компонентів хімічного недопалу  $H_2$  і CO в димових газах [1, с. 175].

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

В сучасних умовах витрати на паливо становлять значну частину бюджету тепlopостачальних підприємств, особливо в зонах з помірним і холодним кліматом. Тому в умовах зростання цін на енергоносії та загострення екологічних проблем все більш високі вимоги пред'являються до систем оптимізації використання енергії органічного палива.

Основними забруднювачами навколишнього середовища є продукти неповного згоряння, такі як сажа, CO,  $H_2$  та незгорілі вуглеводні CnHm. Зменшення викидів забруднюючих речовин можливе перш за все за рахунок розробки систем керування процесом горіння під час експлуатації установок згоряння палива. З цінових та технологічних причин вони майже не використовуються в установках згоряння малої (до 200 кВт) та середньої потужності (до 3 МВт).

У ідеальному стехіометричному горінні ( $\alpha = 1$ ) в установку подають з повітрям стільки кисню, скільки потрібно для повного спалювання палива. У димовому газі відсутній залиш-

ковий кисень, і котел працює з максимальною ефективністю. Нестача повітряного кисню призводить до втрат ефективності через неповне згоряння палива (появі в димових газах  $H_2$ , CnHm, NO) та високих викидів шкідливих речовин, таких як сажа, CO одночасно. Надлишок повітря в топці призводить до зайвих теплових витрат, оскільки не використане для горіння повітря переноситься як баласт і викидається в навколишнє середовище нагрітим до високої температури.

На рисунку 1 показаний типовий профіль статичних характеристик процесу згоряння палива – залежностей концентрацій основних компонентів димових газів на виходу з котла від коефіцієнта надлишку повітря в топці котла  $\alpha = 21 / (21 - O_2)$ .

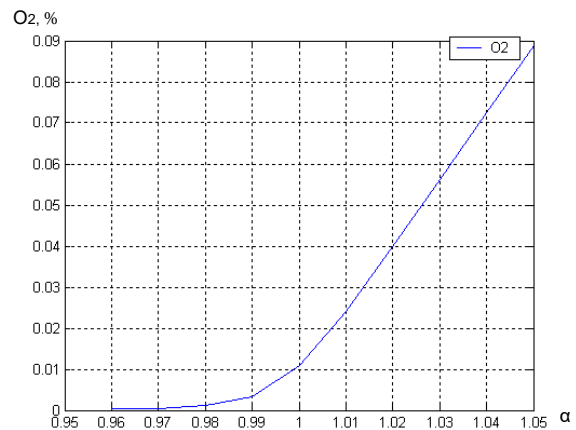


Рис. 1. Типові статичні характеристики процесу згоряння палива в котлі

Таким чином, як видно з рисунку 1, за підтримання оптимального коефіцієнта надлишку повітря в топці коефіцієнт корисної дії установки і температура в топці мають екстремуми. Ці залежності є типовими, що дає змогу складну і неоднозначну задачу екстремального регулювання замінити задачею підтримання на рівні слідів (сотих або тисячних об. процентів) концентрацій продуктів хімічного недопалу  $H_2$  або CO в димових газах. Складність реалізації задачі автоматичної оптимізації процесу спалювання міститься у використанні високочутливих і стабільних датчиків концентрацій водню  $H_2$  та кисню вуглецю у високотемпературних потоках димових газів з високою вологістю.

Детальніше розглянемо алгоритм розрахунку статичних характеристик процесу горіння.

Кількісний склад продуктів згоряння визначається температурою, загальним тиском, під яким перебуває газова суміш, а також ваговими частками хімічних елементів, що входять у сполуки, що становлять продукти згоряння [3, с. 411].

Ступінь дисоціації газу швидко зростає зі збільшенням температури й залежить від тиску. Зі зниженням загального тиску в продуктах згоряння вуглеводного палива збільшується відносний вміст продуктів неповного згоряння й взагалі всіх продуктів, утворення яких супроводжується витратою тепла й збільшенням хімічної енергії, тобто ступінь дисоціації продуктів згоряння збільшується.

Розрахунок сполуки продуктів згоряння з урахуванням дисоціації починається зі складання таких рівнянь [3, с. 411]:

– рівнянь констант рівноваги тих реакцій, які враховуються в розрахунку;

– рівнянь балансу елементів, що входять у горючу суміш;

– рівняння повного тиску продуктів згоряння.

У горінні вуглеводнів у повітрі або кисні утворюються продукти згоряння, що містять тільки чотири елементи: вуглець, водень, кисень і азот. Тому стосовно цієї системи елементів приводиться методика розрахунку сполуки продуктів згоряння.

Рівняння реакцій дисоціації записуються у такому вигляді:

$$\left. \begin{aligned} CO_2 &\leftrightarrow CO + \frac{1}{2} \cdot O_2 \\ K_1 &= \frac{p_{CO} p_{O_2}^{0.5}}{p_{CO_2}} = f_1(T) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} H_2O &\leftrightarrow H_2 + \frac{1}{2} O_2 \\ K_2 &= \frac{p_H p_{O_2}^{0.5}}{p_{H_2O}} = f_2(T) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} CO_2 + H_2 &\leftrightarrow CO + H_2O \\ K_3 &= \frac{p_{CO} p_{H_2O}}{p_{CO_2} \cdot p_{H_2}} = f_3(T) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} N_2 + O_2 &\leftrightarrow 2NO \\ K_4 &= \frac{p_{NO}^2}{p_{N_2} p_{O_2}} = f_4(T) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} H_2 &\leftrightarrow 2H \\ K_5 &= \frac{p_H^2}{p_{H_2}} = f_5(T) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} O_2 &\leftrightarrow 2O \\ K_6 &= \frac{p_O^2}{p_{O_2}} = f_6(T) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\left. \begin{aligned} N_2 &\leftrightarrow 2N \\ K_7 &= \frac{p_N^2}{p_{N_2}} = f_7(T) \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

де  $K_i$  – константи рівноваги, що залежать тільки від температури й типу хімічної реакції.

Із використанням залежностей (1) – (7) та теплофізичних властивостей вуглецеводневого палива і їх продуктів згоряння [4, с. 288] були розроблені алгоритм і програма для середовища Matlab 6.5, розраховані статичні характеристики процесу згоряння газоподібного палива для широкого діапазону зміни коефіцієнта надлишку повітря.

Отримавши результати розрахунку статичних характеристик, на рисунках 2–8 показана залежність складу продуктів згоряння, що характеризують економічність процесу згоряння, від коефіцієнта надлишку повітря, а також токсичність продуктів згоряння, відповідно, що розраховані для природного газу стандартного складу в об. процентах [4, с. 288]:  $CH_4 = 92,8 \%$ ;  $C_2H_6 = 3,9 \%$ ;  $C_3H_8 = 1\%$ ;  $C_4H_{10} = 0,4\%$ ;  $C_5H_{12} = 0,3 \%$ ;  $N_2 = 1,5 \%$ ;  $CO_2 = 0,1\%$  і складу повітря:  $N_2 = 79\%$ ,  $O_2 = 21\%$ .

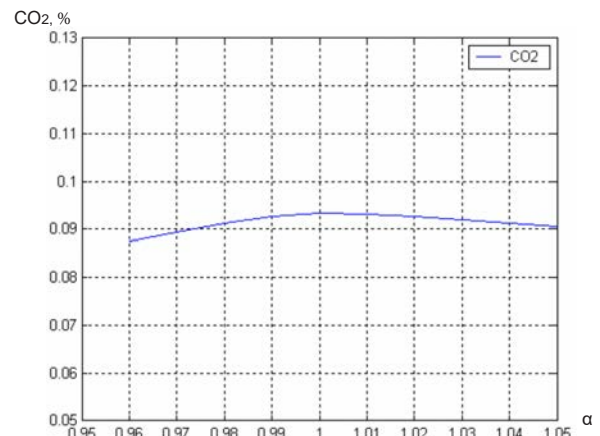


Рис. 2. Залежність вмісту кисню в продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

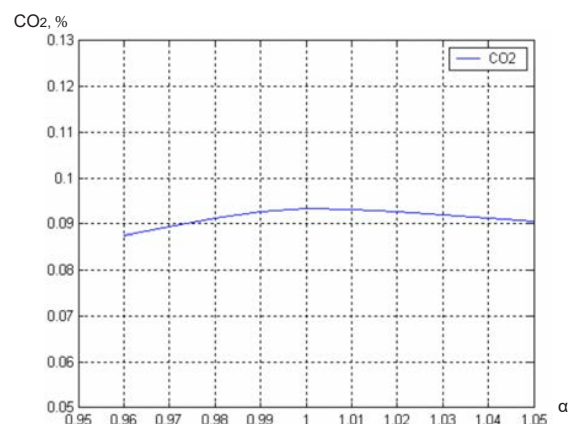


Рис. 3. Залежність вмісту діоксиду вуглецю в продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

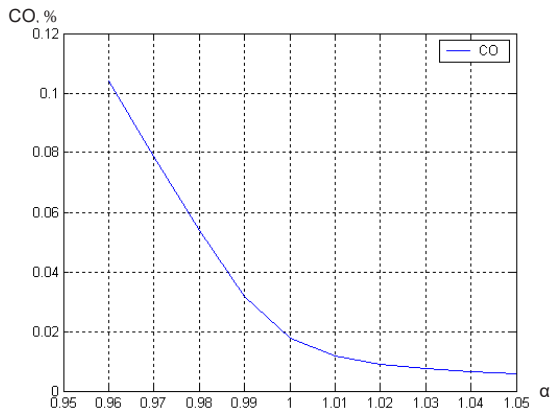


Рис. 4. Залежність вмісту оксиду вуглецю в продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

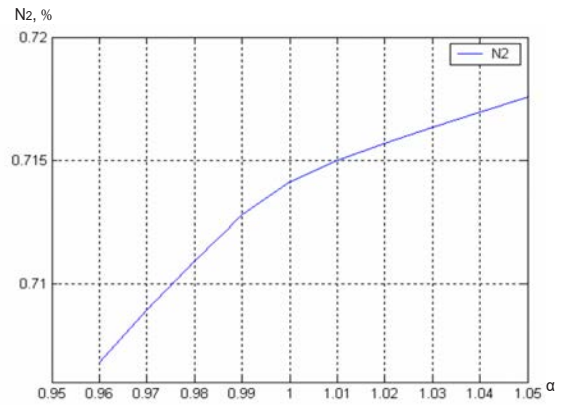


Рис. 7. Залежність вмісту азоту в продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

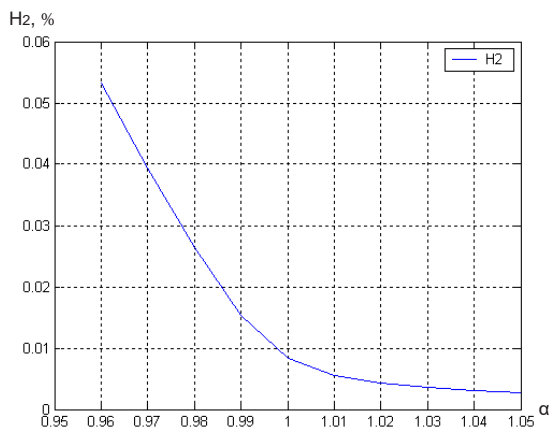


Рис. 5. Залежність вмісту водню в продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

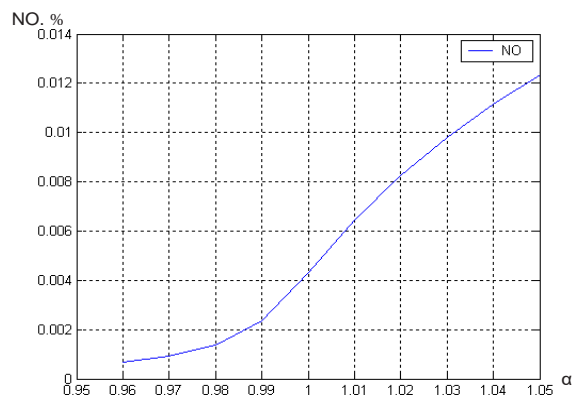


Рис. 8. Залежність вмісту NO в продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

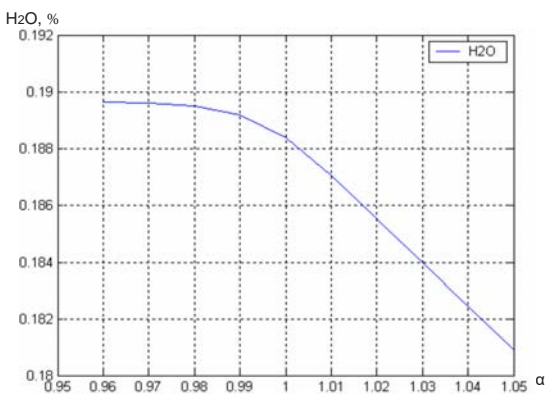


Рис. 6. Залежність вмісту водяних парів у продуктах згоряння від коефіцієнта надлишку повітря

**Висновки.** У цій роботі були виконані розрахунки складу димових газів та побудовані кількісні залежності цих величин від коефіцієнта надлишку повітря (рисунки 2–8).

З рисунків видно, що вміст оксиду вуглецю CO і водню H<sub>2</sub> зменшується практично до нуля зі збільшенням коефіцієнта надлишку повітря, а вміст NO та кисню O<sub>2</sub> зростає. Вміст же діоксиду вуглецю CO<sub>2</sub> практично не залежить від зміни надлишку повітря.

Результати розрахунків дають змогу визначити коефіцієнти передачі моделі динаміки процесу спалювання палива у разі моделювання замкнутої системи регулювання співвідношення «паливо–повітря» з різними коригуючими сигналами як «у малому», так і «у великому», що дає змогу вибрати найбільш інформативний коригуючий сигнал.

#### Список літератури:

1. Völkel M., Hammer F. COe-Regelung mit Miniatur-Sensor eröffnet neue Perspektiven in der Verbrennungstechnik, Fachbeitrag, Gaswärme International (54). 2005. Nr. 3. S. 174-177.
2. Бабич В.Ф. Управление процессом термического обезвреживания промышленных сточных вод в вихревом аппарате для безотходного производства: автореф. дисс. канд. техн. наук. Одесса, 1986. 25 с.
3. Равич М.Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов. Москва: «Наука», 1966. 411 с.
4. Дубовкин Н.Ф. Справочник по теплофизическим свойствам углеводородных топлив и их продуктов сгорания. Москва, Ленинград: «Госэнергоиздат», 1962. 288 с.

## РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ ГАЗОПОДОБНОГО ТОПЛИВА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

*В современных условиях затраты на топливо составляют значительную часть бюджета тепло-снабжающих предприятий, особенно в зонах с умеренным и холодным климатом. Поэтому в условиях роста цен на энергоносители и обострения экологических проблем все более высокие требования предъявляются к системам оптимизации использования энергии органического топлива. В статье представлена математическая модель статики процесса горения газообразного топлива как объекта управления. Представлены расчетные формулы и результаты расчетов в среде Matlab. Также получены расчёты концентраций составляющих дымовых газов установки для сгорания газообразного топлива в режимах нехватки и избытка воздуха.*

**Ключевые слова:** процесс сгорания топлива, объект управления, оптимизация, модель динамики, статические характеристики.

## CALCULATION OF STATIC CHARACTERISTICS OF THE COMBUSTION OF GAS FUELS AS A CONTROL OBJECT

*In modern conditions fuel costs constitute a significant part of the budget of heat supply enterprises, especially in temperate and cold climates. Therefore, in the conditions of rising energy prices and exacerbation of environmental problems, ever increasing demands are made on systems for optimizing the use of energy from organic fuels. The mathematical model of the statics of the combustion process of gaseous fuel as a control object is presented in the article. Presented calculation formulas and results of calculations in the Matlab environment. Calculations have also been made of the concentrations of the constituent flue gases for the combustion of gaseous fuels under conditions of shortage and excess air.*

**Key words:** process of combustion of fuel, object of control, optimization, model of dynamics, static characteristics.

УДК 004.4

**Сугоняк І.І.**

Житомирський державний технологічний університет

**Марчук Г.В.**

Житомирський державний технологічний університет

**Бобровнік С.О.**

Human Interface Technology

## СИНТАКСИЧНИЙ АНАЛІЗ КОДУ ДЛЯ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПРОГРАМУВАННЯ НА МОВІ C#

*Дослідження присвячене розробці алгоритму аналізатора коду для системи дистанційного навчання мов програмування. Отриманий результат полягає у модифікації методу синтаксичного аналізу коду на основі ітеративного алгоритму. Також у роботі побудовано модель синтаксичного аналізатора з розподілом лексем. Ця модель є математичним забезпеченням програмного комплексу дистанційного навчання програмування. Окрім того, в роботі викладено підхід до реалізації візуальних розподілених навчальних комплексів із використанням COTS-архітектури.*

**Ключові слова:** синтаксичний аналізатор, ітеративний алгоритм, аналіз програмного коду, дистанційне навчання, C#.

**Актуальність теми.** З часу впровадження перших програмованих машин було створено понад дві з половиною тисячі мов програмування і з кожним роком кількість їх збільшується. Деякими мовами вміє користуватись тільки невелике число їх власних розробників, інші стають відомі мільйонам людей. Актуальність теми дослідження зумовлена тим, що для успішного та доступного навчання мов програмування потрібно реалізувати зручний візуальний навчальний комплекс з подальшою оцінкою успішності.

Метою дослідження є аналіз та побудова алгоритмів та моделей аналізатора коду для розробки системи дистанційного навчання мов програмування з коректною автоматичною оцінкою прогресу користувача. Основними завданнями, вирішеними в дослідженні, є: проведення аналізу теоретичних засад проектування та реалізації візуального навчального комплексу; розробка математичної та алгоритмічної моделі функціонування візуального навчального комплексу; реалізація програмної системи візуального навчального комплексу «Програмування C#».

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню роботи компіляторів та алгоритмів синтаксичного аналізу присвячено багато досліджень у зарубіжній науці такими науковцями, як: Альфред Ахо [1], Джеффри Ульман, Раві Сеті, Ніклаус Вірт [2], Юрг Гуткнехт, Дик Грун, Робин Хантер. Слід звернути увагу на статтю [3] українського науковця

В.І. Салапатова, де розглядається синтаксичний аналіз із розподілом лексем на групи. Такий підхід дає змогу значно спростити синтаксичний аналіз операторів мови та прискорити його виконання.

Отримані результати полягають у модифікації методу синтаксичного аналізу коду з використанням класичних алгоритмів та побудові моделі синтаксичного аналізатора з розподілом лексем на групи, який працює швидше, ніж класичні алгоритми через направлений перебір варіантів. Практичне значення роботи полягає у реалізації методів оцінювання прогресу навчання та синтаксичного аналізу текстів коду; розробці візуального навчального комплексу «Програмування C#» з оптимальними методами оцінювання.

### **Основна частина**

Синтаксичний аналіз (parsing) – це процес співставлення лінійної послідовності лексем мови з його формальною граматикую. Під час синтаксичного аналізу текст оформлюється у структуру даних, зазвичай в дерево, яке відповідає синтаксичній структурі вхідної послідовності і добре підходить для подальшої обробки. Найчастіше синтаксичні аналізатори працюють у два етапи: на першому ідентифікуються осмислені токени, на другому створюється дерево розбору.

Синтаксичний аналіз мови програмування заснований на контекстно-вільній граматиці, за допомогою якої можна визначити більшу частину синтаксичної структури мови програмування.

Під час дослідження розглянуто *ітеративний алгоритм*, який багаторазово виконує базові методи аналізу з уточненням результатів на кожній ітерації. Особливістю цього алгоритму є те, що він завершується за скінченне число ітерацій, а отримане рішення є повним. Ємність пам'яті, якої потребує цей метод, лінійно залежить від довжини ланцюжка, що аналізується, но час може виражатися експонентою. Серед переваг ітеративного алгоритму відзначимо можливість управляти точністю і обчислювальною складністю аналізу за рахунок обмеження числа ітерацій. Показано, що рішення, отримане на будь-якій ітерації алгоритму, є повним і може використовуватися для виявлення дефектів.

Також розглянуто алгоритм *Ерлі*. Цей метод синтаксичного аналізу дає змогу для довільної КВ-граматики розібрати вхідний ланцюжок за час  $O(n^3)$ , використовуючи при цьому ємність пам'яті  $O(n^2)$ , де  $n$  – довжина вхідного ланцюжка. Якщо граматика однозначна, то час дорівнює  $n^2$ , для більшості граматик мов програмування алгоритм можна модифікувати так, щоб час та ємність стали лінійними функціями від довжини вхідного ланцюжка.

Такі алгоритми дають змогу доволі просто і коректно проводити синтаксичний аналіз коду.

Основною метою впровадження дистанційної форми навчання є швидке й зручне поширення знань, забезпечення доступності освіти всім верствам населення. Значною мірою ця мета реалізується за допомогою програмних засобів, побудованих на сучасних інформаційно-комунікаційних технологіях, які одержали загальну назву системи дистанційного навчання (СДН). До найпопулярніших СДН можна віднести: Lotus Learning Space; Blackboard Learning System; REDCLASS; «Клас ХПІ». Слід зазначити, що у всіх системах відбувається ручна перевірка написаного коду, внаслідок чого аналіз результатів є надзвичайно нечітким і може бути упередженим, що унеможлиблює якісний та об'єктивний моніторинг компетентностей студента.

Моніторинг допомагає відстежувати якість засвоєних знань і вмій у навчальному процесі. Тому основною метою розробки та впровадження візуального навчального комплексу «Програмування С#» є підвищення ефективності навчання.

Результатом реалізації поставленого завдання є розгорнутий візуальний навчальний додаток, що містить у своєму складі серверну структуру збереження та обробки даних, кросплатформенний багатокористувацький клієнтський додаток для реалізації функціональних можливостей.

Центральним складником обробки даних у навчальному додатку є синтаксичний аналіз коду виконання навчальних вправ мовою програмування С#.

Синтаксичні аналізатори, які зазвичай використовуються в компіляторах, підрозділяють на два типи: спадні (top-down) і висхідні (bottom-up). Перші будують дерево розбору зверху до низу – від кореня до листя, другі від листя до кореня дерева. В обох випадках розбір рядка відбувається зліва направо.

Існує безліч реалізацій синтаксичних аналізаторів для розбору різного роду граматик. У разі мов програмування для розбору контекстно-вільних граматик використовуються так звані LL(k) (Left Left) і LR(k) (Left Right) аналізатори.

Розглянемо на прикладі алгоритм розбору для LL(1)- граматика.

$G_1$ : (1)  $S \rightarrow aAS$ ; (2)  $S \rightarrow b$ ; (3)  $A \rightarrow a$ ; (4)  $A \rightarrow bSA$

Керуюча таблиця алгоритму представлена на рисунку 1.

	a	b	e
S	aAS,1	B,2	помилка
A	A,3	bSA,4	помилка
a	викид	помилка	помилка
b	помилка	викид	помилка
\$	помилка	помилка	допуск

Рис. 1. Керуюча таблиця алгоритму

За допомогою таблиці проаналізуємо такий ланцюжок *abbab*:

$(abbab, S, e) \vdash (abbab, aAS, 1) \vdash (bbab, AS, 1) \vdash (bbab, bSAS, 14) \vdash (bab, SAS, 14) \vdash (bab, bAS, 142) \vdash (ab, AS, 142) \vdash (ab, aS, 1423) \vdash (b, S, 1423) \vdash (b, bS, 14232) \vdash (e, \$, 14232)$

Очевидно, що 14232 – лівий розбір ланцюжка *abbab*.

Розглянуті алгоритми передбачають посимвольний перегляд тексту програми з кроком уперед. При цьому всі елементи оператора мають оброблятися за єдиним алгоритмом. Це вносить певні ускладнення, оскільки нетерміналі, які мають бути присутніми у певних місцях правил грамматики, описуються за своїми власними правилами. Ці правила мають вигляд:

$$G = f(T, N, P, N_s), \text{ де}$$

- $N_s$  – кореневий символ (спеціальний нетерміналі);
- $T$  – це множина термінальних символів (у мові програмування це константи, ідентифікатори, ключові слова, символи пунктуації);



–  $N$  – це множина нетермінальних символів (у нашому разі такі поняття, як вирази, оператори та окремі частки операторів).

У зв'язку з цим доречно розглядати граматику кожного нетермінала та його обробку окремо. Так, якщо згідно з граматику у певному місці оператора має бути вираз, то обробку оператора мови в цій частині треба виконувати згідно з граматику виразу, тобто окремим модулем. При цьому ознакою кінця виразу є або ключове слово з конструкції оператора, або спеціальні знаки-розподільники.

Посднання в одному аналізі розбору оператора, розбору виразу та інших частин оператора ускладнює та уповільнює процес компіляції у цілому. Тому розробка нових ефективних засобів синтаксичного аналізу у мовах програмування на цей час є все ще актуальною.

Як наведено у [6], можна виділити дві великі групи лексем: лексеми-об'єкти (описують дані) та лексеми дії (дії над цими даними). Таким чином,

$$L \rightarrow Ld + La,$$

де  $L$  – множина всіх лексем,  $Ld$  – лексеми-об'єкти,  $La$  – лексеми дії.

Для вирішення поставленої проблеми використаємо модифікований алгоритм «знизу догори».

Таблиці ідентифікаторів використаємо для визначення лексем та ключових слів. Вирази описуються граматику, яка співпадає з правилами арифметичних дій, тобто існує пріоритетність виконання операторів, урахування дужок, які змінюють пріоритетність дій, та деякі інші. Ознаками кінця виразу можуть бути як ключові слова операторів, так і спеціальні символи.

Лексичний аналізатор обробляє лексеми  $L_d$  під час їх появи, причому тип результату визначається  $L_a$ . Оскільки порядок їх обробки визначений пріоритетом, це значною мірою спрощує опис правил граматики.

В останню чергу виконується породження гілок дерева поточного оператора як результат обробки ключових слів (через найнижчий пріоритет). Стартовий символ  $N_s$ , тобто тип оператора мови, розпізнається через першу або другу лексему.

Лексеми дії мають стандартний за семантику набір, що присутній в усіх мовах програмування, та спеціальний набір тільки для конкретної мови. Пріоритетність дій у виразах визначає порядок виконання цих дій. Якщо пріоритет поточної лексеми дії не перевищує пріоритет попередньої, то виконується обробка попередньої лексеми дії. Інакше обробка відкладається у стек. Зобразимо порядок обробки лексем за допомогою діаграми активності, зображеної на рисунку 2.

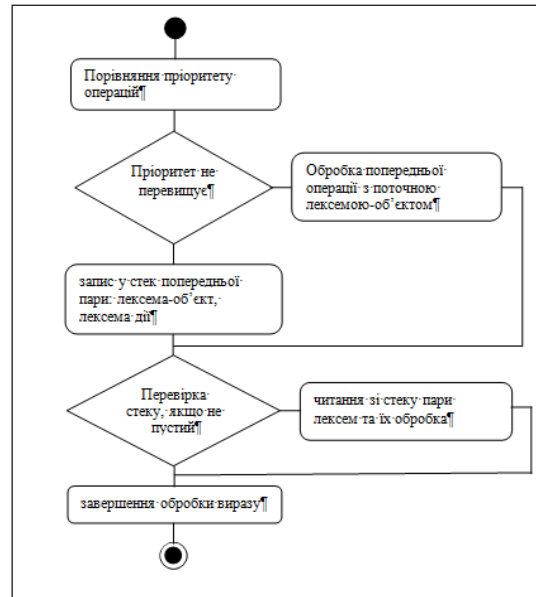


Рис. 2. Порядок обробки лексеми дії

Виконання алгоритму розподілу на лексеми реалізується механізмом доступу до стекової пам'яті. Якщо вираз має дужки, то виконання алгоритму починається із запису лівої дужки у стек з нульовим операндом і закінчується з появою правої. Права дужка ініціює зворотний хід у стек, тобто обробку лексем у стеку з наступним їх виштовхуванням звідти. Обробка виразу закінчується, коли стек буде пустим. Результатом обробки є гілки синтаксичного дерева розбору.

Відсутність паритету дужок одразу ж виявляється через стек як помилка. У разі невідповідності типів операндів стандартний алгоритм має передбачати в разі необхідності перетворення типів (за допомогою спеціальних модулів). Тип результату виразу має відповідати опису оператора.

Розберемо вираз  $a + a * a$  для граматики  $G_2$ .

$$G_2: (1) E \rightarrow E+T; (2) E \rightarrow T; (3) T \rightarrow T*F; (4) T \rightarrow F; (5) F \rightarrow (E); (6) F \rightarrow a.$$

Отже, відповідно до нашої граматики вираз  $a + a * a$  буде розпізнаний таким чином:

$$\begin{aligned} (S, a + a * a, h_0) &\vdash (S, a + a * a, h_0+) \vdash (S, a + a * a, h_0+) \\ &\vdash (S, a + a * a, h_0+) \vdash (S, a + a * a, h_0 + a) \\ &\vdash (S, + a * a, h_0 +) \vdash (S, a * a, h_0) \vdash (S, a * a, h_0 *) \\ &\vdash (S, a * a, h_0 *) \vdash (S, a * a, h_0 * a) \vdash (S, * a, h_0 *) \\ &\vdash (S, a, h_0) \vdash (S, a, h_0a) \vdash (S, \$, h_0) \vdash (S, \$, \$). \end{aligned}$$

Послідовність правил, що була використана, відповідає лівому виводу вхідного ланцюжка:

$$E \Rightarrow E+T \Rightarrow T+T \Rightarrow F+T \Rightarrow a+T \Rightarrow a+T*F \Rightarrow a+F*F \Rightarrow a+a*F \Rightarrow a+a*a.$$

Дерево синтаксичного розбору буде мати вигляд, що представлений на рисунку 3. Побудова відбудуватиметься зверху донизу.

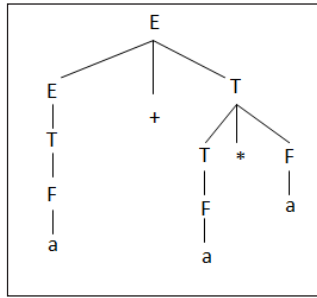


Рис. 3. Дерево синтаксичного розбору

За заданим алгоритмом опис граматики зводиться до опису ключових слів (зарезервованих і контекстних). Нині у версії 4.0 мови C# визначено 77 зарезервованих ключових слів і 18 контекстних. Оскільки лексеми дії можуть бути як спеціальними символами, так і ключовими словами, то код буде складатися з коду пріоритету та власне коду лексеми, а це певний тип обробки. Так, наприклад, ключове слово `if` породжує команди порівняння та відповідного умовного переходу. Всі ключові слова можна звести в одну таблицю та закодувати їх, щоб відрізнити лексеми дії виразу від лексем дії операторів.

Доречно робити розподіл обробки виразів та операторів. Окремим модулем робити обробку виразів, що на виході буде будувати дерево розбору виразу, а ключові слова операторів мови обробляти окремо.

Згідно з правилами граматики лексеми дії мають передбачати як стандартні, так і нестандартні дії. Всі дії задаються в таблиці ключових слів кодом, що є посиланням, що і забезпечує перехід на відповідну частину програми синтаксичного аналізатора.

Пошук терміналу здійснюється у таблиці ключових слів, а тип нетерміналу визначається типом лексеми, яка може бути оператором або виразом. Все це спрощує перевірку правильності синтаксису і дає змогу швидко виявити синтаксичні помилки.

Крім того, є стандартні оператори, такі як умовний оператор (`if`), оператори циклу (`for`, `while`, `do... while`), оператори введення/виведення, а є нестандартні (наприклад, побітові операції), до яких необхідно визначити правило обробки та додати модуль синтаксичного розбору. Звернення до них буде через посилання, яке представлено як код у таблиці ключових слів.

Ключові слова – це попередньо визначені зарезервовані ідентифікатори, які мають особливе синтаксичне значення, які мають спеціальні значення для компілятора і які мають певну послідовність в

тій чи іншій конструкції оператора мови, обробка яких виконується наприкінці, тобто з найнижчим пріоритетом. Пріоритет використовується в основному при обробці виразів і досить зручно вписується у загальний алгоритм синтаксичного аналізу. У мовних конструкціях ключові слова операторів також можуть використовуватися як ознаки кінця виразу.

На етапі лексичного аналізу виконується розпізнавання не однієї лексеми, а пари лексем: лексеми-об'єкта та лексеми дії і передається далі синтаксичному аналізатору для подальшого розбору. На першому кроці аналізу оператора мови лексичний аналізатор розпізнає кореневий символ  $N_s$ , що визначає тип оператора, а подальший алгоритм розбору відтворюється згідно з правилами граматики.

Оскільки аналіз здійснюється через розбір пари лексем, то швидкість обробки операторів вища, ніж за класичними алгоритмами через направлений перебір варіантів, але ускладнюється алгоритм лексичного аналізу, а це впливає на загальну швидкість синтаксичного аналізу. Крім збільшення швидкості розбору, перевагою цього методу є спрощення правил опису граматики.

Крім того, в роботі розроблений алгоритм оцінювання прогресу студента, що базується на традиційних та нових (сучасних) методах контролю. До використаних традиційних методів контролю можна віднести тестування та практичні завдання. Якщо говорити про сучасні методи контролю, то використано кейс-вимірювачі, проекти, катанотести та контекстні завдання.

Завдання складається із декількох блоків, які допомагають студенту покращити свої знання в сфері програмування. Після проходження кожного блоку завдань студент проходить перевірку знань. Допоки студент не пройде попередній блок завдань наступний не буде доступний для навчання. Можна декілька разів проходити курс, з кожним разом покращуючи свої знання.

Блок завдань складається із декількох логічних рівнів:

- надання інформації по темі курсу;
- тестові завдання після закінчення курсу;
- практичне завдання після успішного проходження тестових завдань.

Тестові завдання додані з метою перевірки теоретичних знань студента, вони перевіряють знання основних положень курсу.

У вирішенні практичних завдань може бути декілька варіантів вирішення поставленої проблеми. Наприклад, якщо поставлено завдання від-

сортувати масив, студент може використати будь-який тип сортування, після написання алгоритму аналізаторами буде перевірено вихідний масив і виставлена оцінка.

Після успішного проходження блоку завдань студент отримує винагороду у вигляді 3D об'єкта, який можна поставити у віртуальному просторі за допомогою використання технології доповненої реальності.

Для переходу на новий рівень потрібно набрати вісімдесят чи більше відсотків успішних відповідей. Практичні і теоретичні завдання займають сімдесят та тридцять відсотків вартості відповідно.

У візуальному навчальному комплексі наявні такі теми:

- типи даних, літерали і змінні в мові програмування C#;
- оператори, масиви і рядки;
- введення в класи, об'єкти і методи;
- алгоритмічна підготовка студента з використанням псевдомови;
- наслідування, поліморфізм, інкапсуляція;
- інтерфейси, структури;
- делегати, події і LINQ;
- опрацювання виняткових ситуацій.

Під час навчання студент зможе покращити свої знання базових алгоритмів програмування, ознайомитися з Microsoft .Net Framework, C# та об'єктно орієнтованим програмуванням. Також під час про-

грамування він розбереться з типами, зумовленими користувачем, структурами, класами, конструкторами, дізнається все про збирач сміття.

Для реалізації візуального навчального комплексу було використано COTS-архітектуру у взаємодії із об'єктно-центрованою моделлю (рис. 4). COTS – component off the shelf – методологія, яка дає розробникам можливість використання сторонніх компонентів.

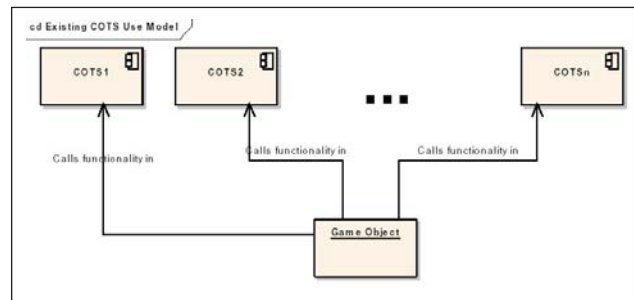


Рис. 4. COTS-архітектура у взаємодії із об'єктно-центрованою моделлю

Реалізація системи нараховує більше ста класів. У системі представлені класи, які описують операції з виведенням та проходженням завдань, графічною системою користувача, системою управління об'єктів та інше.

Для визначення спільного кордону функціональності системи та з метою створення основи

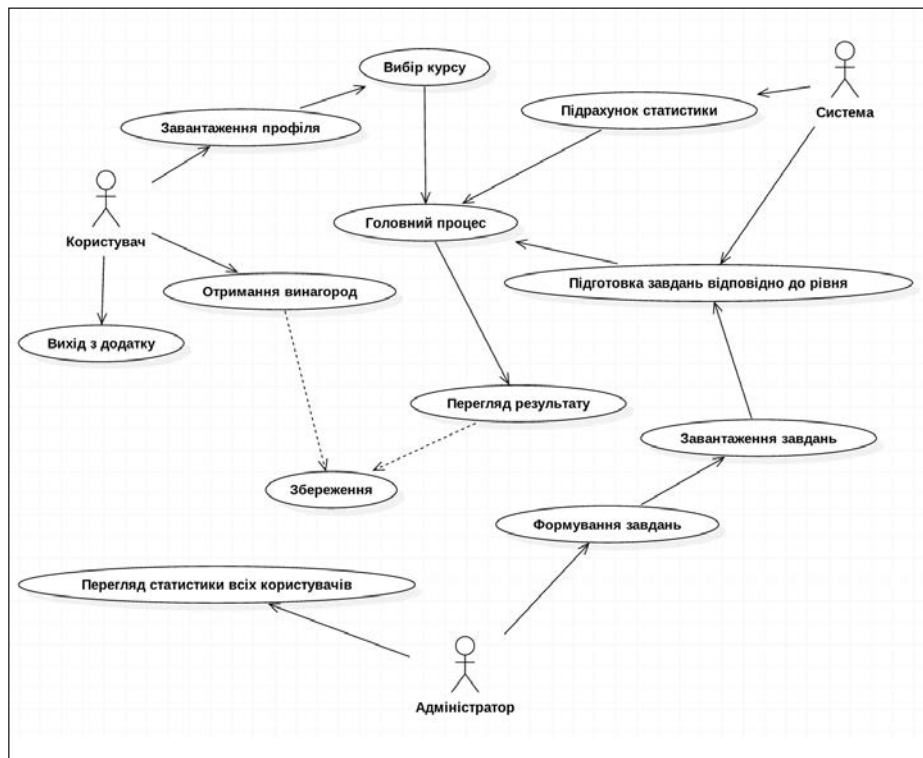


Рис. 5. Діаграма варіантів використання навчального комплексу

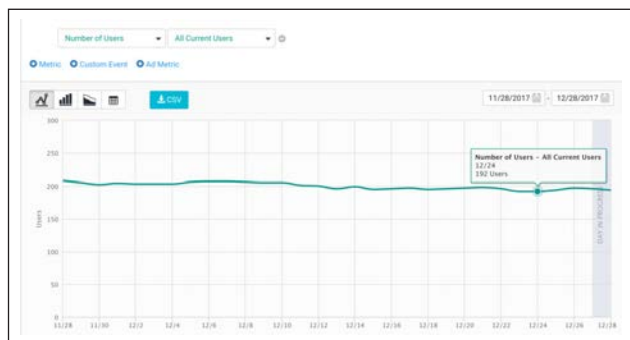


Рис. 6. Перегляд кількості активних студентів

для виконання аналізу, проектування, розробки і тестування була розроблена діаграма варіантів використання (рис. 5). Ця діаграма допомагає сформулювати загальні вимоги до функціональної поведінки проєктованої системи, розробити вихідну концептуальну модель системи.

Для динамічного завантаження даних із сервера була розроблена Asset Bundle система. Така система містить у собі завантаження Asset Bundle, кешування, автоматичне визначення варіантів колекції, перезавантаження колекції зі зміненими варіантами. Цей сервер дає змогу в процесі виконання додатка автоматично завантажувати нові курси користувачу, змінювати контент та зберігати статистику навчання. Для розпізнання тексту написаний лексичний аналізатор коду, який переводить послідовність символів у групи, що відповідають певним шаблонам, з визначенням їхніх типів.

Написання програмних анімацій відбулося за допомогою бібліотеки iTween. Така бібліотека є простою у використанні та працює з усіма типами об'єктів.

Перегляд статистики результатів навчання відбувається через програмний інтерфейс збереження даних Unity. Статистика відправляється на цей сервер, після опрацювання вона доступна для адміністратора (рис. 6).

Є низка базових метрик для опрацювання адміністратором. Метрики створюють за допомогою окремого модуля. Статистику можна зберігати в окремий файл. Доступні декілька варіантів представлення інформації.

**Висновки.** Під час дослідження методів синтаксичного аналізу коду виділено базові алгоритми аналізу та розглянуто найцікавіші синтаксичні аналізатори коду ANTLR, Bison, JavaCC. Розроблено власний алгоритм синтаксичного аналізу. Запропонований алгоритм дає змогу легко вносити корективи у граматику і, відповідно, в алгоритми обробки виразів. За допомогою коду лексеми забезпечується посилання на модуль обробки, а за допомогою пріоритету лексеми – порядок обробки у синтаксичному розборі. Оскільки аналіз здійснюється через розбір пари лексем, то швидкість обробки операторів вища, ніж за класичними алгоритмами через направлений перебір варіантів. При цьому дещо ускладнюється алгоритм лексичного аналізатора, що суттєво не впливає на загальну швидкість синтаксичного аналізу. Другою перевагою такого методу є простота опису правил синтаксичного розбору операторів та виразів.

Реалізований візуальний навчальний комплекс для студентів готовий до практичного використання і може бути застосований для навчання базових принципів програмування, а також для навчання мови програмування C#.

#### Список літератури:

1. Ахо А., Сети Р., Ульман Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты. Москва: Издательский дом «Вильямс», 2008. 1184 с.
2. Bowling E. The evolution of Lotus e-Learning Software. 2009. URL: [http://www.ibm.com/developerworks/lotus/library/ls-elearning\\_evolution](http://www.ibm.com/developerworks/lotus/library/ls-elearning_evolution)
3. Хопкрофт С. Система дистанционного обучения СДТ REDCLASS. 2009. URL: <http://www.redcenter.ru/?sid=439>.
4. Пратт Т., Зелковиц М. Языки программирования. Разработка и реализация. Издательство Питер, 2002. 688 с.
5. Вирт Н. Гуткнехт Ю. Разработка ОС и компилятора. Проект Оберон. Москва: ДМК Пресс, 2012. 560 с.
6. Салапатов В.І. Синтаксичний аналіз із розподілом лексем на групи. Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : збірник наукових праць. 2008. № 49. С. 30–33.

#### СИНТАКСИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОДА ДЛЯ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЮ НА ЯЗЫКЕ C#

*Исследование посвящено разработке алгоритма анализатора кода для системы дистанционного обучения языкам программирования. Полученный результат заключается в модификации метода син-*

таксического анализа кода на основе итеративного алгоритма. Также в работе построена модель синтаксического анализатора с распределением лексем. Данная модель является математическим обеспечением программного комплекса дистанционного обучения программированию. Кроме того, в работе изложен подход к реализации визуальных распределенных учебных комплексов с использованием COTS-архитектуры.

**Ключевые слова:** синтаксический анализатор, итеративный алгоритм, анализ программного кода, дистанционное обучение, C#.

#### **SYNTACTIC ANALYSIS OF THE CODE FOR THE DISTANCE LEARNING SYSTEM FOR PROGRAMMING IN LANGUAGE C#**

*The research is devoted to the code analyzer algorithm development for the remote learning system of the C# language. The modifying of the parsing code method based on iterative algorithm is the main result of the research. The model of the syntactic analyzer with the distribution of tokens also constructed in the work. This model is a mathematical support for the distance learning software. In addition, the article describes using COTS architecture in the visual distributed training complexes development.*

**Key words:** parser analyzer, iterative algorithm, program code analysis, distance learning, C#.

**Трач О.Р.**

Національний університет «Львівська політехніка»

## СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАСОБУ ОРГАНІЗАЦІЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ

*У статті розроблено модель життєвого циклу віртуальної спільноти, яка включає низку спеціальних етапів та напрямів організації життєвого циклу віртуальних спільнот, що дало змогу структурувати виконання проектних завдань, які стоять перед розробниками віртуальних спільнот. Розроблено структуру програмного комплексу, яка є основою для розробки програмного комплексу для автоматизації процесу створення віртуальної спільноти, введення та збереження документації зі створення та управління віртуальною спільнотою.*

**Ключові слова:** віртуальна спільнота, організація життєвого циклу, програмне забезпечення, управління спільнотою.

**Постановка проблеми.** З огляду на сучасні тенденції та популярність мережі Інтернет усе частіше під час створення нового бренду, події чи товару його попередня презентація відбувається в мережі Інтернет. Те саме відбувається вже з готовим продуктом. І найкращою платформою для цього є віртуальні спільноти. Це також рекламно-маркетингова стратегія, яка охоплює широку категорію різних вікових груп. Віртуальні спільноти формують значну частину веб-простору, що надає можливості для задоволення інформаційних потреб та взаємодії учасників, щодня їхня кількість стає більшою, стрімко розвиваються вже наявні.

Більшість традиційних видів діяльності – це проект, план дій, розподіл етапів та ресурсів. Проекти з плановим виконанням дій досягають успіху та поставлених цілей. Віртуальні спільноти – це вид діяльності, заробляння грошей, задоволення потреб. Отже, віртуальні спільноти можна вважати окремим видом проекту, проте зі своїми особливостями. Під час створення віртуальної спільноти є свої етапи, ресурси, що є стандартними для проекту. Спостереження показали, що успішними є ті проекти, до яких ставляться як до проектів зі специфікацією вимог, чіткою послідовністю кроків, документуванням. Але необхідно врахувати особливості віртуальних спільнот, а не ставитись до віртуальних спільнот як до традиційного проекту. Здебільшого без проектної роботи віртуальні спільноти є провальними. І, власне, надзвичайно гостро постає проблема досліджень віртуальної спільноти як проекту, що має бути таким, чого немає в інших традиційних проектах, її проектних особливостей, характеристик, управлінських функцій, як це все опрацювати.

**Аналіз останніх досліджень.** Віртуальна спільнота як об'єкт є важливим у таких напрямках наукових досліджень: безпека та інформаційні війни у віртуальних спільнотах (пропаганда або поширення дезінформації) [1]; створення та управління віртуальними спільнотами [2]; створення та керування інформаційним наповненням віртуальної спільноти [3]; залучення та моніторинг користувачів віртуальної спільноти, соціально-демографічні характеристики користувачів віртуальної спільноти [4, 5]; взаємодія користувачів у соціальних інтернет-сервісах; маркетинг та реклама у віртуальній спільноті [6]. Проте дослідження з організації життєвого циклу віртуальних спільнот є неповними, недосконалими та епізодичними. Науковці представляли лише концептуальні моделі життєвого циклу віртуальної спільноти, проектуючи їх на основі уже відомих моделей життєвих циклів інших сфер знань. Віртуальні спільноти мають певні особливості, які варто враховувати під час організації життєвого циклу віртуальних спільнот.

### **Виклад основного матеріалу.**

**Структурна модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти.** Організація життєвого циклу віртуальної спільноти полягає в організації команди виконавців для створення віртуальної спільноти, формулюванні та розподіленні завдань між виконавцями організації життєвого циклу віртуальної спільноти (ОЖЦВС).

Своєю чергою елемент віртуальна спільнота складається з етапів та напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

Процес організації життєвого циклу віртуальної спільноти є розподіленим, окремими складовими елементами якого є виконавці організації життєвого

циклу, яких варто розділити за рівнями. Керівниками всіх рівнів є менеджери віртуальної спільноти.

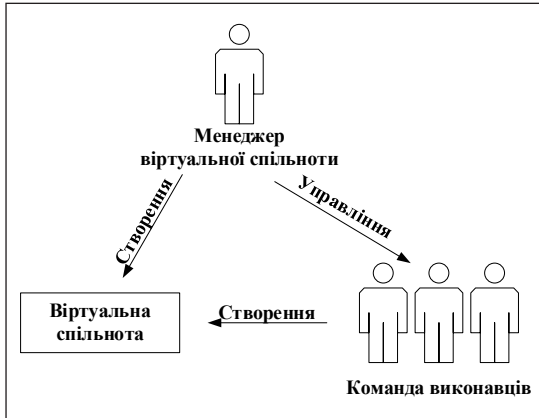


Рис. 1. Структура організації життєвого циклу віртуальної спільноти

Менеджер віртуальної спільноти – це спеціаліст, який відповідає за успішність організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Менеджер відповідає за управлінський набір завдань організації життєвого циклу, його розподіл, в основу яких входить: контроль за часовими термінами та бюджетними рамками, аналіз та передбачення ризиків, оперативне вирішення проблем, ведення технічної документації тощо.

Виконавець етапу – спеціаліст, який відповідає за виконання етапу організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Виконавець етапу формує методичні рекомендації щодо виконання етапу, за якими менеджер спільноти делегує завдання напрямів виконавцям напрямів.

Виконавець напрямку – спеціаліст, який відповідає за виконання завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Нині під час створення віртуальної спільноти на напрями звертають більшу увагу, ніж на етапи. Тому професії спеціалістів, які відповідають за користувацький, інформаційний, репутаційний та ресурсний напрями, є досить популярними, налічують багато фахівців з таких предметних галузей, як: ssm-спеціалісти, контент-менеджери, seo-спеціалісти.

Виконавець-аналітик – спеціаліст, який відповідає за аналіз предметної галузі віртуальної спільноти та еталонних спільнот. Аналітик проводить аналіз протягом усього життєвого циклу віртуальної спільноти.

Представлено набір універсальних виконавців організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Щодо предметної галузі та тематики створеної віртуальної спільноти команда виконавців може змінюватись.

Формальна модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти:

$$OrgLifeCycle(Com) = \langle Stage(Com), Dr(Com), Cell(Com) \rangle. \quad (1)$$

Складниками моделі організації життєвого циклу є:  $Stage(Com)$  – етапи ОЖЦВС,  $Dr(Com)$  – напрями ОЖЦВС,  $Cell(Com)$  – структура комірки перетину етапів та напрямів ОЖЦВС.

$$Stage(Com) = \{Stage_i\}_{i=1..N^{(Stage)}}, \quad (2)$$

де  $Stage_i$  –  $i$ -тий напрям ОЖЦВС,  $N^{(Stage)}$  – кількість етапів ОЖЦВС.

$$Stage_{com} = \langle Plan_{com}, Analys_{com}, Design_{com}, Devel_{com}, Test_{com}, Im\ plement_{com}, Expl_{com}, ComVer_{com}, Exp\ Re\ c_{com}, Liq_{com} \rangle, \quad (3)$$

де  $Plan_{com}$  – етап планування;  $Analys_{com}$  – етап аналізу;  $Design_{com}$  – етап проектування;  $Devel_{com}$  – етап розроблення;  $Test_{com}$  – етап тестування;  $Im\ plement_{com}$  – етап впровадження;  $Expl_{com}$  – етап експлуатації;  $ComVer_{com}$  – етап комплексної;  $Exp\ Re\ c_{com}$  – етап консервації;  $Liq_{com}$  – етап ліквідації.

$$Dr(Com) = \{Dr_j\}_{j=1..M^{(Dr)}}, \quad (4)$$

де  $Dr_j$  –  $i$ -тий етап ОЖЦВС,  $M^{(Dr)}$  – кількість етапів ОЖЦВС.

$$Dr = \langle Us_i, Inf_i, Rs_i, Rp_i \rangle, \quad (5)$$

де  $Us$  – користувацький напрям;  $Inf$  – інформаційний напрям;  $Rp$  – репутаційний напрям;  $Rs$  – ресурсний напрям.

$$Cell(Com) = \{Cell_{ij}\}_{ij=1..L^{(Cell)}}, \quad (6)$$

де  $Cell_{ij}$  –  $ij$ -та комірка ОЖЦВС,  $L^{(Cell)}$  – кількість комірок ОЖЦВС.

$$C(Cell_k) = \langle Task(Cell_k), Performer(Cell_k), Time(Cell_k), Document(Cell_k), Finances(Cell_k) \rangle, \quad (7)$$

де  $Task(Cell_k)$  – завдання напрямів;  $Performer(Cell_k)$  – виконавці завдань напрямів;  $Time(Cell_k)$  – час на виконання завдань напрямів;  $Document(Cell_k)$  – документація;  $Finances(Cell_k)$  – фінансове забезпечення на виконання завдань напрямів.

**Структуру програмного комплексу організації життєвого циклу віртуальної спільноти.** На основі досліджень [7; 8] можна розробити структуру програмного комплексу організації життєвого циклу віртуальної спільноти, яка складається з чотирьох рівнів (рис. 2):

– управлінський рівень компонент. Рівень виконання організації життєвого циклу віртуальної спільноти відповідає за виконавчі компоненти життєвого циклу віртуальної спільноти. Виконавцями компонент цього рівня є менеджер, аналітик та виконавці напрямів;

– рівень баз даних. Рівень баз даних містить бази даних організації життєвого циклу віртуальної спільноти, в яких зберігається вся інформація про хід створення віртуальної спільноти;

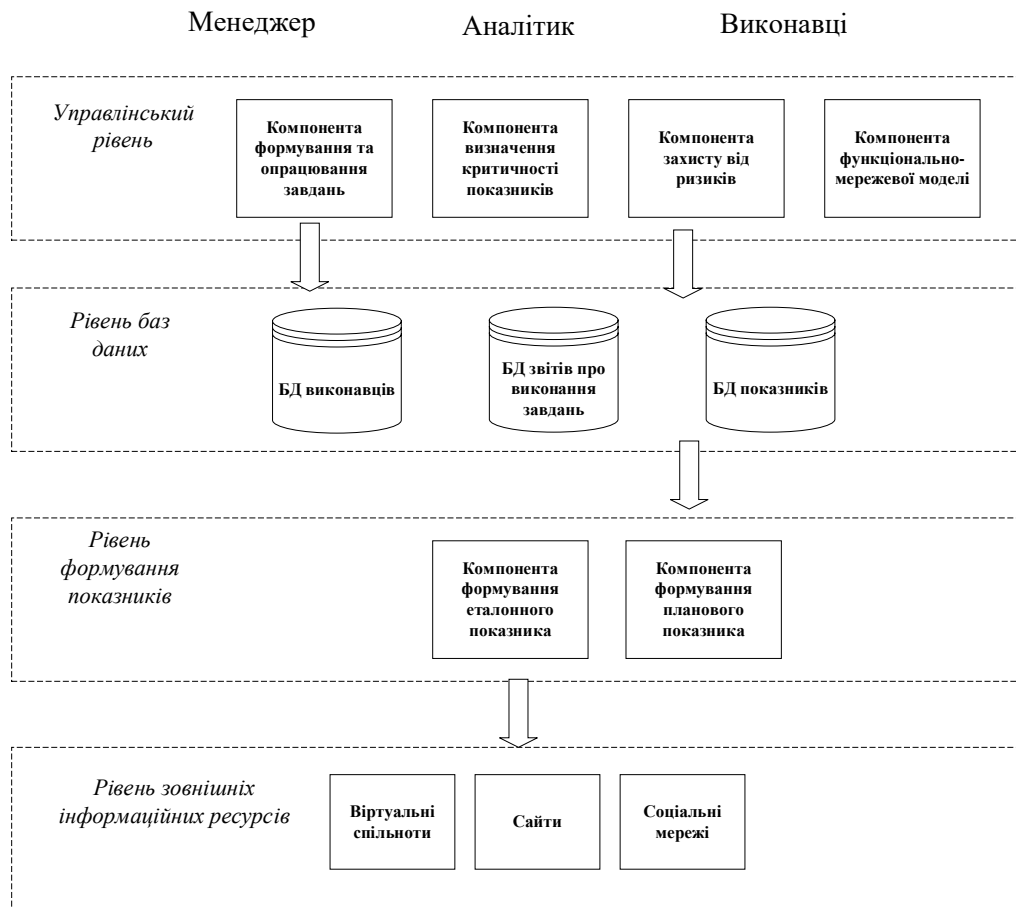


Рис. 2. Структура програмного комплексу організації життєвого циклу віртуальної спільноти

– рівень формування показників. Елементом цього рівня є компонента формування еталонного показника завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти;

– рівень зовнішніх інформаційних ресурсів. Рівень включає сукупність інформаційного середовища WWW, необхідного для аналізу предметної галузі та еталонних спільнот. Необхідні інформаційні ресурси для аналізу: віртуальні спільноти, сайти, соціальні мережі.

За виконання всіх рівнів програмного комплексу організації життєвого циклу відповідають виконавці, які поділені на робочі місця.

**Робоче місце «Менеджер».** Робоче місце «Менеджер» відповідає за організацію життєвого циклу віртуальної спільноти. Основні функції робочого місця полягають у формуванні завдань, розподілі завдань між виконавцями команди «Виконавці», документуванні та прийнятті ключових рішень щодо організаційного процесу створення віртуальної спільноти.

**Робоче місце «Аналітик».** Робоче місце «Аналітик» відповідає за аналізування даних у пев-

ній сфері діяльності. Фахівцем робочого місця є аналітик. Через проектні обмеження віртуальної спільноти аналітиків може бути декілька, адже аналітик – це не конкретна професія, за спеціальністю аналітик поділяється на: аналітик-маркетолог, системний аналітик, фінансовий аналітик та ін. Основні функції робочого місця полягають у аналізуванні предметної галузі віртуальної спільноти, аналізуванні еталонних спільнот, що, своєю чергою, може містити підзавдання для аналізування окремих спеціальностей.

**Команда «Виконавці».** Команда «Виконавці» – команда виконавців, які відповідають за виконання завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Робочі місця відповідають напрямам організації життєвого циклу віртуальної спільноти, а саме користувачькому, інформаційному, репутаційному, ресурсному. До робочого місця може бути прикріплено декілька виконавців залежно від специфіки створюваної віртуальної спільноти.

Результатом роботи робочих місць «Виконавць напряму» є:



– виконання завдань відповідного напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти, делегованих менеджером віртуальної спільноти;

– формування вхідних та вихідних показників завдань відповідного напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти;

– формування звіту про виконання завдання відповідного напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти, подання його менеджеру спільноти;

– виконання заходів протидії спільноти від соціально орієнтованих ризиків, які відносяться до відповідного напрямку організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

#### **Компоненти управлінського рівня.**

**«Компонента функціонально-мережевої моделі».** Функціонально-мережева модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти побудована на основі мережі Петрі. Модель відповідає процесу функціонування віртуальної спільноти.

**«Компонента формування завдань».** Компонента відповідає за структурування процесу формування завдань організації життєвого циклу віртуальних спільнот. Завдання формує менеджер віртуальної спільноти та делегує їх виконавцям завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

**«Компонента опрацювання завдань».** Відповідає за структурування процесу опрацювання завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. За виконання управлінського алгоритму опрацювання завдань організації життєвого циклу віртуальних спільнот відповідає виконавець напрямку, якого призначає менеджер віртуальної спільноти.

**«Компонента визначеності критичності показників».** Для швидкого та якісного виконання поставлених завдань відповідно до мети та цілей створення віртуальної спільноти постає необхідність визначення критичності показників завдань організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Для визначення критичності показників необхідні вхідні та планові показники завдань організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

**«Компонента захисту від ризиків».** Відповідає за захист від соціально орієнтованих ризиків, який передбачає заходи з протидії. Виконавці компоненти – менеджер та виконавці напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

#### **Рівень формування показників.**

**«Компонента формування еталонного показника».** Еталонні показники є важливими у

формуванні планового показника завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. За формування еталонних показників відповідає менеджер віртуальної спільноти та призначений ним аналітик.

**«Компонента формування планового показника».** Планові показники близькі до ідеальних показників та відіграють важливу роль (особливо, коли відбувається порівняння на критичність). Формує плановий показник менеджер створення віртуальної спільноти. Для формування якісного планового показника організації життєвого циклу віртуальної спільноти необхідно отримати від аналітика еталонний показник та показник на основі аналізу предметної галузі.

#### **Рівень баз даних.**

**«База даних звітів».** Використовується як джерело даних про звіти організації життєвого циклу віртуальної спільноти. «База даних звітів» містить звіти про виконання завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

**«База даних показників».** Інформація про показники завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти. База даних показників містить: вхідні показники завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти; вихідні показники завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти; показники на основі аналізу предметної галузі організації життєвого циклу віртуальної спільноти; еталонні показники завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти;

планові показники завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

**«База даних виконавців».** Інформація про менеджера та виконавців організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Інформація, необхідна для присвоєння їм виконання завдань, комунікування між виконавцями.

База даних містить: прізвище, ім'я, по батькові виконавців організації життєвого циклу віртуальної спільноти; посаду чи спеціалізацію, за яку відповідає під час організації життєвого циклу віртуальної спільноти; телефон виконавця організації життєвого циклу віртуальної спільноти; електронна пошта виконавця організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

#### **Рівень зовнішніх інформаційних ресурсів.**

**Соціальна мережа** – соціальна служба у Вебі, яка дає змогу створювати профілі користувачів, будувати зв'язки, створювати інформаційне наповнення мережі Інтернет. Нині соціальні мережі – найпоширеніша платформа створення

віртуальних спільнот. Дослідження показали, що найпопулярнішою мережею у світі є Facebook, вона користується популярністю і в Україні.

**Сайт** – сукупність веб-сторінок у мережі Інтернет. Сайти є одним з джерел інформаційного наповнення мережі Інтернет. Їхній вміст добре підходить для аналізу предметної галузі.

**Віртуальна спільнота** – соціальне об'єднання людей у мережі Інтернет, учасники якого взаємодіють між собою. Є необхідним інформаційним ресурсом для формування еталонного показника завдань напрямів організації життєвого циклу віртуальної спільноти.

**Висновки.** Розроблена модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти шляхом включення у модель низки спеціальних етапів напрямів організації життєвого циклу

віртуальних спільнот, що дало змогу структурувати виконання проектних завдань, які стоять перед розробниками віртуальних спільнот. Модель організації життєвого циклу віртуальної спільноти є основою для розробки структури програмного засобу організації життєвого циклу віртуальних спільнот. Основним призначенням структури програмного комплексу є розробка програмного комплексу для автоматизації процесу створення віртуальної спільноти, введення та збереження документації зі створення та управління віртуальною спільнотою. Споживачі структури програмного засобу організації життєвого циклу віртуальних спільнот: власники та адміністратори віртуальних спільнот; маркетологи; PR-спеціалісти компаній, політичних партій, відомих особистостей.

#### Список літератури:

1. Hu Zh., Gnatyuk V., Sydorenko V., Odarchenko R., Gnatyuk S. Method for Cyberincidents Network-Centric Monitoring in Critical Information Infrastructure. International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). 2017. Vol.9, No.6. pp. 30–43.
2. Howard R. HOW TO: Manage a Sustainable Online Community. URL: <http://mashable.com/2010/07/30/sustainable-online-community/>
3. Korzh R., Peleshchysyn A., Syerov Yu., Fedushko S. University's Information Image as a Result of University Web Communities Activities. Advances in Intelligent Systems and Computing: Selected Papers from the International Conference on Computer Science and Information Technologies, CSIT 2016, September 6–10 Lviv, Ukraine, Shakhovska N. (Ed.). Springer International Publishing: 2017. Series Volume 512. pp 115-127.
4. Korobiichuk I., Fedushko S., Juś A., Syerov Y. Methods of determining information support of web community user personal data verification system. Automation. 2017. ICA 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer. 2017. vol. 550. pp. 144–150.
5. Fedushko S., Biluschak H., Syerov Yu. Statistical Methods of Virtual Community Users Age Verification. International Journal of Mathematics and Computational Science. Vol. 1, No. 3, 2015. P. 174–182.
6. Syerov Yu., Fedushko S., Trach O. Improving the virtual communication efficiency as a fundamental factor of successful marketing strategy. Collection of scientific articles “Prospects for development of education and science”, Academic Publishing House of the Agricultural University, Plovdiv, Bulgaria. 2016. pp. 290–293.
7. Пелещишин А., Трач О. Визначення елементів соціально орієнтованих ризиків при організації життєвого циклу віртуальної спільноти. Безпека інформації. 2017. Т.23, № 2. С. 130–135.
8. Trach O., Peleshchysyn A. Development of directions tasks indicators of virtual community life cycle organization. Proceedings of the XI International Scientific and Technical Conference “Computer Sciences and Information Technologies” (CSIT-2017). Lviv, 05–08 September 2017. 2017. P. 127–130.

#### СТРУКТУРА ПРОГРАМНОГО СРЕДСТВА ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ВИРТУАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ

*В статье разработана модель жизненного цикла виртуального сообщества, которая включает ряд специальных этапов и направлений организации жизненного цикла виртуальных сообществ, что позволило структурировать выполнение проектных задач, которые стоят перед разработчиками виртуальных сообществ. Разработана структура программного комплекса, которая является основой для разработки программного комплекса для автоматизации процесса создания виртуального сообщества, введения и сохранения документации по созданию и управлению виртуальным сообществом.*

**Ключевые слова:** виртуальное сообщество, организация жизненного цикла, программное обеспечение, управление сообществом.

**STRUCTURE OF THE SOFTWARE**

**FOR THE ORGANIZATION OF THE LIFE CYCLE OF VIRTUAL COMMUNITIES**

*In the article the model lifecycle of virtual community that includes a number of special stages and areas of organization life cycle of virtual communities is developed, which made it possible to structure the execution of the project tasks that face the developers of virtual communities. The structure of the software complex is developed, which is the basis for developing a software package for automating the creation of a virtual community, introducing and maintaining documentation for the creation and management of the virtual community.*

**Key words:** *virtual community, life cycle organization, software, community management.*

**Устенко І.В.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

**Назаренко В.О.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

## УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІОЛІ-ДЖОНСА ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ У ВІДЕОПОТОЦІ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМИ ДЛЯ ЇЇ РЕАЛІЗАЦІЇ

*У статті досліджується математична модель Віолі-Джонса для розпізнавання обличчя у відеопотоці. Акцент планується зробити на математичній моделі Віолі-Джонса, тому що вона найчастіше використовується. Застосовувати цю модель планується для проектування програмного забезпечення.*

**Ключові слова:** модель Віолі-Джонса, піксель, обробка зображень, відеопотік, класифікації зображень.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з тим, що у всьому світі почастишали випадки тероризму для забезпечення безпеки на транспорті і в офісних приміщеннях ідентифікація людини по обличчю набуває важливого значення. Основною проблемою ідентифікації є низький рівень розпізнавання обличчя при повороті. Вирішення задачі розпізнавання особи включає в себе етапи отримання зображення, попередньої обробки, виявлення осіб і ідентифікації з урахуванням виявлених особливостей.

Вирішення завдання виявлення осіб особливо важливо у використанні систем відеонагляду (таких як CCTV) і в охоронних комплексах. У зв'язку із зростанням обчислювальної потужності персональних комп'ютерів і мобільних пристроїв виявлення осіб набирає популярності як спосіб організації людино-машинної взаємодії. Також є додатки з використанням «доповненої реальності», такі як відеоігри, де гравець може взаємодіяти з об'єктами віртуального світу за допомогою рухів і жестів, що фіксуються камерою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед джерел, що стосується цієї теми, варто розглянути роботи, в яких детально описуються алгоритми інтегрального представлення зображень, пошук осіб за допомогою ознак Хаара в різноманітних прикладних варіаціях. Ефективність застосування цих алгоритмів має дуже великий попит в ідентифікації осіб на митниці, паспортному контролі в аеропорті та в багатьох офісних приміщеннях.

Досліджуванням методу Віолі-Джонса займалися такі університети: Санкт-Петербурзький політехнічний університет Петра Великого, Уфимський державний авіаційний технічний уні-

верситет, Санкт-Петербурзький державний університет.

Процесом дослідження займалися такі дослідники, як: С.Ф. Галєєв, Е.В. Сидоренко, Г.Ф. Малихіна, М.Р. Гільмутдинов, Н.В. Лисак, Ю.В. Міронова, І.О. Марченко, С.О. Петров і багато інших.

**Постановка завдання.** Нині галузь застосування алгоритмів виявлення осіб динамічно розвивається. Ці алгоритми знаходять застосування в різних вбудованих системах, а умови застосування таких систем зумовлюють істотні відмінності в зображеннях. Таким чином, завдання виявлення осіб полягає в підвищенні якості розпізнавання обличчя у відео потоці.

**Виклад основного матеріалу дослідження.**

### 1. МЕТОДИ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧЧЯ

Методи розпізнавання осіб можна розділити на дві підгрупи. Перша підгрупа – це методи, засновані на значеннях пікселів, і методи, засновані на характерних точках. Розглянемо основні методи кожної з цих підгруп.

1.1 Методи, засновані на значеннях яскравості пікселів.

Назва цієї групи методів має на увазі, що для розпізнавання виявлених осіб використовується тільки колір або яскравість пікселів на зображеннях. Найпростішим подібним методом є порівняння, в якому мірою схожості є відстань між векторами яркостей пікселів зображень. Однак цей метод абсолютно нестійкий до змін освітлення, положення особи, масштабування. Більше того такий підхід має високу обчислювальну складність і абсолютно не придатний для розпізнавання в реальному часі. Тому дуже часто використовуються методи, які використовують перехід векторного опису зображень у простір з меншою розмір-

ністю, в яких порівняння набагато ефективніше.

Eigenfaces – алгоритм, запропонований в 1991 році Метью Тёрком і Алексом Пентландом, який здобув широку популярність як перший успішний метод розпізнавання осіб. Основною ідеєю алгоритму є застосування методу головних компонент для знаходження векторів, що найкращим чином описують зображення осіб. Використовуючи цей метод, можна виявити різні мінливості в навчальній вибірці зображень облич і описати цю мінливість у базисі декількох ортогональних векторів, які називаються власними.

Отриманий один раз на навчальній вибірці зображень облич набір власних векторів використовується для кодування всіх інших зображень осіб, які представляються зваженою комбінацією цих власних векторів. Використовуючи обмежену кількість власних векторів, можна отримати стислу апроксимацію вхідного зображення особи, яку потім можна зберігати в базі даних у вигляді вектора коефіцієнтів, службовця одночасно з ключем пошуку в базі даних осіб.

Метод головних компонент добре зарекомендував себе в практичних додатках. Однак у тих випадках, коли на зображенні особи присутні значні зміни в освітленості або виразі обличчя, ефективність методу значно падає.

До переваг цього методу можна віднести простоту реалізації, придатність для розпізнавання в реальному часі і можливість компактно зберігати великі об'єми даних.

Основним недоліком є висока чутливість до зміни освітлення, розміру і поворотів, і, як результат, необхідність суворого збереження вихідних умов зйомки. Ця проблема викликана тим, що найбільш важливі власні вектори більшою мірою описують особливості висвітлення, ніж характеристики осіб, оскільки спочатку метод головних компонент вибирає підпростір з метою апроксимації даних, а не їх класифікації.

Fisherfaces – алгоритм, в якому, на відміну від методу eigenfaces, використовується лінійний дискримінантний аналіз, а саме лінійний дискримінант Фішера. Дія алгоритму заснована на пошуку проекції даних, за якої класи зображень облич максимально роздільні. За використання ж методу головних компонент проводиться максимізація розкиду даних по всій базі осіб. Ця відмінність дає змогу вирішити проблему високої чутливості до змін освітлення.

Локальні бінарні шаблони (надалі LBP – Local Binary Pattern) – простий і ефективний оператор перетворення зображень, вперше запропонований в

1996 році для класифікації текстур. Однак пізніше знайшов застосування і для розпізнавання осіб.

Цей оператор використовує значення яркостей околиці кожного пікселя зображення і за допомогою функції присвоює кожному пікселю значення, яке описує його околиці. Далі отримане зображення розділяється на підобласті, для кожної з яких розраховується гістограма. Гістограми конкатенуються і порівнюються за допомогою методів машинного навчання. У класичному варіанті використовується метод найближчого сусіда.

Переваги цього методу полягають у простоті реалізації і високої швидкості роботи, яку можна збільшити, використовуючи різні модифікації алгоритму. При цьому алгоритм показує високі результати у розпізнаванні осіб і стійкий до монотонних змін освітлення. Усе це робить його ідеально відповідним для розпізнавання осіб у системах обробки в реальному часі.

#### 1.2 Методи, засновані на характерних точках.

Ця група методів, на відміну від попередньої, використовує характерні точки і їхні координати на зображенні, а не оцінює яскравості пікселів. Такими характерними точками можуть бути, наприклад, центри очей, положення носа, лінія брів, рота. До такого класу методів відносяться активні моделі зовнішнього вигляду й активні моделі форми.

Активні моделі зовнішнього вигляду (Active Appearance Models, AAM) – це статистичні моделі зображень, які шляхом різного роду деформацій можуть бути підігнані під реальне зображення. Такий тип моделей у двовимірному варіанті було запропоновано Тімом Кутса і Крісом Тейлором у 1998 році. Активна модель зовнішнього вигляду містить два типи параметрів: параметри, пов'язані з формою (параметри форми), і параметри, пов'язані зі статистичною моделлю пікселів зображення або текстурою (параметри зовнішнього вигляду). Перед використанням модель має бути навчена на безлічі задалегідь розмічених зображень. Розмітка зображень виробляється вручну.

Активні моделі форми (Active Shape Models, ASM) враховують статистичні зв'язки у взаємному розташуванні антропометричних точок. На кожному зображенні вибірки експерт розмічає розташування антропометричних точок. Для того щоб привести координати на всіх зображеннях до єдиної системи зазвичай виконується узагальнений аналіз, в результаті якого всі точки приводяться до одного масштабу і центруються.

Далі для всього набору образів обчислюється середня форма і матриця коваріації. На основі

матриці коваріації обчислюються власні вектори, які потім сортуються в порядку убутання відповідних їм власних значень. Локалізації ASM моделі на новому, що не входить у навчальну вибірку, зображенні здійснюється в процесі рішення оптимізаційної задачі.

Однак варто зазначити, що подібні моделі спочатку призначені не для розпізнавання, а для точної локалізації характерних точок на зображеннях осіб. Їх локалізація дасть змогу виконати процедуру вирівнювання осіб вибірки і приведення їх до однієї системи координат для більш точного розпізнавання іншими методами. Зазвичай для цих цілей використовується невелика кількість точок, що дає змогу прискорити продуктивність. Для задач розпізнавання, навпаки, потрібна велика кількість характерних точок, що збільшить точність класифікації і знизить швидкість роботи системи.

## 2 АНАЛІЗ РОЗПІЗНАВАННЯ ОСІБ У ВІДЕОПОТОКАХ

Як було зазначено раніше, обробка кадрів відеопотоку, що розробляється системою, має включати два основні етапи. Перший етап – виявлення осіб моделлю Віоли-Джонса. Другий етап – розпізнавання знайдених осіб за допомогою гістограм локальних бінарних шаблонів і методу найближчого сусіда. Однак продуктивність цих алгоритмів істотно залежить від таких факторів, як освітлення, положення особи. Тому доцільно одразу описати умови застосування системи, що розробляється, в яких може бути забезпечена її коректна робота:

- Використовується фронтальне, або близькі до нього положення осіб. Нейтральний вираз обличчя у зображеннях.

- Особи не перекриваються іншими об'єктами.

Також доцільно одразу описати необхідний функціонал, що розробляється:

- Обробка відеопотоку з підключеною до комп'ютера камерою в реальному часі.

- Можливість налаштування параметрів роботи використовуваних для виявлення і розпізнавання алгоритмів.

- Виведення інформації про осіб, що розпізнаються, що включає міру належності до певного класу, графічне відображення гістограми і LBP уявлення відслідковуваної особи.

- Можливість навчання і додавання класів осіб із використанням камери через інтерфейс програми.

Крім етапів виявлення і розпізнавання, доцільно використовувати проміжні етапи обробки знайде-

них осіб. Застосування фільтру Гауса після виявлення осіб допоможе знизити вплив шумів під час розпізнавання.

Також має сенс застосувати маску значущих областей до локалізованих і перетворених оператором LBP зображень осіб, яка дасть змогу прибрати вплив під час розпізнавання кутових областей зображення, що містять задній план.

У результаті загальний алгоритм розпізнавання має містити такі кроки: виявлення осіб у кадрі, обробка знайдених осіб фільтром Гауса, застосування LBP трансформації до знайдених осіб з подальшим застосуванням маски значущих областей, розрахунок гістограм знайдених осіб, класифікація осіб по гістограмі методом найближчого сусіда. У результаті буде отримано список осіб, що відслідковуються, з їхніми характеристиками і координатами прямокутних областей кадру, в яких вони знаходяться.

Узагальнена блок-схема алгоритму обробки кадрів, що розробляється системою, представлена на рис. 2.1.

Процедура навчання проводиться аналогічним чином. Знайдене в кадрі обличчя послідовно обробляється відповідно до описаного алгоритму, розраховані гістограми осіб навчальної вибірки кожного класу зберігаються.

Розпізнавання проводиться на основі пошуку мінімальної відстані між гістограмою вхідного зображення особи і гістограм, що зберігаються у базі.

## 3 ЕТАПИ ОБРОБКИ КАДРІВ У ВІДЕОПОТОКАХ

### 3.1 Розпізнавання обличчя моделлю Віоли-Джонса

Ця модель була розроблена і представлена Полом Віолою і Майклом Джонсом у 2001 році. Однак і до цього дня ця модель є однією з основних у пошуку об'єктів на зображенні в реальному часі.

Виділимо основні принципи, на яких заснована робота цієї моделі:

- Інтегральне представлення зображень.
- Пошук осіб за допомогою ознак Хаара.
- Каскадна класифікація із застосуванням бустінга.

#### 3.1.1 Інтегральне представлення зображень

Для розрахунку яскравості прямокутної ділянки зображення використовується так зване інтегральне уявлення. Зазначене подання часто застосовується і в багатьох інших розроблених алгоритмах комп'ютерного зору. Інтегральне уявлення дає змогу швидко розраховувати сумарну

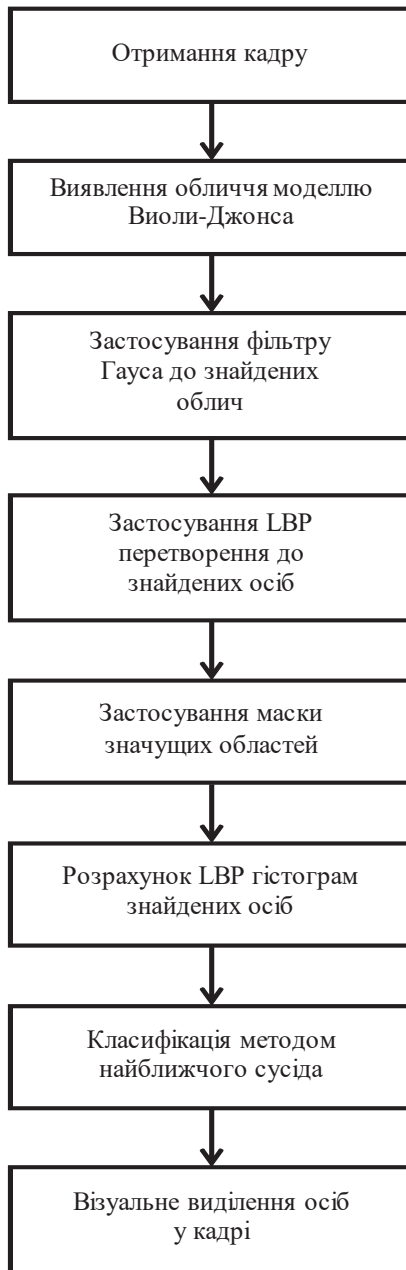


Рис. 2.1. Узагальнена блок-схема алгоритму обробки кадрів

яскравість довільного прямокутника на заданому зображенні, причому час розрахунку не залежить від площі прямокутника.

Інтегральне уявлення зображення являє собою матрицю, розміри якої збігаються з розмірами вихідного зображення. У кожному елементі такої матриці зберігається сума інтенсивностей всіх пікселів, що знаходяться лівіше і вище цього елемента. Елементи матриці розраховуються відповідно до такої формули (3.1):

$$I(x,y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} i(x',y') \quad 3.1,$$

де  $I(x, y)$  – значення точки  $(x, y)$  інтегрального зображення;  $i(x, y)$  – значення інтенсивності вихідного зображення.

Застосування інтегрального представлення зображення дає змогу обчислювати ознаки однакового виду, але мають різні геометричні параметри за однаковий час, оскільки розрахунок матриці інтегрального уявлення займає лінійний час, пропорційний числу пікселів у зображенні.

### 3.1.2 Признаки Хаара

Ознакою  $f$  об'єкта  $a$  називають відображення  $f: A \rightarrow Df$ , де  $Df$  – безліч допустимих значень ознаки. Якщо заданий набір векторів  $f_1, \dots, f_n$ , тоді вектор  $x = (f_1(a), \dots, f_n(a))$  називається ознаковим описом об'єкта  $a \in A$ .

Вперше використання для виявлення об'єктів ознак, заснованих на вейвлет Хаара, було запропоновано в роботі Папагеоргіу в 1998 році. Віола і Джонс адаптували цю ідею в своїй роботі, отримали прямокутні ознаки, названі ознаками Хаара. Зовнішній вигляд цих ознак можна побачити на рис. 3.1.

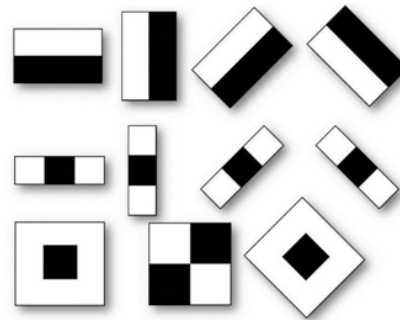


Рис. 3.1. Ознаки Хаара

У розширеній моделі Віоли-Джонса, представленій в бібліотеці комп'ютерного зору OpenCV і використовуваний в розроблюваній системі, використовуються також додаткові ознаки, представлені на рис. 3.2.

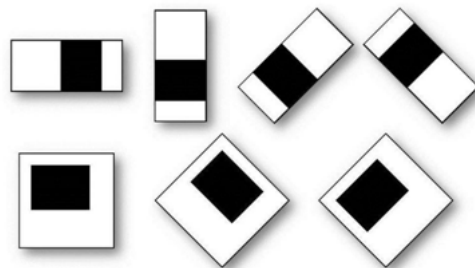


Рис. 3.2. Додаткові ознаки Хаара

Результатом обчислення такої ознаки на інтегральному уявленні зображення буде (3.2):

$$F=U-V \quad (3.2),$$

де  $U$  – сума значень яскравості точок, які закривають світлою частиною ознаки, а  $V$  – сума значень яскравості точок, які закривають темною частиною ознаки. Такі ознаки описують опис перепаду яскравості по обох осях зображення.

Пошук осіб відбувається за допомогою так званого скануючого вікна, розміри якого в оригінальному алгоритмі складають 24x24 пікселі. Вікно переміщається по зображенню з кроком у 1 піксель і для кожного його положення обчислюються ознаки Хаара з різним масштабом і положенням у вікні. При цьому саме сканування проводиться також і для різних масштабів скануючого вікна. Знайдені ознаки передаються класифікатором, який визначає за їх значенням, чи є область зображення, відповідна вікну, обличчям чи ні.

### 3.1.3 Удосконалення математичної моделі Віюлі-Джонса.

Пропонується доопрацювання математичної моделі Віюлі-Джонса для підвищення стійкості до поворотів обличчя. Модифікована модель складається з трьох етапів:

#### 1) Сегментація за кольором

Для виділення ділянок зображення, в яких міститься шкіра, використовується наступні умови:

$$R \geq 1.2 * G$$

$$G \leq 8 * B$$

$$G \geq 0.9 * B$$

$$R \leq 2.8 * G(I)$$

Де  $R, G, B$  – кольори в діапазоні  $[0; 255]$ :

Після виділення областей, суміжні пікселі, що класифіковані як «шкіра», об'єднуються в кластери. Кожен кластер обмежується прямокутною областю, усередині кожної прямокутної області проводиться пошук обличчя.

Виділення областей в яких міститься шкіра приведено на рисунку 2.1



Рис. 2.1 Виділення областей, що містять шкіру

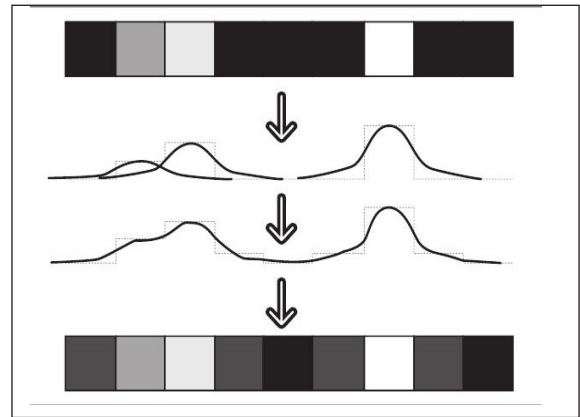


Рис. 3.4. Розмиття за Гаусом на одновимірному масиві

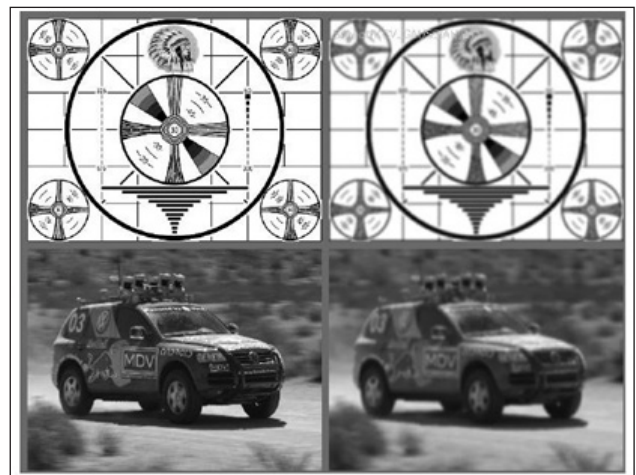


Рис. 3.5. Результат застосування фільтра Гауса

Після цього фільтруються області, що займають менше 5 відсотків висоти та ширини зображення (шляхом порівняння площі зображення і площі області).

На рисунку 2.2 зображено області які займають 5% висоти та ширина, тобто виділення пройшли успішно, і обличчя були

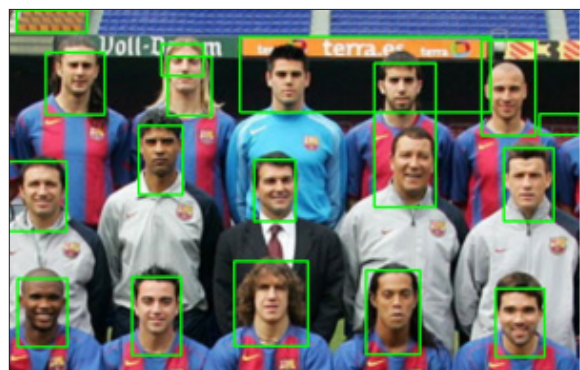


Рис. 2.2 області які займають 5% висоти та ширина



2) вибір класифікатора

У кожній з областей, потенційно маючих обличчя, які були виявлені на попередньому кроці, проводиться пошук частин обличчя з використанням каскадів ознак, навчених на пошук даної частини:

– Виконується пошук очей. Використовуються каскади для виявлення лівого і правого ока. Якщо виявлено одне око, то виконується пошук особи з використанням каскаду для профілю особи (виду збоку).

– При виявленні двох очей виконується пошук рота на зображенні. У разі якщо виявлений рот, обчислюються точки-центри прямокутних областей, що обмежують очі і рот. Обчислюються відстані  $D_{right}$  та  $D_{left}$  від центру правого і лівого ока до центру рота. Обчислюється реальна відстань між очима  $D_{eyes}$  та «очікувана» відстань  $D_{expected}$  «Очікувана» відстань – це така відстань, яка повинна бути між центрами очей на зображенні особи, що дивляться прямо в камеру. Передбачається, що зображення було повернуто тільки навколо вертикальної осі, і горизонтальні відстані між частинами особи не були порушені. В такому випадку:

$$D_{expected} = D_{left} * D_{right} / 1.254 / 2.$$

Даний коефіцієнт був підібраний як середнє значення аналізом 10 зображень. Здійснюється горизонтальне масштабування зображення з коефіцієнтом  $D_{expected} / D_{eyes}$ .

– Якщо не було виявлено особу за допомогою каскаду «профіль», або було отримано від масштабовані зображення після класифікаторів «очі», відбувається побудова віртуального зображення особи, яка утримує апроксимацію вихідного зображення до повороту.

3) Компенсація обертань

На даному етапі будується «віртуальне зображення», що представляє собою апроксимацію зображення особи до повороту навколо горизонтальної осі. Для цього береться зображення особи, що представляє собою двомірну проекцію особи. Розглядаємо дане зображення як площину в тривимірному просторі, призначаючи координату  $Z = 0$ . Будемо обертати цю площину навколо вертикальної осі з кроком в діапазоні від -45 до +45 градусів включно.

Передбачається, що комбінація обертання і масштабування на попередньому етапі зроблять зображення більш схожим на таке, яке ми могли б отримати в разі, коли особа направлено в камеру, і метод Віоли-Джонса повинен допускати більший діапазон кутів повороту обличчя.

На рисунку 2.3 зображений результат роботи розпізнавання обличчя з застосуванням удоско-

наленої математичної моделі, на якому видно що при 45 градусах повороту розпізнаються більше половини зображень.

Кут повертання (градуси)	Число розпізнаних обличч
-45	10
-30	14
-15	14
0	14
+15	15
+30	15
+45	8

Рис 2.3 Результат роботи розпізнавання обличчя

3.2 Фільтр Гауса

З метою усунення шумів на зображеннях осіб будемо використовувати фільтр Гауса. Фільтр Гауса – це фільтр розмиття зображення, який використовує нормальний розподіл (також званий Гаусів розподіл) для обчислення перетворення, що застосовується до кожного пікселя зображення. Нормальний розподіл для двох вимірів описується формулою (3.3)

$$G(u, v) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-(x^2+y^2)/(2\sigma^2)} \quad (3.3),$$

де  $r$  – радіус розмиття;  $r^2 = x^2 + y^2$ ;  $\sigma$  – стандартне відхилення розподілу Гауса.

Ця формула задає поверхню, що має вигляд концентричних кіл з нормальним розподілом від центральної точки. Пікселі, де розподіл відмінний від нуля, використовуються для побудови матриці згортки, яка застосовується до вихідного зображення. Значення кожного пікселя стає середньо зваженим для околиці. Початкове значення пікселя приймає найбільшу вагу (має найвище Гаусове значення), і сусідні пікселі приймають меншу вагу залежно від відстані до них.

Приклад роботи розмиття за Гаусом для одновимірного масиву можна побачити на рис. 3.4.

Таким чином, розмиття за Гаусом дасть нам змогу позбутися небажаних шумів на зображеннях, що зведе до мінімуму їх вплив у подальшій класифікації осіб. Результат застосування фільтра Гауса до цілого зображення продемонстрований на рис. 3.5.

**Висновки.** У цій роботі удосконалено математичну модель Віоли-Джонса для розпізнавання обличчя у відеопотоці. Подібне удосконалення дало можливість підвищити точність розпізнавання обличчя у відеопотоці.

Розглянута математична модель також реалізується у програмному відношенні та може бути використана у сферах митного контролю, відділах поліції в аеропортах та в системах відеонагляду.

**Список літератури:**

1. Потапов А.С. Распознавание образов и машинное восприятие. - С-Пб.: Политехника, 2007. – 548 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва, 2005 г.
3. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания. М. Высш. шк., 1977 г.
4. Брилюк, Д. Распознавание человека по изображению лица и нейросетевые методы / Д. Брилюк, В. Старовойтов. – Минск: Институт Технической Кибернетики Национальной Академии Наук Беларуси, 2001.
5. Голубев М. Н. «Использование информации о цвете в алгоритме выделения лиц на базе бустинга», Сб. науч. труд. 13-й всерос. науч.-техн. конф. «Нейроинформатика – 2011», М, 2011. Ч. 3. С. 55 – 62.
6. Местецкий Л.М. Математические методы распознавания образов. Москва, 2002–2004 г.
7. Программа обнаружения лица на изображении на основе характеристических признаков [Режим доступа] // URL: <https://www.hse.ru/data/2013/05/31/1284710405/work.pdf>
8. Работа каскада Хаара в OpenCV в картинках: теория и практика [Режим доступа]// URL: <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/228195/>.
9. Назаренко В.О. Удосконалення математичної моделі Віоли-Джонса для розпізнавання обличчя у відео потоці та розробка програми для її реалізації [Текст] / В.О.Назаренко, І. В. Устенко матеріали III Всеукраїнської науково- практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених – м. Миколаїв, 22-23 березня – 68 ст.
10. Назаренко В.О. Удосконалення математичної моделі Віоли-Джонса для розпізнавання обличчя у відео потоці та розробка програми для її реалізації [Текст] / В.О. Назаренко, І.В. Устенко матеріали п'ятнадцятої всеукраїнської конференції студентів і молодих науковців, інформатика інформаційні системи та технології – м. Одеса, 27 квітня – 40-41 ст.
11. В. Вежнев, А. Дегтярева, Обнаружение и локализация лица на изображении, Компьютерная Графика и Мультимедиа, Сетевой журнал.
12. Н.Х. Умяров, О.И. Федяев, Выделение лица на снимке из видеопотока с целью его распознавания – VII международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых научных работников Информатика и компьютерные технологии – Донецьк, ДонНТУ, 2011. – С. 173-177.

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИОЛЫ-ДЖОНСА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦ В ВИДЕОПОТОКЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЕЁ РЕАЛИЗАЦИИ**

*В статье исследуется математическая модель Виолы-Джонса для распознавания лиц в видеопотоке. Акцент планируется сделать на математической модели Виолы-Джонса, потому что она чаще всего используется. Применять данную модель планируется для проектирования программного обеспечения.*

**Ключевые слова:** модель Виолы-Джонса, пиксель, обработка изображений, видеопоток, классификации изображений.

**IMPROVEMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF THE VIOLA-JONES FOR FACE DETECTION IN THE VIDEO STREAM AND DEVELOP A PROGRAM FOR ITS IMPLEMENTATION**

*The paper examines the mathematical Viola&Jones model for facial recognition in a video stream. The emphasis is on the Viola & Jones mathematical model, because it is most often used. Apply this model is planned for software design.*

**Key words:** Viola&Jones model, pixel, image processing, video stream, image classification.

*Хорошевська І.О.*

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

## СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ В ТЕХНІЧНОМУ ЗАВДАННІ НА СТВОРЕННЯ МУЛЬТИМЕДІЙНИХ ДИДАКТИЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

*У статті запропонована структура представлення інформації в технічному завданні для створення на його основі мультимедійних навчальних дидактичних комплексів. Структурування інформації базується на визначених чотирьох категоріях. Кожна з категорій поділена на відповідні змістово-інформативні блоки інформації. На основі запропонованої структури спроектовано інтерфейс і реалізовано практичну розробку мультимедійного навчального комплексу з дисципліни «Теорія кольору». Це підтверджує працездатність наведеної структури технічного завдання.*

**Ключові слова:** мультимедійний дидактичний навчальний комплекс, навчальна дисципліна, технічне завдання, категорії, блоки інформації.

**Постановка проблеми.** Мультимедійні дидактичні навчальні комплекси (далі – МДНК) посідають одне з провідних місць серед мультимедійних продуктів, призначених для навчання користувачів. Натепер до найпопулярніших і затребуваних МДНК належать мультимедійні продукти, що включають такі елементи: мультимедійні посібники й підручники, відеоуроки у вигляді активних і пасивних симуляцій, віртуальні тренажери, аудіосупровід у вигляді корисних порад, підказок та аудіо-роз'яснень складних місць і питань, мультимедійні презентації, інтерактивні галереї, інтерактивні тести різного ступеня складності, інтерактивні вправи й завдання (наприклад, діагностичного й евристичного спрямування), тематичні ігри, релаксаційні інтерактивні елементи тощо.

Сучасні МДНК включають у себе різний медіа-контент (текст, зображення, відео, аудіо, анімацію, 2d та 3d моделі тощо), що логічно та цілісно подається користувачу в процесі його навчання. Такі комплекси дають можливість користувачу навчатися в прийнятній для нього формі й у зручний час. Користувач при цьому має можливість для побудови власної траєкторії навчання з урахуванням власних можливостей, інтересів і наявного рівня знань і вмінь. Подання контентного складника повинно мати варіативний характер залежно від рівня підготовленості користувача за предметною галуззю [1; 2].

Треба відмітити, що в МДНК обов'язково має бути реалізована множина педагогічний траєкторій для освоєння навчального матеріалу користувачами, що мають різний рівень підготовленості [3]. Треба враховувати, хто навчається: «новачок»,

«користувач, що має деякі знання та що це за знання» або «професіонал, який лише поглиблює знання з деяких специфічних питань». МДНК повинні забезпечувати підтримку інтерактивної взаємодії користувача з комплексом, викладачем, іншими користувачами на основі залучення навчальних, дидактичних, ігрових та інших елементів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх досліджень, присвячених питанню розробки МДНК конкретного тематичного спрямування, дав змогу з'ясувати, що автори [4–10] торкалися лише питань необхідності розробки й використання МДНК у вигляді багатокомпонентних продуктів для локального використання, надавали короткий опис їх можливостей та основних переваг. Так, мультимедійний навчальний комплекс для навчання глухонімих школярів 5-го класу з предмета «Інформатика» [4; 5], мультимедійний електронний підручник у вигляді цілісного навчального комплексу за темою «Економіка підприємства» [6], мультимедійний навчальний комплекс за темою «Техніка малювання в стилі Anime» [7], мультимедійне навчальне видання «Математика: многокутники» [8], мультимедійний навчальний комплекс за темою «Графічний дизайн» для студентів, що вивчають основи художньої композиції та графічного дизайну у сфері розробки поліграфічної та мультимедійної продукції [9; 10], спрямовані тільки на локальне використання, що виключає зворотній зв'язок, on-line взаємодію з викладачем, командну роботу під час вирішення спільних завдань тощо. У цих роботах не розкрито специфіки структурної побудови видань і не відбувалось активізації творчого

складника користувачів. Також Варто зауважити, що сам процес адаптації конкретного мультимедійного навчального комплексу під іншу предметну галузь вимагає значних технічних, технологічних, функціональних, дизайнерських та інших змін, що загалом є нерентабельним.

Для реалізації можливостей із забезпечення зворотного зв'язку МДНК повинен бути реалізований як мережевий продукт з доступом до його функціоналу зареєстрованих і схвалених (з повним доступом до контенту) користувачів. Прикладами найбільш цікавих МДНК, реалізованих як мережеві навчальні середовища, є мультимедійні дидактичні комплекси для вивчення таких дисциплін: «Мультимедійне видавництво» [11], «Основи композиції та дизайну» [12], «Типографіка» [13], «Виробнича інформаційна система поліграфічного виробництва» [14] – студентами спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» ХНЕУ ім. Семена Кузнеця. Наведені навчальні комплекси є мережевими інтерактивними середовищами, що забезпечують електронне навчання користувачів на основі використання мультимедіа, підтримки інтерактивної on-line взаємодії з користувачем у рамках навчальних, розвиваючих, дидактичних та ігрових елементів, розподілених за відповідними рівнями, наприклад, практичним (репродуктивним), творчим, як у мультимедійних комплексах [11–14]. Вони є цікавими з позиції технічної реалізації, однак також мають жорстку структурно-змістову орієнтацію на конкретні навчальні дисципліни та не містять такої затребуваного інтерактивного складника, як майстер-класи, активні симулятори, вбудовані редактори для спільних мікропроектів тощо.

Процес побудови таких МДНК є дуже складним. Він потребує ретельного попереднього пророблення багатьох питань. Це чітка постановка мети, окреслення завдань, формування вимог (до графічного дизайну, шрифтового оформлення тощо), окреслення обмежень (технічних, технологічних тощо) майбутнього проекту комплексу та формування допущень, формування структурної схеми, розроблення специфікації й технологічної схеми та багато іншого. Від усіх цих елементів і залежить правильність створення кінцевого проекту МДНК: його змістова цілісність, функціональна працездатність та ергономічна реалізованість.

Наведені вище елементи є складниками документа «Технічне завдання», який визначає зміст, порядок та умови проведення робіт за договором між замовником і виконавцем процесу розробки

МДНК. Коректне технічне завдання, написане й узгоджене між усіма зацікавленими та відповідальними особами, є запорукою успішної практичної реалізації МДНК.

**Постановка завдання.** Певне коло завдань, що необхідно вирішити для створення цілісного, багатокomпонентного, якісно побудованого з позиції структурного та змістового наповнення інтерактивного мережевого МДНК, не знайшло належного відображення в пропонованих авторами дослідженнях.

Це говорить про актуальність і своєчасність дослідження цієї теми в розрізі розкриття специфіки процесу розроблення структури представлення інформації в технічному завданні, призначеному для створення МДНК у вигляді електронних мережевих середовищ для навчання користувачів знань з певної предметної галузі.

**Метою статті** є розкриття специфіки процесу розроблення структури представлення інформації в технічному завданні на створення МДНК.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для реалізації наведеної мети необхідно розкрити специфіку, притаманну структуризації представлення інформації в технічному завданні на розроблення МДНК.

Представлення інформації в технічному завданні (далі – ТЗ) має бути структуровано за категоріями, що містять конкретні блоки інформації. Розглянемо доцільні категорії та їх змістове навантаження.

**1. Категорія «Загальні відомості про МДНК»** повинна містити:

- а) найменування МДНК;
- б) ключові терміни МДНК;
- в) найменування замовника та його реквізити (ПІБ., фізична та юридична адреси, контактна особа, контактний телефон, електронна пошта тощо);
- г) найменування розробника МДНК та його реквізити (ПІБ., фізична та юридична адреси, контактна особа, контактний телефон, електронна пошта тощо);
- д) перелік вхідних документів, на основі яких буде здійснена розробка;
- е) визначені терміни початку й закінчення робіт за МДНК;
- ж) бюджет і способи оплати.

**2. Категорія «Призначення й мета МДНК»** повинна містити:

- а) аналіз аналогів МДНК (не менше ніж 6–8), який буде розроблятися, визначення їх переваг і недоліків;

б) головну ідею, яку необхідно покласти в основу створення МДНК;

в) призначення МДНК;

г) мету МДНК;

д) портрет цільового споживача, наведений за такими факторами:

соціальні (матеріальне становище, освіта тощо);

психологічні (мотивація, особистісні якості, психологічний стан тощо);

фізіологічні (вік, стать, уподобання, наявні вади тощо);

технічні (характеристики ПК та периферійних пристроїв користувача, налаштування системи безпеки ПК, версії ОС, версії браузерів тощо);

додаткові (географія користувача, час доби, групова або одноосібна робота з МДНК тощо);

д) формулювання завдань МДНК, деталізованих за призначенням:

навчання користувача;

контроль рівня отриманих знань і вмій;

активізація та підтримка творчого складника;

забезпечення користувача інформацією;

організація комунікації на основі підтримки зворотного зв'язку (форми комунікації: «користувач-інтерфейс МДНК-викладач», «користувач-інтерфейс МДНК-інші користувачі»).

**3. Категорія «Вимоги до проекту МДНК»** повинна містити:

а) обмеження й допущення до проекту МДНК, наведені за факторами:

технічні;

технологічні;

економічні;

психологічні;

б) вимоги до проекту МДНК, наведені в розрізі таких позицій:

інтерфейс (опис ведеться за критеріями: мінімізація робочих зусиль, максимізація взаємодії, мінімізація дискомфорту користувача, професійні навички користувача). Інтерфейс МДНК повинен бути спроектований з урахуванням популярних розширень екранів. Ні одна кнопка доступу до основних функцій МДНК не повинна опинитися поза видимою ділянкою вікна;

стилістичний напрям дизайну (доцільно обирати й аргументувати вибір конкретного стилю з таких найбільш популярних: гранж, ретро, дизайн з акцентом на типографіку, футуристичний дизайн, картковий, мінімалізм, класичний, корпоративний, ар-деко, хай-тек, рисований, інформаційний, Organic & Natural, скевоморфізм, Material, Metro, Apple, Flat Design, полігональний);

графічний дизайн (описуються модульна сітка, колірні рішення основних і додаткових кнопок і піктограм, наводиться вигляд елементів навігації та керування). Дизайн усіх розділів МДНК повинен задовольняти вимогу єдності його стилю. Для всіх розділів МДНК має бути витримана єдина колірна гама, єдина схема розміщення елементів навігації, графічних елементів, функціональних блоків, інформаційних полів тощо;

шрифтове оформлення (наводяться основні шрифти гарнітури, шрифти, використовувані для оформлення графічних і текстових елементів). Розмір шрифтів повинен забезпечувати зручність сприйняття інформації при мінімально допустимому розмірі екрану;

засоби перегляду (наводиться перелік браузерів з конкретними версіями, що повинні забезпечувати коректне відображення різного виду медіаконтенту МДНК та його елементів навігації й керування);

контент (наводиться перелік текстових, графічних, аудіо, відео тощо матеріалів в електронному вигляді, що надаються замовником для розробки МДНК. Також наводяться коментарі, що стосуються змісту, обсягу, оформлення й розміщення цих матеріалів);

перелік форматів файлів для представлення різного виду медіаконтенту МДНК (формується рекомендації до кожного виду медіаконтенту за типами файлів, які раціонально використовувати);

підготовка, редагування, верстка й налаштування контенту (формується пропозиції до редакторів, що будуть використані для опрацювання контенту. Також наводиться опис візуальної підтримки дій користувача, що має бути реалізована. Наприклад, як буде визначено місцезнаходження користувача, його вже зроблені активні дії тощо);

компонування МДНК (наводиться пропозиція щодо компонування сторінок комплексу для забезпечення автоматичного масштабування сторінок залежно від ширини робочого поля браузера користувача).

**4. Категорія «Структура і склад МДНК»** повинна містити:

а) структурну схему (вона повинна відображати логіку взаємозв'язку між окремими сторінками розроблюваного проекту й компонентний склад посилань на текст, малюнки, фото, анімацію, відео, аудіо тощо).

Для реалізації різних способів навчально-пізнавальної діяльності й підвищення наочності представлення інформації в МДНК, структурування навчального матеріалу має здійснюватися за окремими рівнями, що відповідають за тео-

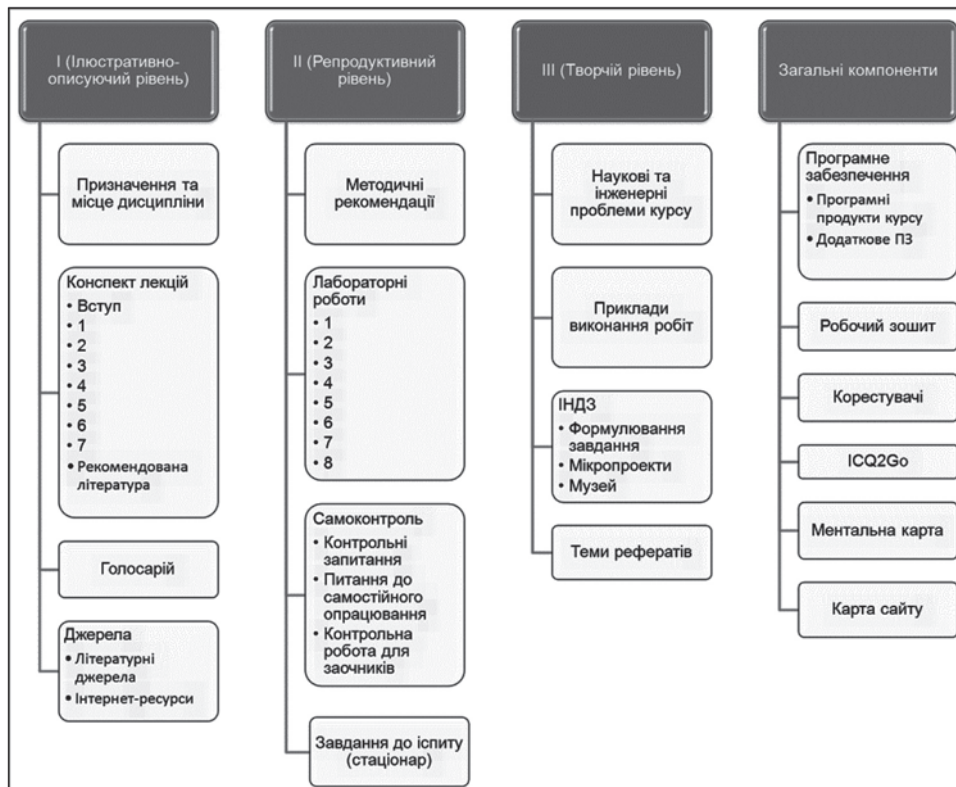


Рис. 1. Приклад структурної схеми, яка може бути покладена в основу розроблення МДНК за навчальною дисципліною

ретичний, репродуктивний і творчий складники навчання [1].

Приклад структури, що може бути закладена в основу побудови МДНК, наведено на рисунку 1.

Структурування навчального матеріалу за кожною з тем має бути реалізовано з урахуванням потрібної їй повноти й деталізації інформації. Для цього пропонується така декомпозиція до представлення тем:

- розміщення основної інформації;
- розміщення додаткової інформації, що містить роз'яснення й доповнення;
- розміщення ілюстративного матеріалу;
- розміщення довідкового матеріалу;

б) специфікацію на проект МДНК у вигляді таблиці, що повинна містити такі елементи: сторінки проекту, зміст елементів кожної сторінки, властивості елементів (колір, розмір, розташування тощо), функціональність кожного елемента (перехід, запуск, збільшення тощо), дії за елементами (опис скриптів);

в) ескізи типових сторінок проекту МДНК із зазначенням елементів, які раціонально на них виносити, і визначенням складу й місця розташування елементів навігації. До таких сторінок належать титульна сторінка; сторінка змісту; сторінка з текстовим і графічним наповненням; сторінка з

тестовим наповненням; сторінка з релаксаційним компонентом; сторінки з вихідними даними; сторінки з програмним забезпеченням.

За потреби додається ескіз майстер-сторінки (або майстер-сторінок, якщо їх декілька) проекту МДНК та обґрунтовується доцільність винесення на неї певних елементів;

г) склад МДНК. До базового складу МДНК входить його опис за такими елементами:

вступ у дисципліну (предметна галузь дисципліни, призначення та місце дисципліни в загальній структурі знань для цієї спеціальності, мета вивчення, компетентності, які потрібно сформувати в результаті вивчення дисципліни, нормативні обсяги часу на виконання різних навчальних завдань);

теоретична компонента (лекції за темами дисципліни. Надалі кожна з них повинна бути візуалізована як окрема стаття у складі МДНК);

практична компонента у вигляді лабораторного практикуму, практичних і семінарських занять (за потреби можуть бути включені елементи у вигляді майстер-класів і тренінгів);

словник базових термінів дисципліни (гіперпосилання до тексту теоретичного матеріалу й назад до схем, рисунків і прикладів);

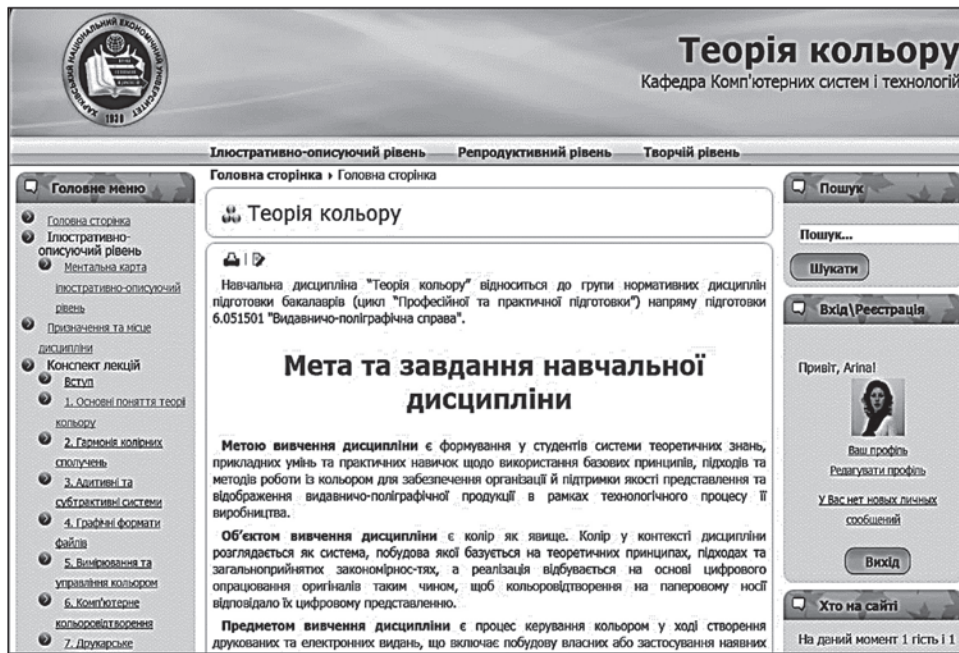


Рис. 2. Головна сторінка МДНК з навчальної дисципліни «Теорія кольору»

демо- та безкоштовні версії програмних продуктів за дисципліною;

перелік інформаційних джерел (основна й додаткова література, рекомендовані Інтернет-джерела);

сценарії для роботи з дисципліною з використанням МДНК (схеми педагогічного сценарію для користувачів з різним рівнем підготовленості);

тести для самоперевірки (тобто перевірки отриманих студентами знань і вмінь. Тестові запитання повинні бути різних типів і різного ступеня складності. Для повноти формування тестів запитання повинні бути не менше ніж п'яти типів: одиночний вибір, множинний вибір, відкриті запитання, запитання на співвідношення, запитання на упорядкування);

наукові й інженерні проблеми дисципліни за темами (перелік);

мікропроекти й галерея робіт (опис візуалізації);

завдання для самостійної роботи студентів (опис, вимоги до виконання, варіанти завдань тощо);

музей (опис візуалізації. Форма візуалізації 2d та/або 3d);

індивідуальне навчальне або навчально-дослідне завдання;

канал комунікації з кафедрою (через блог, сайт кафедри, сторінки кафедри в соціальних мережах тощо);

релаксаційний блок;

сховище власної інформації студента;

д) опис складу робіт за проектом МДНК і терміни їх реалізації (орієнтуючись на те, що до визначеного в категорії «Загальні відомості про МДНК» терміну закінчення розробки проекту він повинен бути повністю готовий і зданий замовникові). При цьому ведеться опис:

вхідна та вихідна інформація до кожного етапу;

назва етапів і їх причинно-наслідковий зв'язок;

терміни реалізації кожного етапу;

допущення та обмеження до кожного етапу;

ресурсний складник реалізації кожного етапу (професійна за виконавцями, інформаційна, матеріальна, програмна, фінансова тощо за відповідальними особами);

е) технологічну схему процесу розробки МДНК (у вигляді схеми наводяться всі технологічні операції, зазначаються виконавці, основне й альтернативне програмне забезпечення, яке може використовуватися для реалізації кожної технологічної операції, ресурси тощо);

ж) розрахунок вартості розробки МДНК (наводяться варіанти вартості з урахуванням варіативних елементів у технологічному ланцюжку) та прийняття рішення про доцільність здійснення процесу розробки за вищенаведеними вимогами й елементним складом. За потреби ведеться модифікація вимог, структури і складу МДНК. Усе узгоджується із замовником.

Наведена структура представлення інформації в ТЗ покладена в основу процесу розробки ТЗ на створення МДНК з навчальної дисципліни «Теорія кольору» [1, с. 15]. Цей МДНК (рисунок 2) є мережевим інтерактивним навчальним

Головна сторінка > Конспект лекцій > 3. Адитивні та субтрактивні системи > 3.1. Теоретичні основи організації систем цифрового представлення кольору

### 3. Адитивні та субтрактивні системи цифрового представлення кольору

#### 3.1. Теоретичні основи організації систем цифрового представлення кольору

*Основи адитивного та субтрактивного синтезу кольору*

На друкованому відтиску мають місце **два види змішання: адитивне** (рис. 3.1) (об'єднання різноколірних растрових точок, які розташовані поруч, оком спостерігача) і **субтрактивне** (рис. 3.2) (послідовне накладення растрових точок для різних фарб).

Рис. 3.1. Адитивний синтез кольору із застосуванням трьох основних випромінювань: червоного, зеленого та синього

Рис. 3. Приклад завантаження статті з навчального посібника з теорії кольору [16]

середовищем, орієнтованим на студентів очної та заочної форм навчання й викладачів. Основними завданнями цього МДНК є навчання студентів,

активізація інноваційного і творчого складників процесу навчання та контроль знань і вмінь, отриманих студентами 2-го курсу спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» за цією дисципліною.

Для реалізації різних способів навчально-пізнавальної діяльності в рамках МДНК здійснюється структурування навчального матеріалу за відповідними рівнями. Зазначеними рівнями пропонуються такі:

**1. Ілюстративно-описовий рівень** як базовий теоретичний складник навчальної дисципліни. Складники рівня: призначення та місце дисципліни; лекції за темами: «Основні поняття теорії кольору», «Гармонія колірних сполучень», «Адитивні та субтрактивні системи цифрового представлення кольору», «Графічні формати файлів», «Вимірювання та управління кольором у кольориметричних системах», «Комп'ютерне кольоровідтворення», «Друкарське кольоровідтворення»; глосарій, що містить визначення основних понять дисципліни; джерела, що містять основну й додаткову літературу, а також корисні Internet-джерела.

Приклад завантаження статті з навчального посібника наведено на рисунку 3.

**2. Репродуктивний рівень** як базовий практичний складник навчальної дисципліни. Складники рівня: лабораторний практикум; самоконтроль (у формі контрольних запитань за темами змістовних модулів дисципліни); завдання до іспиту.

Лабораторні роботи

### Лабораторна робота №1

#### Принципи організації найпростіших прийомів колірної корекції зображень

*Мета роботи:* одержання практичних навичок з організації процесів найпростішої колірної корекції зображень.

У результаті виконання лабораторної роботи студент повинен **знати:**

- основні принципи організації найпростішої колірної корекції зображень;
- особливості вибору опорних кольорів;
- основні способи керування яскравістю й контрастністю кольору;
- принципи спільної обробки шару та зображення;
- особливості організації пакетної обробки зображень;

**уміти:**

- виконувати найпростішу колірну корекцію зображень;
- використовувати опорні кольори;
- управляти яскравістю й контрастністю в процесі колірної корекції;
- працювати із шаром і зображенням;
- виконувати обробку в пакетному режимі.

Додатковий матеріал для виконання лабораторної роботи можна завантажити тут (ZIP-архів) (контрольна сума 3 006 464 байт)\*.

\* Контрольна сума вказується для порівняння розміру завантаженого файлу. З метою запобігання завантаження вірусів та небажаного ПЗ.

Детальніше

### 1.3.2. Практична частина

**Обов'язкова складова практичної частини**

**Формулювання завдання №1:** провести обробку зображення <вказати назву файла> основні використання опорного кольору для корекції кольору та яскравості.

Практична реалізація завдання виконується відповідно до послідовності дій, демонструються у вбудованому в систему мультимедійному прикладі №3.

Рис. 4. Приклад завантаження статті з лабораторною роботою та навчальним відеоуроком



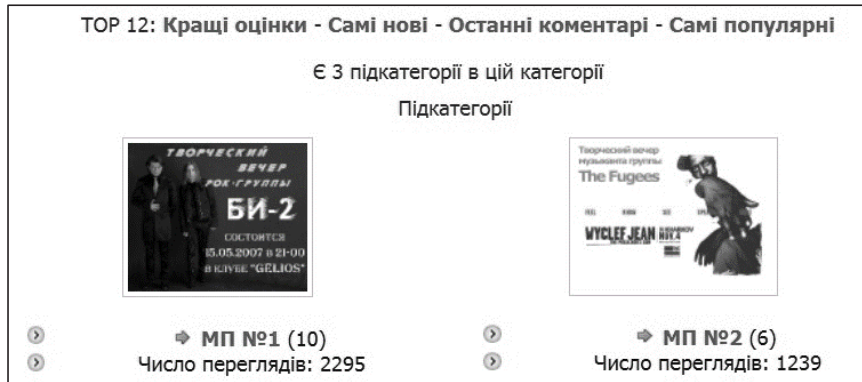


Рис. 5. Галерея творчих мікропроектів студентів



Рис. 6. Приклад ментальної карти рівня «Творчий»

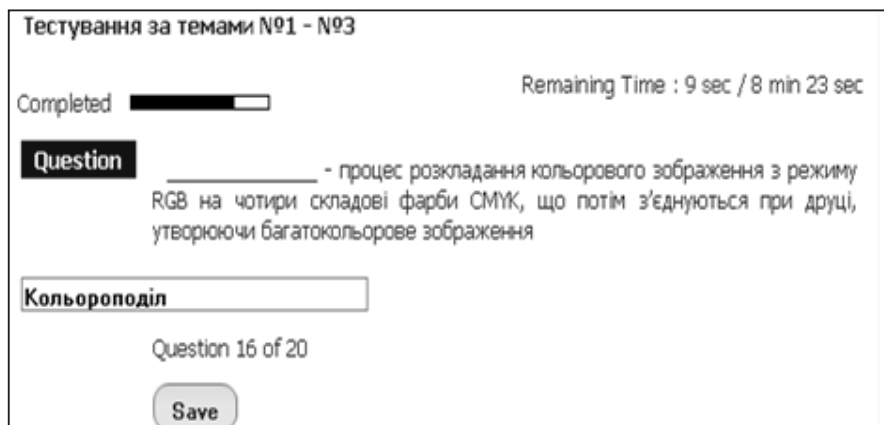


Рис. 7. Приклад запитання тесту, що належить до категорії «відкриті питання»

Приклад завантаження статті з лабораторною роботою та навчальним відеоуроком до неї наведено на рисунку 4.

**3. Творчий рівень** як базовий складник, що активізує розвиток креативного мислення студентів. Складники рівня: наукові та інженерні проблеми; приклади виконання робіт; індивідуально-дослідницьке завдання; теми рефератів.

Приклад галереї творчих мікропроектів студентів наведено на рисунку 5. Галерея містить результати виконання індивідуально-дослідницького завдання студентів.

Цей МДНК містить також загальні компоненти, до яких включено необхідне програмне забезпечення; робочий зошит; розділ «користувачі»; правила

користування; довідкову систему; ICQ2Go; ментальні карти й загальну карту навчального комплексу.

Для зручності переміщення комплексом на кожному рівні пропонуються відповідні ментальні карти. Приклад ментальної карти до рівня «Творчий» наведено на рисунку 6.

МДНК також забезпечує контроль рівня отриманих студентами знань за допомогою здійснення тестування за темами навчальної дисципліни «Теорія кольору» (рисунок 7, рисунок 8) та активізує процес взаємодії з викладачем у режимі реального часу за допомогою ICQ2go та внутрішньої системи повідомлень.

**Висновки.** Розкрито специфічні особливості, притаманні процесу структурної побудови

**Рис. 8. Приклад запитання тесту, що належить до категорії «питання на співвідношення»**

технічного завдання для розробки МДНК. Працездатність наведеної структури технічного завдання і змістового наповнення його категорій підтверджується практичною розробкою за такою структурою багатокомпонентного, повнофункціонального, інтерактивного МДНК з навчаль-

ної дисципліни «Теорія кольору», що забезпечує високий рівень розуміння й засвоєння студентами навчального матеріалу, активізує їх саморозвиток і сприяє підвищенню навчальної самоактивності.

Подальшим напрямом дослідження може стати розробка методичних засад створення МДНК.

#### Список літератури:

1. Контентний аналіз мультимедійного навчального комплексу «Теорія кольору». Інформаційні технології і засоби навчання. 2018. Том 63. № 1. С. 95–106.
2. Бондар І.О., Козлова А.В. Методика створення електронного ресурсу для сфери індустрії краси. ScientificJournal «ScienceRise». 2017. № 11 (40). С. 25–30.
3. Пушкар О.І., Бондар І.О., Балакірева С.О. Розробка методичних рекомендацій по врахуванню особливостей того, якого навчають, при проектуванні інтерфейсу електронного підручника. Проблеми інженерно-педагогічної освіти. 2006. № 14–15. С. 366–382.
4. Бондарь И.А. Мультимедийный дидактический комплекс по обучению информатике школьников с нарушением слуха. Problems of modern pedagogics in the context of international educational standards development: material digest of the XL International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in Pedagogical sciences. (London, January 31 – February 05, 2013). London: IASHE, 2013. P. 131–133.
5. Бондар І.О., Павленко Н.О. Методика створення мультимедійного навчального комплексу з інформатики для глухонімих. Системи обробки інформації. 2014. Вип. № 1 (117). С. 244–250.
6. Афанасьев М.В., Плоха О.Б. Экономика предприятия: электронный учебник / ХНЕУ ім. С. Кузнеця. Харків, 2014. 835 Мб. URL: [http://www.hneu.edu.ua/Interactive\\_tutorials](http://www.hneu.edu.ua/Interactive_tutorials) (дата звернення: 15.09.2018).
7. Кращий інноваційний проект з розвитку освіти: Мультимедійний навчальний комплекс за темою «Техніка малювання в стилі Anime». Перечень проектов-финалистов Международного конкурса «Харьковские инициативы» 2013 г. URL: <http://www.city.kharkov.ua/ru/news/nagorodzheni-finalisti-konkursu-investproektiv-harkivski-initsiativi-21032.html> (дата звернення: 17.09.2018).
8. Мультимедійне навчальне видання «Математика: многокутники». URL: <http://mst.nure.ua/index.php/news/118-multimedijnoe-uchebnoe-izdanie-matematika-mnogougolniki-dlya-shkoly-159> (дата звернення: 15.09.2018).
9. Бондар І.О., Грабова А.С. Специфіка здійснення процесу розробки мультимедійного видання «Графічний дизайн». Молодий вчений. 2017. № 9 (49). С. 437–445.
10. Грабова А.С. Елементарний склад мультимедійного навчального видання з графічного дизайну. Інформаційні технології в сучасному світі: дослідження молодих вчених: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів (9–10 лютого 2017 р.). Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. С. 200.
11. Мультимедійний дидактичний комплекс з дисципліни «Мультимедійне видавництво». URL: <http://www.mmv.mdk.ksue.edu.ua> (дата звернення: 15.09.2018).

12. Мультимедійний дидактичний комплекс з дисципліни «Основи композиції та дизайну». URL: <http://www.okd.mdk.ksue.edu.ua> (дата звернення: 18.09.2018).
13. Мультимедійний дидактичний комплекс з дисципліни «Типографіка». URL: <http://www.tpm.mdk.ksue.edu.ua> (дата звернення: 15.09.2018).
14. Мультимедійний дидактичний комплекс з дисципліни «Виробнича інформаційна система поліграфічного виробництва». URL: <http://www.tcz.mdk.ksue.edu.ua> (дата звернення: 15.09.2018).
15. Мультимедійний дидактичний комплекс з дисципліни «Теорія кольору». URL: <http://www.tkl.mdk.ksue.edu.ua> (дата звернення: 19.09.2018).
16. Бондар І.О. Теорія кольору: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.051501 «Видавничо-поліграфічна справа». Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016. 164 с.

#### **СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ЗАДАНИИ НА СОЗДАНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ДИДАКТИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

*В статье предложена структура представления информации в техническом задании для создания на его основе мультимедийных учебных дидактических комплексов. Структурирование информации базируется на определенных четырех категориях. Каждая из категорий разделена на соответствующие содержательно-информативные блоки информации. На основе предложенной структуры спроектирован интерфейс и реализована практическая разработка мультимедийного учебного комплекса по дисциплине «Теория цвета». Это подтверждает работоспособность приведенной структуры технического задания.*

**Ключевые слова:** мультимедийный дидактический учебный комплекс, учебная дисциплина, техническое задание, категории, блоки информации.

#### **INFORMATION PRESENTATION STRUCTURE IN THE TECHNICAL TASK FOR CREATING MULTIMEDIA DIDACTIC TRAINING COMPLEXES**

*The article proposes information presentation structure in the technical task for the creation of multimedia didactic training complexes on its basis. The information structuring is based on four defined categories. Each category is divided into relevant content-informative blocks of information. On proposed structure was designed interface and developed multimedia training complex "Color theory". This confirms the performance of the given technical task structure.*

**Key words:** multimedia didactic training complex, educational discipline, technical task, categories, information blocks.

*Юськів А.С.*

Одеський національний політехнічний університет

## РОЗРОБКА В SCADA-СИСТЕМІ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ВВЕДЕННЯ В ЦЕМЕНТНУ ПІЧ ДОДАТКОВОГО ПАЛИВА, ВИРОБЛЕНОГО З ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

*У статті розглядається питання створення програмного забезпечення системи управління частковою заміною природного газу на тверде відновлювальне паливо, отримане із побутових відходів. Для спостереження і своєчасної корекції відхилень технологічного процесу на рівні АСУ ТП ефективно використовується SCADA-система.*

**Ключові слова:** обертана піч, клінкер, людино-машинний інтерфейс, імітаційна модель, SCADA-система Trace Mode.

**Постановка проблеми.** Оскільки цементна промисловість потребує великої кількості палива, питома вартість газу в собівартості клінкеру становить зазвичай 60–70% [1]. Щоб здешевити виробництво клінкеру, потрібно модернізувати цементні заводи. Це можливо за допомогою використання альтернативних видів палива, таке паливо існує і давно використовується Європою, SRF (solid recovered fuel) – тверде відновлювальне паливо, отримане із твердих відходів.

Але з точки зору керування цементні печі, які використовують додаткові види палива, є дуже складними технологічними об'єктами, тому що потрібно дотримуватись загальноприйнятого температурного режиму в печі для отримання клінкеру потрібної якості. Усе це неможливе без використання сучасних технологічних і програмних засобів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні з розвитком обчислювальних засобів та використання інформаційних технологій виходять на новий рівень методи вирішення задач автоматичного управління цементною піччю. Проте для створення ефективної і надійної системи диспетчерського управління і збору інформації про технологічний об'єкт, розробки зручного людино-машинного інтерфейсу (HMI – Human-Machine Interface) потрібне спеціалізоване програмне забезпечення. Для вирішення задач створення надійної системи диспетчерського управління одним із найпростіших варіантів є створення систем керування на базі SCADA-систем. Так, у статті [2] розглядається досвід комплексної автоматизації виробництва цементу у ТОВ НВП «Цемент – Нові технології», в якій детально описаний процес виробництва і проілюстровані основні мнемосхеми системи, створені за допомогою

SCADA-системи Trace Mode 6. Проте в цій роботі не порушується питання щодо використання альтернативних джерел палива, що дало б змогу значно економити на виробництві цементу.

**Формулювання цілей статті.** Викладене вище зумовило необхідність розробки програмного комплексу на базі SCADA-систем для лінії автоматичного управління співвідношенням «тверде паливо – газове паливо».

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Ускладнення технологічних процесів і виробництв ставить задачі створення розподілених ієрархічних автоматизованих систем, такі системи нагадують піраміду і в основі охоплюють весь цикл роботи підприємства від системи керування нижнього рівня до систем керування підприємством загалом.

Важливим складником такої системи є автоматизована система управління технологічними процесами (АСУ ТП), яка являє собою людино-машинну систему, яка забезпечує збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації керування технологічним об'єктом.

Залежно від складності об'єкта керування архітектура АСУ ТП може складатись з двох, трьох рівнів керування. Структурна схема системи керування показана на рисунку 1. Система керування складається з трьох рівнів.

Верхній рівень – диспетчерський рівень являє собою автоматизоване робоче місце диспетчера (оператора), технолога. На цьому рівні оператор у режимі реального часу спостерігає за технологічним процесом за допомогою мнемосхем і у разі необхідності оперативно керує технологічним процесом. На диспетчерському рівні знаходиться ПК з SCADA-системою TRACE MODE. Під керуванням ПК оператора працює промисловий

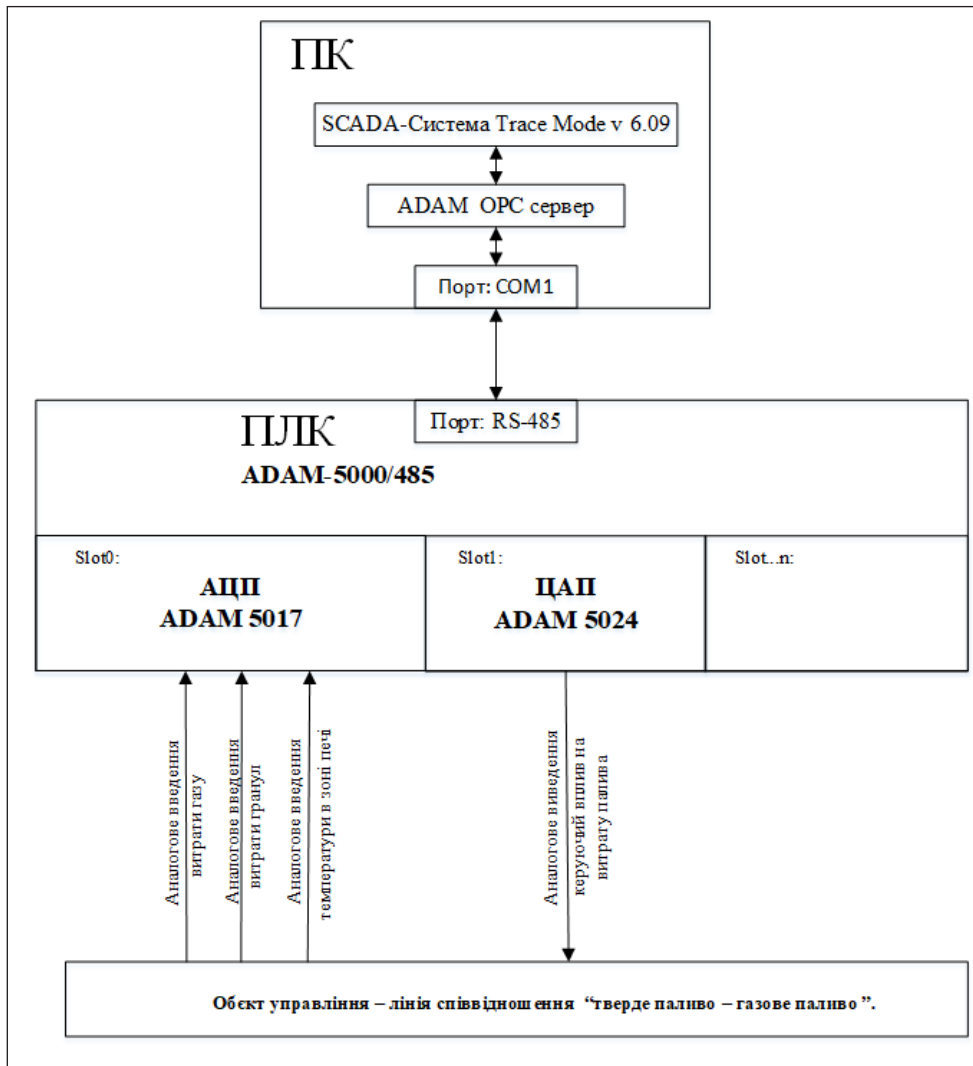


Рис. 1. Структурна схема АСУ ТП співвідношення «газ – гранули»

програмує контроль ADAM 5000. Контролер керує роботою модулів цифроаналогового введення/виведення, до яких підключені вимірювальні прилади (пірометри, термопари, витратоміри) і виконавчі механізми (пневматичні клапани, дозатори).

Сучасні SCADA-системи підтримують ефективну експлуатацію диспетчерських систем диспетчерського управління як у ручному, так і в автоматичному режимі і забезпечують можливість оперативної модернізації наявних автоматизованих систем [3].

Ще однією перевагою SCADA-системи є можливість перевірки розробленої системи керування у віртуальному режимі для виявлення помилок або можливих недоробок проекту. Що в подальшому на етапі впровадження і експлуатації на реальному об'єкті знизить ризик виходу з ладу реальних фізичних елементів системи управління.

Ця робота присвячена розробці імітаційної моделі (графічного інтерфейсу оператора) АСУ ТП введенням у цементну піч додаткового палива, виробленого з побутових відходів, у програмному комплексі TRACE MODE.

Розробка людино-машинного інтерфейсу реалізується шляхом створення інтерактивних екранів. На екранах відображається:

1. Схема технологічного процесу із значеннями параметрів технологічного процесу;
2. Екрани регулювання ТП;
3. Екран журнал аварій і попереджень.

Спочатку розглянемо, що являє собою технологічний об'єкт управління.

Обертюва піч 4,5×80 м (трубчаста піч, барабанна піч, рисунок 2) циліндричної форми з обертювим рухом навколо поздовжньої осі призначена для нагріву сипучих матеріалів з метою їх фізико-хімічної обробки.

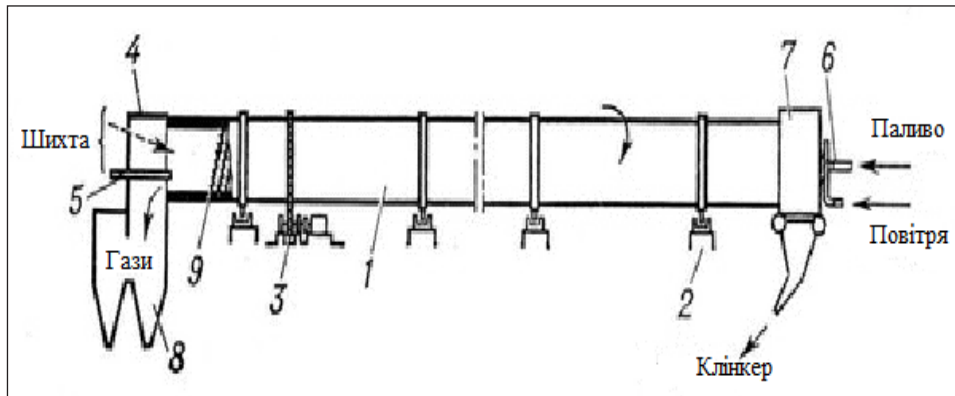


Рис. 2. Будова обертової печі

Металевий барабан 1, футерований вогнетривкою цеглою, встановлюють під невеликим кутом до горизонту на опорні ролики 2. У низці випадків діаметр барабана роблять змінним за довжиною. Барабан приводить в обертання (4-5 об/хв) електродвигун через редуктор і відкриту зубчасту передачу 3. Шихту завантажують з боку головки 4. Суху шихту подають механічними живильниками, а шихту у вигляді пульпи – наливом або через форсунки 5. Паливо (10–30% від маси шихти) вводять через пальники (форсунки) 6, поміщені в гарячій голівці 7. Тут же вивантажують готовий продукт, що направляється в холодильник.

Гази очищають від пилу у системі 8. Для поліпшення умов теплопередачі вбудовують різні теплообмінні пристрої 9 – перегрівальні лопаті, полки, ланцюгові завіси [1].

Призначення системи автоматичного регулювання полягає в забезпеченні стабілізації якості випалу, а саме підтримки певної температури в різних зонах печі. Обов'язковою умовою нормальної роботи системи є стабілізація вхідних параметрів – забезпечення печі необхідною кількістю палива.

На практиці характеристики температурного режиму обертової печі умовно розділяють на такі зони: зона кальцинування, зона спікання (плавильна зона), зона охолодження.

У зоні кальцинування, що займає близько 20% довжини печі, температура піднімається до 1100°C, завершується процес розкладання карбонатів. Температура матеріалу в цій зоні зберігається в певних межах, причому матеріал надходить у неї підготовленим, потрібна лише незначна зміна подачі палива, щоб одержати необхідну якість випалу клінкеру.

Зона спікання є основною зоною печі – у ній відбувається завершення процесу клінкероутворення. Температуру в зоні спікання регулюють

за допомогою регулятора із жорстким зворотним зв'язком, що забезпечує підтримку заданого співвідношення між показами радіаційного пірометра й витратою палива, тут матеріал починає плавитися, формується аліт в інтервалі температур 1450–1300°C протягом 10–25 хв.

Якщо температура матеріалу в зоні кальцинування виявиться нижчою за встановлену норму, то регулятор температури в зоні спікання не може зменшити подачу палива в піч доти, поки температура в зоні кальцинування не ввійде в норму.

Далі клінкер охолоджується в зоні охолодження, де температура падає до 400°C, відбувається кристалізація аліта й інших клінкерних мінералів [1].

Принцип розробки проектів у SCADA-системі TRACE MODE полягає в створенні віртуальних органів управління і контролю (щитів, пультів операторів, віртуальних регуляторів). Використовуючи цей принцип, усі датчики і виконавчі механізми розглянутого процесу були підключені до віртуального контролера, який здійснює керування по команді, отриманій від панелі управління [4].

Для розробки моделі системи управління співвідношенням «газ–гранули» був використаний «Редактор проектів». У ньому створений вузол RTM\_1, відповідний комп'ютеру оператора (АРМ), який здійснює відображення на екрані мнемосхем технологічного процесу і збереження в особливих документах хід реального процесу, даючи змогу оператору контролювати процес і керувати ним.

Для спостереження за зміною процесу регулювання в реальному часі було створено 3 екранні форми: мнемосхема, регулювання і журнал аварій і попереджень.

На екрані мнемосхеми (рисунок 3) за допомогою графічних об'єктів, збережених у ресурсних

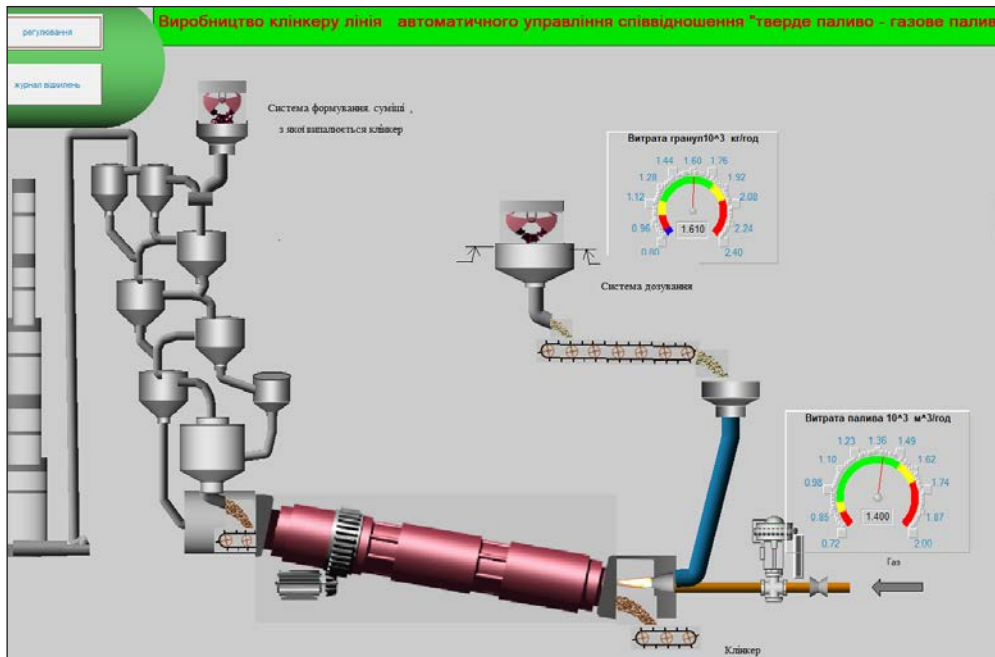


Рис. 3. Мнемосхема об'єкта автоматизації

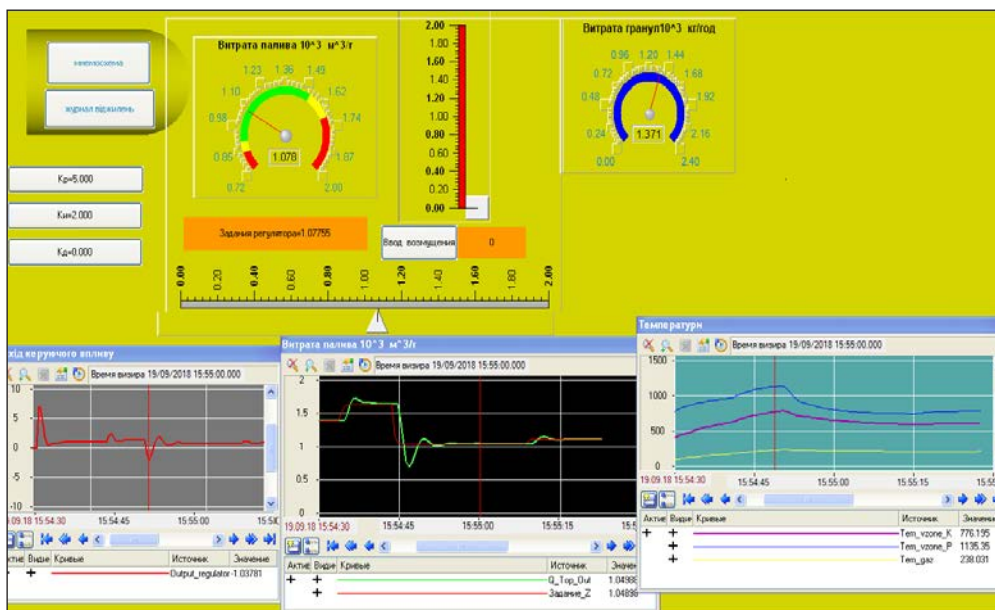


Рис. 4. Екранна форма Регулювання

бібліотеках, була створена анімація об'єкта управління. Два стрілочні прилади, які відповідають датчикам, що показують витрату газу і гранул, а також кнопки навігації, які дають змогу оператору здійснювати перехід між екранними формами.

На екранній формі Регулювання, яка показана на рисунку 4, зображуються тренди зміни температур у зонах печі, вихідний керуючий вплив на регулятор і витрата палива, а також інтерфейс, що дає змогу, крім здійснення навігації кнопками, ще

змінювати в реальному часі настройки регулятора палива, вводючи коефіцієнт посилення – пропорційний, інтегруючий і диференційний Кр, Ки, Кд, а також задавати збурення і завдання на регулятор палива.

Екранна форма журналу аварій і попереджень (рисунок 5) являє собою звіт тривоги щодо витрати палива. Звіт тривоги (ЗТ) – це текстовий файл (ASCII), у який заносяться повідомлення, генеровані в різних ситуаціях у роботі АСУ.

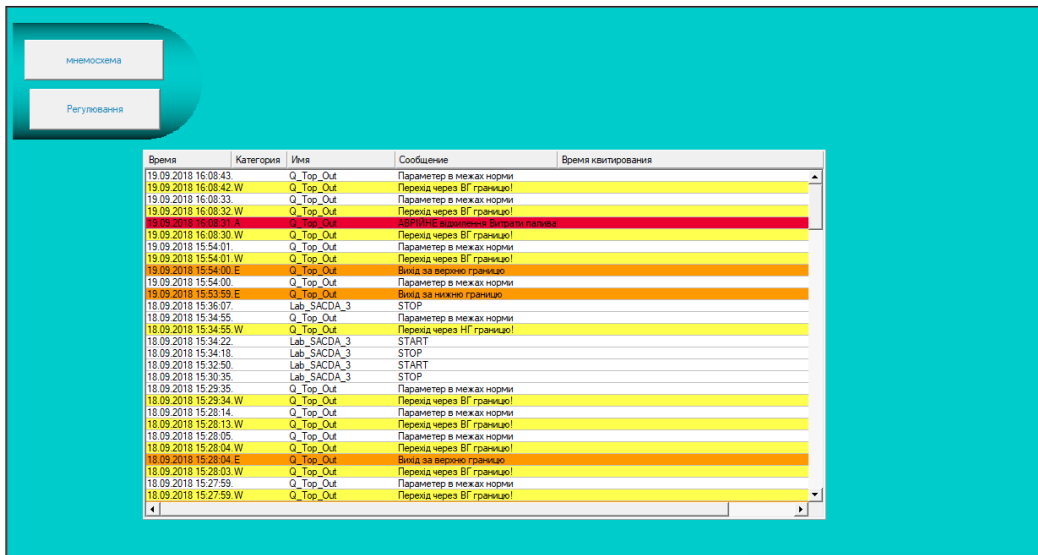


Рис. 5. Екранна форма Журнал аварій і попереджень

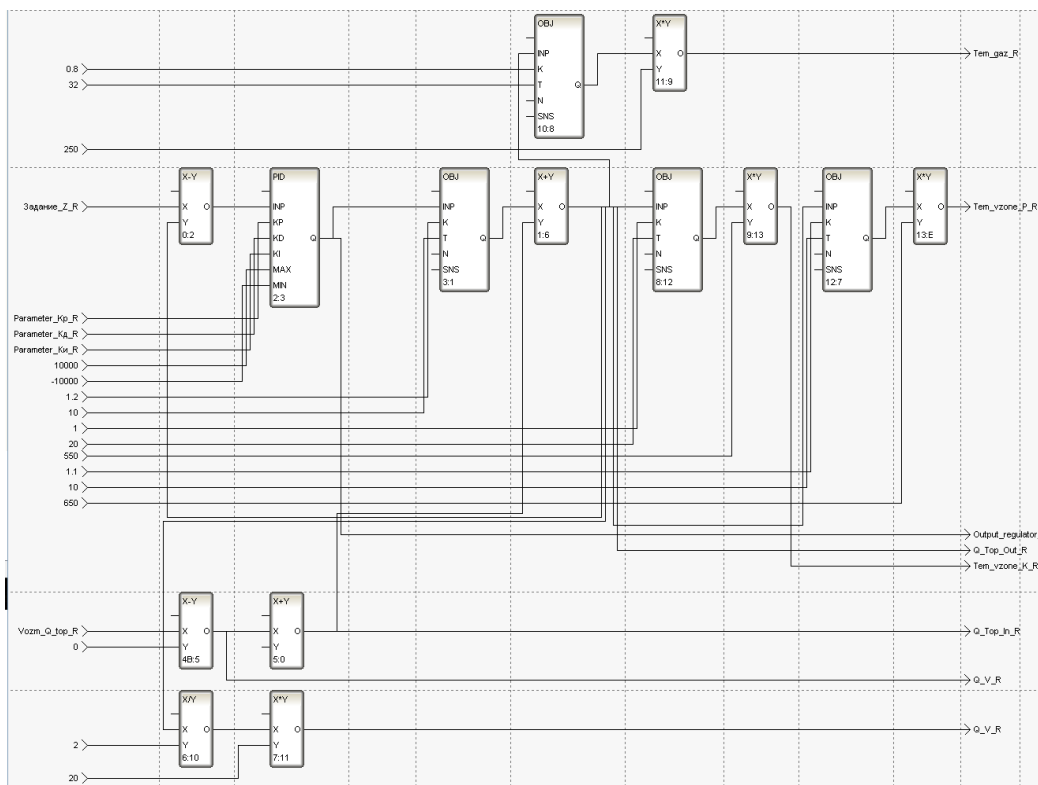


Рис. 6. Імітатор об'єкта на мові програмування FBD

З метою імітації роботи системи в проекті була створена імітаційна модель на мові програмування стандарту MEK 6-1131 / 3 техно – FBD.

У верхній частині (рисунок 6) блок OBJ 10:8, а також блоки 8:12 і 12:7 (інерційні ланки першого порядку) являють собою блоки, які імітують процес нагріву в зонах трубчастої печі.

Збурюючий вплив по паливу складається із блока 3:1. Вихідні змінні обох об'єктів під-

сумовуються в блоці X+Y й утворюють сигнал стосовно витрати «газ – гранули», що показано у нижній лівій частині рисунка. ПІД-регулятор процесу подачі палива реалізований у блоці 2:3.

Блоки також можуть мати сигнальні входи. На сигнальні входи подаються сигнали від попередніх за схемою блоків або від повзункових приладів. Вихідні сигнали подаються на наступні за



схемою блоки або виводяться на тренди екранів регулювання.

Використані в управлінні настройки регуляторів знаходяться за методами теорії автоматичного управління в інженерних розрахунках.

**Висновки.** Розроблена структурна схема АСУ ТП співвідношення «газ–гранули» на контролерах АДАМ 5000, а також створено програмне забез-

печення системи управління частковою заміною природного газу на тверде відновлювальне паливо, отримане із побутових відходів. Це програмне забезпечення створювалось у програмному комплексі SCADA Trace Mode, що дасть змогу оператору вести спостереження за допомогою зручних екранних форм і своєчасно вводити корективи відхилень технологічного процесу на рівні АСУ ТП.

#### Список літератури:

1. Дуда В. Цемент. Электрооборудование, автоматизация, хранение, транспортирование. / Сокр. пер. с англ. Р.Д. Айтмуратова.; под ред. Б.Э. Юдовича, И.А. Прозорова. Москва, 1987. 464 с.
2. Вихованко С.В, Вихованко В.С, Половінкіна Г.В «Цемент – Нові технології». Вісник ИСУП . 2009. № 2(22).
3. Блинов И.В. Системы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA-системы). Мир компьютерной автоматизации. ДонНТУ, 1999. № 3. 42–59 с.
4. Лопатин А.Г. Методика разработки систем управления на базе SCADA-система Trace Mode / А.Г. Лопатин, П.А. Киреев. Новомосковск: РХТУ, 2007.112 с.

#### **РАЗРАБОТКА В SCADA-СИСТЕМЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ВВЕДЕНИЯ В ЦЕМЕНТНУЮ ПЕЧЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ТОПЛИВА, ПРОИЗВОДИМОГО ИЗ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ**

*В статье рассматривается вопрос создания программного обеспечения системы управления частичной заменой природного газа на твердое восстановительное топливо, полученное из бытовых отходов. Для наблюдения и своевременной коррекции отклонений технологического процесса на уровне АСУ ТП эффективно используется SCADA-система.*

**Ключевые слова:** *вращающаяся печь, клинкер, человек-машинный интерфейс, имитационная модель, SCADA-система Trace Mode.*

#### **DEVELOPMENT IN THE SCADA-SYSTEM OF IMITATION MODEL INTRODUCTION TO CEMENT FURNACE OF ADDITIONAL FUEL PRODUCED FROM DOMESTIC WASTE**

*The article deals with the problem of creating a software for managing the partial replacement of natural gas from solid renewable fuels derived from household waste. SCADA-systems are effectively used for monitoring and timely correction of technological process deviations at the level of control systems.*

**Key words:** *rotary kiln, clinker, human-machine interface, simulation model, SCADA-system Trace Mode.*

## ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.039.58

**Азаров С.І.**

Інститут ядерних досліджень НАН України

**Сидоренко В.Л.**

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту

**Задунай О.С.**

Державний науково-дослідний інститут спеціального зв'язку та захисту інформації

### ОЦІНКА ТЕПЛОФІЗИЧНОЇ БЕЗПЕКИ БАСЕЙНУ ВИТРИМКИ СВЯП-1

*Розглянуто питання теплофізичної безпеки басейну витримки в процесі розвитку запроектої аварії в сховищі відпрацьованого ядерного палива. Методом чисельного моделювання на основі рішень рівнянь тепломасопереносу і рівняння теплового балансу виконаний розрахунок теплового стану басейну зберігання відпрацьованого ядерного палива в аварійній ситуації, викликаний раптовим припиненням циркуляції води через басейн (на прикладі СВЯП-1).*

**Ключові слова:** басейн витримки, відпрацьоване ядерне паливо, СВЯП, сценарій, аварія, теплови-ділення.

**Постановка проблеми.** На Чорнобильській АЕС ефективно функціонує комплекс «мокрого» зберігання відпрацьованого ядерного палива (СВЯП-1) для реакторних установок РВПК-1000. У світлі «післяфукусімських» подій завдання підвищення безпеки експлуатації басейнів витримки (далі – БВ) відпрацьованого ядерного палива (далі – ВЯП) є пріоритетним напрямом діяльності ДСП ЧАЕС. БВ повинен відповідати сучасним вимогам нормативних документів із безпеки як за нормальних умов експлуатації, так і під час аварійних ситуацій.

До цих вимог належить забезпечення [1; 2]:

- 1) ядерної безпеки;
- 2) прийнятної потужності дози іонізуючого випромінювання на поверхні БВ і біля нього;
- 3) допустимої температури оболонок ТВЕЛів;
- 4) герметичності БВ і цілісності його вмісту за статичних і динамічних навантагах.

Експлуатація БВ пов'язана з можливістю виникнення аварійної ситуації. Причинами аварії може бути:

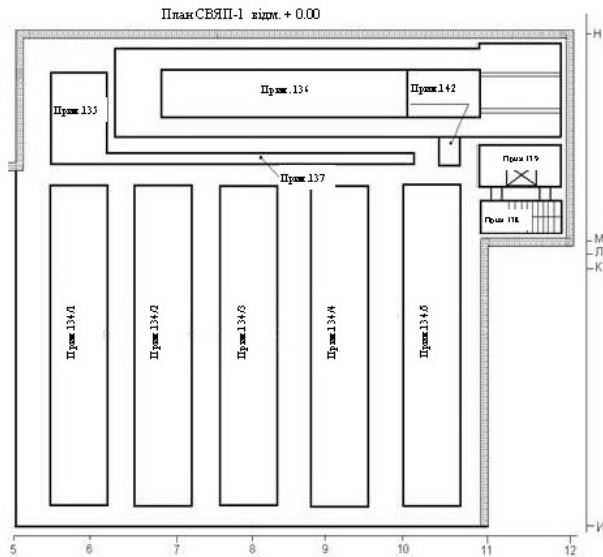
- зношення і вироблення встановленого ресурсу обладнання;
- корозійні пошкодження;
- порушення вимог експлуатації;
- помилкові дії персоналу;
- зовнішні впливи природного і техногенного походження.

Зазначені причини можуть призвести до аварійної ситуації з виникненням протікання через металеве облицювання днища БВ, випаровуванню води аж до повного осушення, розігріву і розплавлення ВЯП і, як наслідок, до тяжких радіаційних наслідків. У цьому разі гостро постає питання обґрунтування сценарію розвитку аварії й забезпечення безпеки БВ на всіх етапах перебігу аварії.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аварія на японській АЕС «Фукусіма» виявила, що під час розгляду можливих сценаріїв розвитку запроектої аварії у СВЯП необхідна оцінка малоймовірних подій, аналіз і оцінка теплофізичної безпеки БВ під час розвитку аварії [3]. У результаті розвитку такого сценарію за короткий час може відбутися осушення БВ ВЯП. Над проблемою дослідження безпеки СВЯП, розташованих на території атомних станцій, працюють багато вітчизняних і закордонних спеціалістів та науковців. Різні аспекти та окремі підходи до дослідження цієї проблеми висвітлено у численних працях (наприклад, [4]), але через те, що цей процес є безперервним, постійним і надзвичайно актуальним, то дослідження тривають.

*Стислий опис сховища ВЯП.* СВЯП є технічно складним небезпечним об'єктом [5]. У ньому зосереджено обладнання різного призначення та номенклатури. Сховище складається з 5-ти басейнів

виримки: 4-х робочих і 1-го резервного (рис. 1). Зберігання відпрацьованих збірок передбачено поштучно в спеціальних трубчастих пеналах, залитих водою, з розстановкою пеналів у басейні з кроком  $23 \times 11$  см.



**Рис. 1. Комплекс «мокрого» зберігання ВЯП СВЯП-1**

У відділенні БВ розміщено чотири відсіки, що розраховані на зберігання 4380 відпрацьованих тепловиділяючих збірок (далі – ВТВЗ) кожен, один резервний відсік, призначений для експлуатації на час ремонту одного з чотирьох робочих відсіків, зала БВ. Кожний відсік БВ – приміщення, що має такі основні характеристики: довжина – 26 600 мм; ширина – 5 600 мм; глибина – 11 300 мм; об'єм води –  $1\,600\text{ м}^3$ ; об'єм надводного простору –  $90\text{ м}^3$ .

Проектна ємність СВЯП-1 складає 17 520 ВТВЗ. Відповідно до проекту, нормальне зберігання ВТВЗ передбачено здійснювати поштучно в одномісних пеналах, виконаних із труб діаметром 102 мм та товщиною стінки 2 мм, заповнених водою, з розташуванням пеналів у басейні з кроком  $250 \times 160$  мм у відсіках 1–4. У цьому разі пенал ізольований від води БВ, тобто змішування вод не передбачено.

Хіміко-технологічна частина СВЯП-1 складається з таких основних систем: охолодження води БВ; підпитка води БВ; збору та повернення течі води БВ; очищення води БВ; збору та видалення рідких радіоактивних відходів (РАВ).

Крім основних технологічних систем, до складу СВЯП-1 входять допоміжні системи: тепло- та водопостачання; каналізації; опалення

та вентиляції; електропостачання; контрольно-вимірювальних приладів (далі – КВП) та автоматики; збору низькоактивних та рідких РАВ.

ВЯП зберігають під захисним шаром води (3,0 м над активною частиною ВТВЗ). Зберігання ВЯП здійснюється в заповнених водою пеналах у вертикальному положенні, охолодження яких проводиться водою БВ [6]. Вода слугує для відводу залишкових тепловиділень ВТВЗ та циркулює через систему охолодження і пов'язану з нею систему очищення води БВ. Для підтримки заданого рівня води передбачено підживлення. Кожен БВ оснащений технологічним і підйомно-транспортним устаткуванням для прийому, зберігання і вивантаження палива.

Будівельні конструкції басейну виконано у вигляді прямокутної залізобетонної конструкції з металевим. Вони забезпечують утримання активних продуктів поділу, а також ослаблення іонізуючих випромінювань під час зберігання палива.

Конструктивно відсіки БВ є залізобетонною ємністю, стіни і днище якої облицьовані корозійностійкої сталлю. Облицьовання днища наварено на заставні. Облицьовання стін вільно навішене з приварюванням до раніше встановлених залізобетонних плит. Відсіки БВ мають щільне перекриття, що є кронштейнами консольного типу без підкосів для розвішування ВЯП в пеналах. Зверху щільне перекриття закривається відкидними металевими кришками, призначеними для захисту БВ від потрапляння сторонніх предметів і поліпшення відведення випарів у систему вентиляції. Секція БВ до позначки 11.35 м виконана з гідротехнічного бетону марки М300 і В-8. Уздовж цифрових осей товщина стін становить: внутрішні – 125 см, зовнішні – 150 см. Вище позначки 11.35 м застосовано звичайний бетон марки М300. Для забезпечення безпеки під час експлуатації СВЯП-1 стіни і днище сховища виконано з нержавіючої сталі 12Х21Н5Т для стін товщиною 4 мм, для днища – 8 мм. Для збору можливих протікань на бетонній основі виконано канавки, що забезпечують збір вологи з-під облицьовання. Канавки закінчуються контрольними трубами діаметром 76 мм, виведеними в приміщення збору і контролю протікань БВ.

У нормальних умовах експлуатації СВЯП вихід радіоактивних продуктів у навколишнє середовище вищевстановлених норм виключається. Устаткування і захисні споруди СВЯП-1 розраховано на можливість експлуатації в межах проектних значень внутрішніх і зовнішніх впливів. У межах цих значень зберігається цілісність всіх захисних бар'єрів:

контейнерів, чохлів, трубопроводів, басейнів, будівель тощо. Пошкодження або руйнування бар'єрів можливо лише в разі перевищення проектних значень внутрішніх і зовнішніх впливів.

**Постановка завдання.** Основною метою забезпечення безпеки СВЯП-1 є запобігання неконтрольованого розвитку ядерних реакцій і поширення радіації.

**Метою роботи** є розрахункове дослідження течі через металеве облицювання днища й оцінка теплофізичної безпеки БВ під час розвитку аварії.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вихідною подією розглянутої аварії є утворення течі через металеве облицювання днища БВ. Під час аналізу цієї аварії розглядався сценарій із трьома різними протіканнями води через облицювання БВ [7]:

- 1) мала теча теплоносія – 10 м<sup>3</sup>/год;
- 2) середня теча теплоносія – 50 м<sup>3</sup>/год;
- 3) велика теча теплоносія – 100 м<sup>3</sup>/год.

Розрахункова модель БВ – елементарний віссиметричний сегмент СВЯП, що містить всі елементи, які беруть участь у теплообміні: тепловидільні елементи, пенали, вода пеналів і басейну, торцеве і бічне огороження басейну та ін.

У моделі всі вертикальні розміри, розміри пеналу і його вмісту збережено натурними, а міжпенальний простір змодельований простішим для розгляду, але подібним до конвективної теплопередачі кільцевим каналом.

На момент початку аварії рівень води в БВ відповідав рівню води під час перевантаження і зберігання палива (11,3 м від підлоги БВ), температура води приймалася рівною 40°C.

На початковому етапі сценарію розвитку аварії (через кілька годин після припинення циркуляції теплоносія) тепловий стан БВ мав такі особливості:

- унаслідок перемішування за рахунок дії вільної конвекції за досить малої густини теплового потоку на поверхні ВЯП вода мала практично однакову температуру по всьому обсягу;
- темп розігріву води становив 0,45°C/год;
- густина теплового потоку – 5 Вт/м<sup>2</sup> між настилом і ВЯП.

У розрахунках фізичні властивості пароповітряної суміші залежали від температури і відносної вологості, фізичні властивості води і твердих середовищ було прийнято постійними.

Для розрахунку теплових параметрів СВЯП-1 був обраний метод інтегрального теплового балансу, диференціальне рівняння якого в цьому разі має вигляд [8]:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{q_{ВЯП} - q_{КОНВ} - q_{ВИП} - q_{БЕТ}}{C_{БАС}}, \quad (1)$$

де  $T$  – середня за обсягом СВЯП-1 температура води;  $t$  – час;  $C_{БАС}$  – повна теплоємність басейну з ВЯП;  $q_{ВЯП}$  – повна потужність залишкового тепло-виділення ВЯП;  $q_{КОНВ}$  – конвекційний потік тепла з поверхні випаровування;  $q_{ВИП}$  – потужність, що витрачається на випаровування води з басейну;  $q_{БЕТ}$  – тепла потужність, що витрачається на нагрів бетонних огорож басейну і теплопередачу до навколишнього повітря.

Зміну маси води в басейні виразимо так:

$$\frac{dM}{d\tau} = -K(t)S_{ВИП}, \quad (2)$$

тут  $M$  – маса води в басейні,  $K(t)$  – масовий потік пари з одиниці поверхні випаровування;  $S_{ВИП}$  – площа поверхні випаровування.

Питомий потік випаровування дорівнює:

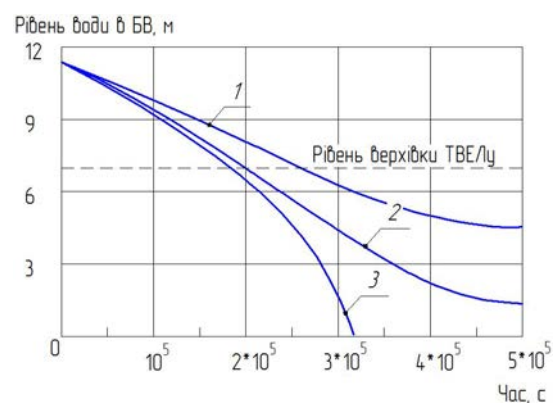
$$K(t) = \beta_M (\rho_{П} - \rho_{ПВВ}), \quad (3)$$

де  $\beta_M$  – коефіцієнт масовіддачі;  $\rho_{П}$  – густина водяної пари поблизу поверхні випаровування (дорівнює густині насичення за температури води);  $\rho_{ПВВ}$  – густина водяної пари в повітрі приміщення.

Сумарна маса води, що випарувалася з басейну за час  $t$ , є результатом інтегрування:

$$m_{ВИП}(t) = \int_0^t K(\tau)S_{ВИП}d\tau. \quad (4)$$

Рівняння (1) і (4) були вирішені чисельно методом кінцевих різниць. Результати розрахунків зміни рівня води в БВ для трьох теч теплоносія наведено на рис. 2



**Рис. 2. Зміна рівня води в БВ:**  
1 – 10 м<sup>3</sup>/год; 2 – 50 м<sup>3</sup>/год; 3 – 100 м<sup>3</sup>/год

У дослідженому діапазоні  $q_{ВЯП}=200-500$  кВт/відсік час досягнення сталого теплового режиму склав в умовах великої течі теплоносія від 36 до 40 діб, а максимальна температура води в БВ перевищила температуру кипіння (рис. 3).

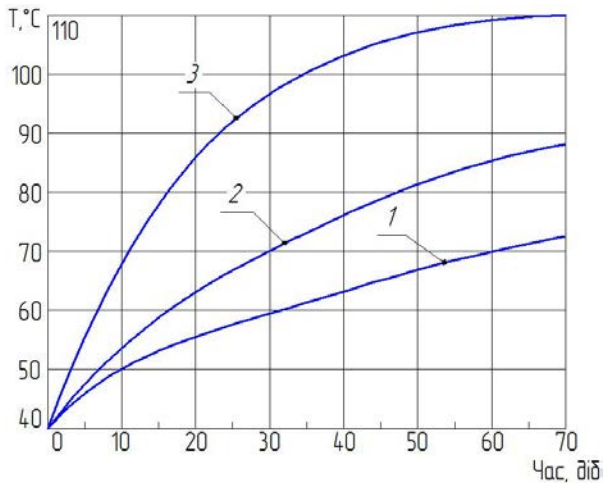


Рис. 3. Залежність температури води у відсіку басейну СВЯП-1 від часу: 1 – 10 м³/год; 2 – 50 м³/год; 3 – 100 м³/год

Час виходу аварійного відсіку СВЯП-1 на квазі-стаціонарний тепловий режим і температура води в такому режимі будуть залежати від сумарної

потужності залишкових тепловиділень ВЯП. Темп зростання середньо-об'ємної температури води в басейні на початковому етапі розвитку аварії склав 0,6 °C/год. Розрахунковий час повного випаровування води з басейну –  $\geq 32$  днів. У разі відсутності води в БВ температура оболонок ТВЕЛ (природне повітряне охолодження) перевищить 300 °C через 40 днів у центральній частині БВ.

**Висновки.** Запропонованим методом чисельного моделювання на основі рішень рівнянь тепломасопереносу і рівняння теплового балансу виконаний розрахунок теплового стану басейну зберігання ВЯП в аварійній ситуації, викликаній раптовим припиненням циркуляції води через БВ (на прикладі СВЯП-1). У разі виникнення аварійної ситуації з утворенням течії теплоносія через металеве облицювання днища необхідно передбачити, щоб система аварійного подання води в БВ працювала безперервно не менше 10 днів. Виходячи з розрахункового темпу випаровування води з відсіку БВ і кількості відсіків, слід рекомендувати запас води в гідроакумуляторі близько 1 000 т.

#### Список літератури:

1. Оценка безопасности установок хранения отработанного топлива. Серия изданий МАГАТЭ по безопасности. № 118. МАГАТЭ, Вена, 1994.
2. РД 306.8.02/2.067-2003 «Рекомендації щодо структури та змісту звіту з аналізу безпеки сховищ відпрацьованого ядерного палива». Київ, 2003.
3. Fukasawa M. Overview of Fukushima-Accident Analysis. Proc. 2012 SARNET International Meeting (SARNET 2012), Cologne, Germany, March 21–23, 2012.
4. Коцуба О.Л., Воробйов Ю.Ю., Жабін О.І., Гуменюк Д.В. Аналіз важких аварій у басейні витримки відпрацьованого ядерного палива АЕС «Фукусіма-Даїчі». Ядерна та радіаційна безпека. 2016. № 4(72). С. 13–20.
5. Чернобыльская АЭС, III очередь. Хранилище отработанного ядерного топлива (ХОЯТ), I очередь. Рабочий проект. Сборно-монолитный вариант. Общая пояснительная записка. Раздел «А». 1983. 672 с.
6. Ключников А.А., Пазухин Э.М., Шигера Ю.М., Шигера В.Ю. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними. Киев: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. 487 с.
7. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Комплексний аналіз техногенної безпеки СВЯП-1 на ЧАЕС. Запобігання надзвичайним ситуаціям і їх ліквідація: матер. наук.-практ. сем. НУЦЗУ. (7 лютого 2018 р.). Харків: НУЦЗУ, 2018. С. 6–8.
8. Азаров С.І., Сидоренко В.Л., Задунай О.С. Моделювання процесу тепломасообміну в сховищі відпрацьованого ядерного палива. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. Том 29(68). № 3, 2018. Частина 2. С. 56–60.

#### ОЦЕНКА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БАСЕЙНА ВЫДЕРЖКИ ХОЯТ-1

*Рассмотрен вопрос теплофизической безопасности бассейна выдержки в процессе развития запроектной аварии в хранилище отработанного ядерного топлива. Методом численного моделирования на основе решений уравнений тепломассопереноса и уравнения теплового баланса выполнен расчет теплового состояния бассейна хранения отработанного ядерного топлива в аварийной ситуации, вызванной внезапным прекращением циркуляции воды через бассейн (на примере ХОЯТ-1).*

**Ключевые слова:** бассейн выдержки, отработанное ядерное топливо, ХОЯТ, сценарий, авария, тепловыделение.

#### ASSESSMENT OF THERMOPHYSICAL SECURITY OF THE POOL EXCERPTS SSNF-1

*The question of thermophysical safety of pool of self-control is considered in the process of development of severe accident in the depository of exhaust nuclear fuel. The method of numeral design on the basis of decisions of equalizations of heat and mass transfer and equalizations of thermal balance is executing the calculation of the thermal state of pool of storage of exhaust nuclear fuel in an emergency situation, circulation of water through a pool (on the example of SSNF-1) caused by the sudden stopping.*

**Key words:** pool excerpts, spent nuclear fuel, SSNF, screenplay, accident, heat release.

УДК 621.311.1

**Бойко С.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Шмельов Ю.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Бондарець О.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

**Борисенко О.М.**

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

## **ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ В УМОВАХ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ- ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

*Метою роботи є аналіз особливостей прогнозування електроспоживання в умовах комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудних підприємств під час упровадження в умовах цих підприємств відновлюваних джерел енергії. Аналізуючи графіки прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізорудної підприємства та електроспоживання цих підприємств, можна зробити висновок про те, що реалізація короткострокового й оперативного прогнозування значно ускладнюється. За результатами моделювання виявлено, що під час прогнозування електроенергоспоживання залізорудними підприємствами, під час впровадження в систему електропостачання відновлюваних джерел енергії необхідно вирішити багатокритеріальне завдання з використанням методу штучних нейронних мереж.*

**Ключові слова:** електропостачання, прогнозування електроспоживання, відновлювані джерела енергії, електроспоживання, штучні нейронні мережі.

**Постановка проблеми.** Залізорудні підприємства (далі – ЗРП) України споживають біля 90% електричної енергії (далі – ЕЕ) від загального балансу спожитої енергії цими підприємствами [1].

Що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають. Тому другим незалежним джерелом живлення електроспоживачів можуть бути використані спеціальні агрегати безперебійного живлення та акумуляторні батареї. Одним з альтернативних рішень є використання відновлювальних джерел електричної енергії (далі – ВДЕ), розташовані на території підприємства, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів.

Прогнози обсягів споживання електричної енергії використовуються для формування щорічних зведених балансів виробництва і споживання електричної енергії. Баланси виробництва і споживання електричної енергії є основою для формування графіків ремонту устаткування і т.д.

Короткострокові прогнози споживання є основою для формування диспетчерських графіків. Одночасно визначаються необхідні обсяги та розміщення резервів потужності в єдиній енергетичній системі.

Узгоджені графіки споживання і генерації є найважливішими показниками, що визначають основні аспекти роботи – графіки вироблення електроенергії станціями з урахуванням резервів, склад генерувального обладнання, обсяги купівлі та продажу електроенергії й потужності на ринку.

Планування споживання здійснюється на основі прогнозу сумарного показника і кожного компонента, при цьому структура споживання має бути збалансована на кожному етапі й рівні планування. Обсяги вихідних даних і моделі прогнозів для різних компонентів можуть бути різними. Виникає необхідність розробки адаптивної системи моделей прогнозування та планування споживання, застосовної на різних стадіях і ланках планування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як показали результати досліджень, найбільш

ефективним в напрямі впровадження відновлюваних джерел енергії є створення гідроакмулюючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій та сонячних електростанцій [1–5].

Відповідно до Закону України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017, № 2019-VIII, починає діяти ринок купівлі електроенергії «на добу вперед» зі штрафами за неподання прогнозів або за невиконання наданих прогнозів. У Законі відсутні механізми збору та аналізу даних для короткострокового прогнозу генерації відповідно до потреби в електроенергії.

Також слід зазначити, що довгостроковий, короткостроковий і оперативні прогнози споживання електроенергії вимагають різних методик. Для реалізації довгострокових прогнозів потрібні сценарні підходи для оцінки загальноекономічної ситуації, галузевих тенденцій розвитку і т.д. Для короткострокових прогнозів важливим є облік метеофакторів, характеру дня (робочий, вихідний), стану режиму енергосистеми в найближчій ретроспективі. Під час оперативного прогнозування в темпі процесу потрібні адаптивні моделі прогнозу.

**Постановка завдання.** Аналіз особливостей прогнозування електроспоживання в умовах комплексу електропостачання-електроспоживання ЗРП під час упровадження в умовах цих підприємств ВДЕ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Отже, основна проблема прогнозування генерації ВДЕ в умовах ЗРП (порівняно з традиційними джерелами) є достовірність прогнозів споживання енергії ЗРП і власне проблеми короткострокового прогнозування метеоумов «на добу вперед», що фактично впливає на погодинне прогнозування генерації.

Слід зазначити, що ця проблема у світі не вирішена остаточно. Пропонується низка алгоритмів і програмних комплексів, але загально визнаних «стандартів галузі» для прогнозування генерації ВДЕ немає.

Фактори, що впливають на ефективність погодинного прогнозу, містять прогнозний горизонт, місцеві погодні умови (що впливають на мінливість ресурсів ВДЕ), географічне охоплення, доступність даних (наприклад, обсяг, місце розташування, способи і надійність надання інформації) та якість даних (наприклад, узгодженість за часом, точність, розбивка і корекція за охопленням території) тощо.

Точність прогнозів ВДЕ збільшується за більш коротких інтервалів часу отримання значень оброблених поточних метеоданих. Наприклад, для погодинного прогнозування в межах помилки до  $\pm 5\%$  потрібно мати дані для прогнозування з розбивкою на 15 хв., які мають використовувати для розрахунків мінімум 9 серій поточних даних. Тобто свіжі дані від метеостанцій повинні надходити й оброблятися щохвилини [6].

Згідно з IEA, відхилення RMSE кращих систем «розумного» прогнозування від персистентної моделі (з урахуванням даних багаторічного обліку) становить від 18–35% (Іспанія) до 68–75% (Швейцарія, Бельгія, Нідерланди, Канада, США).

Досить об'ємний звіт «Adapting Market Design to High Shares of Variable Renewable Energy» про проблеми прогнозування і про інші фактори, що перешкоджають широкому співіснуванню ВДЕ і традиційної генерації в енергосистемах різного рівня, опублікований у червні 2017 р [7].

У свою чергу, ЗРП постають як динамічні системи, що розвиваються у часі й просторі, стан яких визначається сукупністю різних гірничо-геологічних і технологічних факторів, що характеризують умови виробництва. Однак урахувати всі чинники під час визначення електроспоживання тим чи іншим окремим механізмом неможливо, оскільки майже кожен із них рідко залишається режимно постійним навіть протягом нетривалого часу, а окремі фактори непередбачувано впливають на цей процес [1].

У результаті аналізу можливості впровадження ВДЕ у складі локальних енергетичних систем (далі – ЛЕС) було виявлено, що ЛЕС на базі ВДЕ, впливають на розподільні мережі в ЛЕС та перетворюють їх на активні елементи. Це призводить до необхідності внесення змін у прийнятті стратегії управління ЛЕС та планування структури і режимів локальних енергетичних систем. При цьому цей вплив може мати як позитивний, так і негативний характер, тому доцільно заздалегідь ґрунтовно досліджувати та аналізувати питання приєднання ВДЕ до ЛЕС залежно від умов експлуатації та особливостей технологічного процесу електроприймачів ЗРП [1–8].

До складу запропонованої системи електропостачання входить таке устаткування: вітрові мініелектростанції (далі – ВМЕС), батарея акумуляторів, що слугує для накопичення електроенергії у роботі ВДЕ для живлення системи її управління (або як резервне джерело живлення (за необхідності)); перетворювальна апаратура, у разі використання генератора змінної напруги, що

служує для перетворення електроенергії від ВДЕ у постійний струм для живлення інвертора й заряду акумуляторних батарей і постійного струму від акумуляторів напруги змінного струму зі стандартними параметрами (рис. 1).

Таким чином, сумарна згенерована потужність ЛЕС на базі ВДЕ визначається з виразу:

$$S_{\Sigma DES} = \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \quad (1)$$

де  $S_{VES}$  – згенерована потужність ВЕС;  $S_{SES}$  – згенерована потужність СЕС;  $S_{GES}$  – згенерована потужність ГЕС.

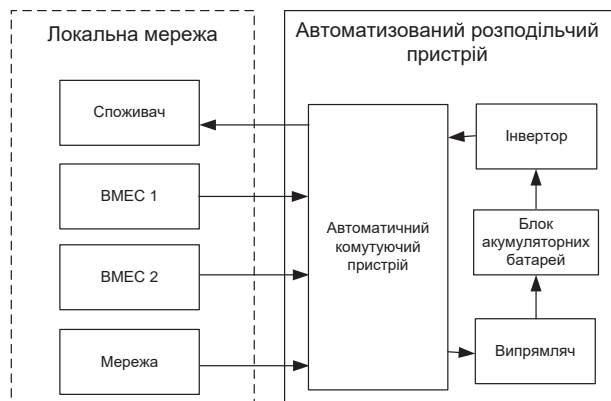


Рис. 1 Структурна схема системи локальної електропостачання на базі відновлювальних джерел електроенергії

Тоді спожита підприємством потужність за умови використання ЛЕС на базі ВДЕ в системі електропостачання дорівнює:

$$S_{PP} = S_{PS} + \left( \sum_{i=1}^n S_{VES_i} + \sum_{i=1}^n S_{SES_i} + \sum_{i=1}^n S_{GES_i} \right) \quad (2)$$

де  $S_{PS}$  – спожита електрична енергія промислового підприємства з енергосистеми.

Зважаючи на той факт, що система електропостачання комбінована, то це ускладнює процес прогнозування електроспоживання, оскільки із загальною спожитою електричною енергією (далі – ЕЕ) необхідно віднімати згенеровану ЕЕ ЛЕС. Аналізуючи графіки прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізорудної підприємства та електроспоживання цих підприємств, можна зробити висновок про те, що реалізація короткострокового й оперативного (добового) прогнозування значно ускладнюється (рис. 2–5).

Натепер розроблено велику кількість методів прогнозування електроспоживання, проте не існує універсального методу, який міг би з однаковим успіхом застосовуватися для різних типів об'єктів. Це викликано тим, що будь-який об'єкт прогнозування, регіональна енергосистема або конкретне промислове підприємство має уні-

кальний характер електроспоживання і складні залежності між електроспоживанням і факторами, що на нього впливають. Тому виникає завдання вибору методики прогнозування електроспоживання, що володіє задовільною якістю прогнозу.

Сезонна модель авторегресійного проінтегрованого змінного середнього (далі – АРІЗС) (ARIMA), розроблена Дж. Боксом і Г. Дженкінсом, дозволяє прогнозувати нестационарні циклічні тимчасові ряди. Сезонна модель Бокса-Дженкінса може бути представлена у вигляді:

$$ARIMA(p, d, q) \cdot (P_s, D_s, Q_s) s \quad (3)$$

де  $p$  – порядок складника авторегресії;  $d$  – порядок різниці дискретної похідної;  $q$  – порядок змінного середнього;  $P_s$  – порядок сезонної авторегресії;  $D_s$  – порядок сезонної різниці (сезонної похідної);  $Q_s$  – порядок сезонного змінного середнього;  $s$  – період сезонності [5-7].

Результат прогнозування електроспоживання на добу цеху ЗРП зображено на рис. 2.

Проте метод експоненціального згладжування найбільш ефективний під час розроблення середньострокових прогнозів. Він прийнятний у прогнозуванні тільки на один період вперед. Його основні переваги простота процедури обчислень і можливість обліку ваги вихідної інформації. Робоча формула методу експоненціального згладжування:

$$S_t = a \cdot \gamma_t + (1 - a) \cdot S_{t+1} \quad (4)$$

де  $t$  – період, що передуює прогнозованому;  $t+1$  – прогнозний період;  $S_{t+1}$  – прогнозований показник;  $a$  – параметр згладжування;  $\gamma_t$  – фактичне значення досліджуваного показника за період, що передуює прогнозованому;  $S_t$  – експоненціально зважена середня для періоду, що передуює прогнозованому [5–7].

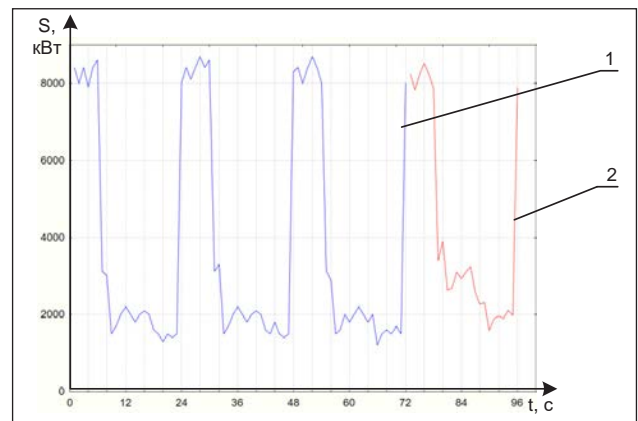
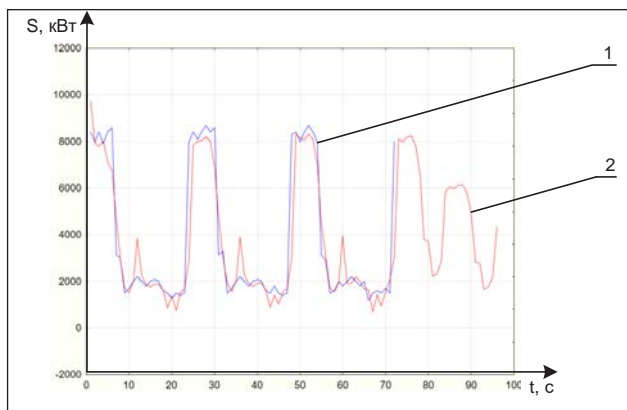


Рис. 2. Почасовий прогноз електроспоживання на добу цеху залізорудного підприємства за методом АРІЗС (1 – факт, 2 – прогноз)



Результат прогнозування електроспоживання на добу цеху ЗРП зображено на рис. 3.

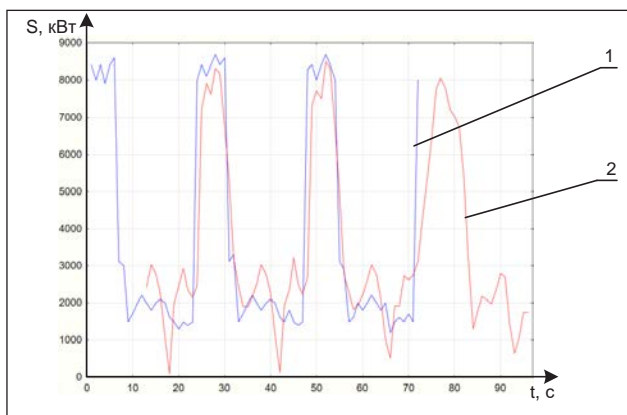


**Рис. 3.** Почасовий прогноз електроспоживання на добу цеху залізрудного підприємства за методом експоненціального згладжування (1 – факт, 2 – прогноз)

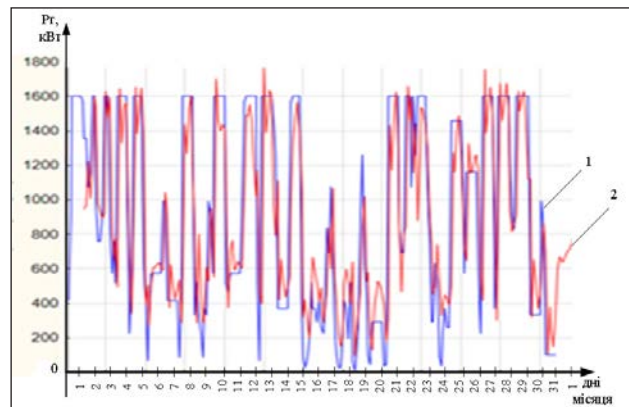
Із поміж інших, прогноз за допомогою штучних нейронних мереж (із математичної точки зору) є найбільш функціональним.

Вхідний шар нейронів слугує для введення значень вхідних змінних, вихідний шар – для виведення результатів.

Побудова цього прогнозу реалізована у пакеті «St Neural Networks» (рис. 4).



**Рис. 4.** Почасовий прогноз електроспоживання на добу цеху залізрудного підприємства з використанням штучних нейронних мереж (1 – факт, 2 – прогноз)



**Рис. 5.** Графік прогнозу генерації електричної енергії вітроенергетичної установки в умовах залізрудної підприємства з використанням штучних нейронних мереж (1 – факт, 2 – прогноз)

Отже, аналізуючи дослідження різних методів прогнозування, було встановлено, що методи відрізняються швидкістю обчислень, похибкою отриманого прогнозу, кількістю необхідних даних для точного прогнозування та ін.

Проте перевагу слід надавати штучним нейронним мережам, оскільки головним їх перевагою є те, що вони можуть апроксимувати будь-яку нелінійну функцію з довідповідним ступенем точності, мають здатність до адаптації, створення асоціативних зв'язків і навчання; вони також застосовуються за короткострокового і довгострокового прогнозування [5–8].

**Висновки.** В умовах залізрудних підприємств актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення локальних систем на базі відновлюваних джерел енергії.

Для прогнозування електроенергоспоживання залізрудними підприємствами під час упровадження в систему електропостачання відновлюваних джерел енергії необхідно вирішити багатокритеріальне завдання з використанням методу штучних нейронних мереж.

#### Список літератури:

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул та інші. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. 219 с.
2. 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.
3. Sinchyk, O., Sinchyk, I., Boiko, S. Control system power consumption of the mining enterprises with the purpose of increasing electroenergyinvest. Technical Electrodynamics 2016, № 6, P. 60–62.
4. S. Tabatabaee. Investigation of droop characteristics and X/R ratio on small-signal stability of autonomous microgrid / H.R. Karshenas, A. Bakhshai and P. Jain // Proc. 2nd Power Electron., Drive Syst. Technol. Conf. 2011. P. 223–228.

5. 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.
6. Baumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. IEEE 0-7803-1217-1. 1993. P. 407–412.
7. Carpenter G., Grossberg S. A Massively Parallel Architecture for a Self-Organizing Neural Pattern Recognition Machine // Computer Vision, Graphics and Image Processing. 1987. Vol. 37.
8. Chen S.T., David C.Y., Moghaddamjo A.R. Weather sensitive short-term load forecasting using non fully connected artificial neural network // IEEE Trans. on Power Systems. 1992. Vol. 7, No 3. P. 1098–1105.

#### **ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ-ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

*Целью работы является анализ особенностей прогнозирования электропотребления в условиях комплекса электроснабжения- электропотребления железорудных предприятий при внедрении в условиях этих предприятий возобновляемых источников энергии. Анализируя графики прогноза генерации электрической энергии ветроэнергетической установкой в условиях железорудного предприятия и электропотребления этих предприятий, можно сделать вывод о том, что реализация краткосрочного и оперативного прогнозирования значительно усложняется. По результатам моделирования установлено, что при прогнозировании электропотребления железорудными предприятиями, при внедрении в систему их электроснабжения возобновляемых источников энергии, необходимо решить многокритериальную задачу с использованием метода искусственных нейронных сетей.*

**Ключевые слова:** электроснабжение, прогнозирование электропотребления, альтернативные источники энергии, электропотребления, искусственные нейронные сети.

#### **PECULIARITIES OF FORECASTING TO THE CONDITIONS OF ELECTRIC SUPPLY COMPLEX-ELECTRIC CONSUMPTION OF IRON-SIZED ENTERPRISES**

*The purpose of this work is to analyze the peculiarities of forecasting electricity consumption in the conditions of a complex of electricity supply-electric consumption of iron ore subsidiaries in the implementation of renewable energy sources in these enterprises. By analyzing the forecasts of the wind power generation power generation forecast in the iron ore plant and the electricity consumption of these enterprises, it can be concluded that the implementation of short-term and operational forecasting is much more complicated. According to the results of the simulation, it has been found that in forecasting the electricity consumption of iron ore enterprises, when introducing renewable energy sources into their system, it is necessary to solve a multicriterion problem using the method of artificial neural networks.*

**Key words:** electric power supply, forecasting of power consumption, alternative energy sources, power consumption, artificial neural networks.

УДК 621.316.1

**Кулик В.В.**

Вінницький національний технічний університет

**Піряк В. М.**

ТОВ «Подільський енергоконсалтинг»

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ДЖЕРЕЛ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ АКТИВНИХ ОБМЕЖЕНЬ

У статті розв'язується задача оптимізації розміщення джерел реактивної потужності (ДРП) у розподільних електричних мережах (ЕМ) за економічним критерієм із забезпеченням допустимості відхилень напруги. Екстремальні значення потужностей ДРП визначаються згідно з принципом Гамільтона. Для врахування обмежень за напругою в ЕМ розв'язується додаткова оптимізаційна задача, яку вдалося звести до лінійної завдяки використанню коефіцієнтів розподілу втрат та матриці чутливості Якобі. Економічні аспекти задачі враховуються фіктивними економічними опорами. Застосування такого підходу скорочує тривалість розрахунків та дає змогу отримати розв'язок, мінімально віддалений від глобального екстремуму цільової функції.

**Ключові слова:** електрична мережа, перетікання реактивної енергії, оптимізація, джерело реактивної потужності, «ідеальний» режим, економічний опір, відхилення напруги

**Постановка проблеми.** Забезпечення економічної ефективності функціонування енергопостачальних компаній в Україні нині стоїть особливо гостро [1]. Останнім часом у планах перспективного розвитку розподільних електромереж (ЕМ) передбачається проведення заходів із реконструкції, що супроводжується значними капіталовкладеннями. Виходячи з цього постає проблема формування технічних рішень, які б, крім прийнятної економічної ефективності у перспективі, забезпечували виконання функціональних та технічних обмежень ЕМ. Крім реновації основного обладнання, необхідно створити умови для усунення причин надлишкових втрат електроенергії в мережах, впроваджуючи проектні рішення, що отримані на підставі системних теоретичних досліджень [2].

Вказана проблема суттєво ускладнюється через практично безсистемну розбудову розосереджених джерел енергії (РДЕ) в електричних мережах. Вже нині подекуди це призвело до ускладнень із регулюванням напруги, що можуть бути усунені шляхом оптимізації перетікань реактивної енергії у цих мережах [3–6], зокрема, шляхом використання наявних та додаткових джерел реактивної потужності (ДРП). Максимального ефекту тут можна досягти, оптимізуючи розміщення та параметри ДРП з урахуванням зміни характеру електроспоживання, а також режимів РДЕ.

Таким чином, у сучасних умовах змінюється постановка оптимізаційних задач, пов'язаних

із розподілом реактивної енергії, а також їх розмірність, що може призводити до неефективності класичних підходів. З огляду на це, в роботі для оптимізації перетікань реактивної енергії використано екстремальний принцип Гамільтона [3] та запропоновано вдосконалення означеного підходу, що проявляється у врахуванні обмежень на відхилення напруги в ЕМ. Це дає змогу отримувати оптимальні рішення щодо розміщення ДРП, які можна реалізувати без додаткової адаптації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливістю оптимізації реактивних перетікань в сучасних розподільних ЕМ України і світу є те [3; 4; 6], що, крім традиційних джерел та споживачів реактивної енергії, широко впроваджуються РДЕ. Їх функціонування істотно залежить від впливу навколишнього середовища й недостатньо обмежується нормативною базою експлуатації електричних мереж. Використовуючи синхронні й асинхронні генератори, а також інверторні перетворювачі, означені джерела можуть генерувати або споживати реактивну енергію залежно від режиму їх роботи. Внаслідок цього періодично виникають реверсивні перетікання, які впливають на ефективність транспортування електроенергії.

Так, показано, що лише координована видача реактивної потужності РДЕ може полегшити обмін реактивної енергією між розподільними й магістральними мережами та забезпечити допустимі відхилення напруги в системі [5]. Вироблення електроенергії РДЕ може викликати недопустимі

підвищення рівнів напруги у розподільних мережах, зокрема через те, що мережеве обладнання, необхідне для підключення РДЕ, генерує додаткову реактивну потужність. Використовуючи керування реактивною потужністю РДЕ, оператори розподільних мереж можуть вирішувати вказані проблеми. Однак для цього розосереджені джерела мають конструктивно забезпечувати таку можливість.

Для розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією рівнів компенсації реактивної потужності в електричних мережах за комплексним критерієм, традиційно знайшли застосування методи декомпозиції, лінійного та нелінійного програмування [7]. Однак такі методи через використання припущень та спрощень можуть скеровувати процес розв'язку до локальних екстремумів. Останнє призводить до зниження економічної ефективності технічних рішень.

Останнім часом для розв'язання задач планування та оптимізації перетікань реактивної енергії, особливо в енергосистемах зі значною часткою розосередженого генерування, активно застосовують елементи штучного інтелекту [8], зокрема штучні нейронні мережі, експертні системи, генетичні алгоритми та еволюційне програмування. Проте надмірні витрати часу в еволюційних та генетичних алгоритмах пошуку оптимальних розв'язків обмежують їх застосування в електричних мережах [8].

**Постановка завдання.** Підвищення ефективності розв'язання задач оптимізації перетікань електроенергії в електричних мережах із РДЕ можна отримати шляхом застосування комплексного підходу, що базується на використанні принципу Гамільтона [2; 3].

Із праці В.Г. Холмського [9] відомо, що задача оптимізації розподілу навантаження між джерелами енергії в ЕМ за критерієм мінімуму втрат електроенергії може бути зведена до розрахунку «ідеального», або економічного струморозподілу з використанням заступної г-схеми.

Аналогічний підхід застосовано науковцями [3] для визначення потужностей ДРП  $Q_i$ , встановлення яких на заданих підстанціях забезпечує максимум рентабельності капіталовкладень без урахування обмежень на потужності ДРП та режимні параметри ЕМ.

Для зведення задачі пошуку максимуму рентабельності капіталовкладень до задачі пошуку мінімуму втрат в ЕМ у заступну г-схему вводяться додаткові дисипативні елементи (економічні опори) [3]:

$$R_{ci}^0 = \frac{U_i^2}{Q_i} \left[ \alpha_{втр} + \left( K_{li} + \frac{K_{oi}}{Q_i} \right) \frac{(\alpha_e + \alpha_p)(1 - \alpha_n) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c (1 - \alpha_n)} \right], \quad (1)$$

де  $Q_i$ ,  $U_i$  – встановлена потужність і-го ДРП та розрахункова напруга у вузлі його приєднання;  $\alpha_{втр}$  – питомі втрати електроенергії в ДРП;  $K_{oi}$ ,  $K_{li}$  – постійні та змінні капіталовкладення для впровадження ДРП;  $\alpha_e$ ,  $\alpha_p$  – питомі річні видатки на експлуатацію ДРП та амортизаційні відрахування на реновацію;  $\alpha_n$ ,  $\alpha_{кр}$  – податок на прибуток та річні витрати на обслуговування кредиту;  $\tau$ ,  $c$  – час максимальних втрат та вартість втрат електроенергії.

Введення встановлених потужностей ДРП  $Q_i$  до переліку залежних параметрів режиму дає змогу розрахувати їх екстремальні значення. Співвідношення (1) для визначення економічних опорів  $R_{ci}^0$  містить оптимізовані змінні  $Q_i$  та залежні параметри  $U_i$  оптимізаційної задачі. Отже, ці опори не є постійними й потребують уточнення на кожній ітерації [3]. Зі зростанням розрахункової встановленої потужності ДРП  $Q_i$  значення  $R_{ci}^0$  зменшуються. Крім того, зменшується чутливість економічних опорів до відхилень напруги, що сприяє нарощуванню встановлених потужностей ДРП та зменшенню кількості встановлених пристроїв. Останнє забезпечує скорочення капітальних витрат та експлуатаційних видатків. Таким чином, ітеративні розрахунки струморозподілу в заступній г-схемі ЕМ з уточненням економічних опорів ДРП дають змогу визначити екстремальні потужності джерел.

Застосування означеного підходу усуває проблему надійності та швидкодії процесу пошуку розв'язків, що досягається зміною напрямку пошуку. Однак ключовим моментом для практичної реалізації є перехід від екстремального до оптимального розв'язку, що виконується накладанням обмежень на оптимізовані змінні частини та режимні параметри ЕМ [3]. Для сучасних електромереж реалізація означеної процедури виявляється нетривіальною та потребує додаткових досліджень.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Постановка задачі оптимізації розміщення ДРП в електромережах може бути подана так:

$$R(Q_i) = \frac{\Pi_p(Q_i) + A_p(Q_i)}{K(Q_i)} \rightarrow \max, \quad i \in [1...n_q], \quad (2)$$

за умов балансу реактивної потужності в системі

$$G = \sum_{i=1}^{n_g} Q_i - \sum Q_n - \Delta Q(Q_i) = 0, \quad i \in [1...n_q], \quad (3)$$

та обмежень на параметри:

$$Q_{i\_max} \geq Q_i \geq Q_{i\_min}, \quad i \in [1...n_q]; \quad (4)$$

$$U_{j\_max} \geq U_j \geq U_{j\_min}, \quad j \in [1...n], \quad (5)$$

де  $n$ ,  $n_q$  – відповідно, кількість вузлів ЕМ, для яких діють обмеження за напругою та кількість

потенційних місць встановлення ДРП;  $P_p(Q_i)$  – поточний річний прибуток;  $A_p(Q_i)$  – додаткові річні амортизаційні відрахування на реновацію;  $K(Q_i)$  – капіталовкладення для впровадження ДРП;  $\Sigma Q_H$  – сумарне навантаження, значення якого є заданим;  $\Delta Q(Q_i)$  – втрати реактивної потужності в елементах ЕМ;  $Q_{i\_max}, Q_{i\_min}$  – відповідно, максимальне та мінімальне значення потужності ДРП у  $i$ -му вузлі ЕМ  $U_j, U_{j\_max}, U_{j\_min}$  – відповідно, розрахункове значення напруги у  $j$ -му вузлі ЕМ, а також її максимальне та мінімальне допустимі значення.

Вище описано розв’язання задачі оптимізації перетікань реактивної потужності у постановці (2)–(3). Однак для практичної реалізації оптимальні значення потужностей ДРП потребують уточнення з урахуванням обмежень на параметри (4), (5). Обмеження (4) враховуються доволі просто. Розрахункові потужності  $Q_i$  заокруглюються до найближчих стандартних значень із подальшим перерахунком економічних опорів, «ідеального» режиму ЕМ та уточненням потужностей решти ДРП.

Однак зі зростанням встановленої потужності ДРП локально зростають рівні напруги у вузлах їх приєднання та суміжних вузлах. Останнє може призводити до порушення обмежень за напругою (6), що робить отриманий розв’язок практично непридатним для реалізації.

Для зменшення рівнів напруги переважно використовують вторинні засоби регулювання, наприклад регулювальні трансформатори, що додатково ускладнює врахування обмежень за напругою.

Наявність засобів автоматичного керування в сучасних ДРП сприяє вирішенню вказаного завдання. Однак порушення обмежень за напругою не дає змоги вказаним пристроям працювати на встановленій потужності, що знижує економічний ефект від їх впровадження. Тому задача оптимізації розміщення ДРП (2)–(5) має розв’язуватися у такій послідовності.

Після визначення місць встановлення та потужностей ДРП, які забезпечують максимальну рентабельність капіталовкладень з урахуванням обмежень (4), на кожній ітерації необхідно перевірити виконання обмежень (5). Якщо останні виконуються, то отриманий розв’язок вважається оптимальним.

У разі порушення обмежень необхідно визначити множину вузлів  $M_b$ , для яких перевищено допустимі рівні напруги. Імітуючи функціонування регулювальних пристроїв силових трансформаторів, необхідно виконати регулювання

напруги у ЕМ без коригування потужностей ДРП. Це дасть змогу забезпечити нормативні відхилення для більшості вузлів, суміжних із вузлами встановлення ДРП. Якщо порушення обмежень (5) не було усунуто, необхідно виконати відповідне коригування розрахункових потужностей ДРП, що отримані на попередньому етапі. Таке коригування, очевидно, призводить до зниження рентабельності встановлення ДРП через примусове відхилення їх потужностей від екстремальних. Отже, поправки  $\Delta Q_i$  до розрахункових потужностей ДРП необхідно визначати таким чином, щоб виконання обмежень за напругою (5) спричинило мінімальне зниження рентабельності (2):

$$\begin{cases} \Delta R(\Delta Q_i) \rightarrow \min, i \in [1..n_q]; \\ \mathbf{J}_\phi^{-1} \Delta \mathbf{Q} = \Delta \mathbf{U}, \end{cases} \quad (6)$$

де  $\mathbf{J}_\phi^{-1}$  – фрагмент оберненої матриці Якобі розмірністю  $n_n \times n_q$ , що пов’язує відхилення реактивної потужності у вузлах з ДРП  $\Delta Q_i$  та відхилення напруги у вузлах, де порушено обмеження (5);  $\Delta \mathbf{Q}$  – вектор стовпець розмірністю  $n_q$  із відхиленнями реактивної потужності у вузлах із ДРП  $\Delta Q_i$ ;  $\Delta \mathbf{U}$  – вектор стовпець розмірністю  $n_n$ , кожен елемент якого  $\Delta U_i$  визначається як різниця між розрахунковим  $U_j$  та граничним  $U_{j\_max}$  значеннями напруги у  $j$ -му вузлі, для якого обмеження порушено.

Задачу пошуку максимуму рентабельності (2) з певними припущеннями можна замінити задачею мінімізації еквівалентних втрат потужності [3]:

$$V_{Q_{екв}} = V_Q + \alpha_{втр} \sum_{i=1}^{n_q} Q_i + \sum_{i=1}^{n_q} (K_{li} Q_i + K_{oi}) \frac{(\alpha_c + \alpha_p)(1 - \alpha_n) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c (1 - \alpha_n)}, \quad (7)$$

в яких враховано втрати  $V_Q$  після встановлення пристроїв компенсації  $Q_i$ , а також економічні чинники, що визначають рентабельність проекту та описані вище. З огляду на це, для спрощення постановки задачі (6) було запропоновано перейти до мінімізації приросту еквівалентних втрат:

$$\Delta V_{Q_{екв}}(\Delta Q_i) = \sum_{i=1}^{n_q} \left( \frac{\partial V_Q}{\partial Q_i} + \alpha_{Ki} + \alpha_{втр} \right) \Delta Q_i \rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $\alpha_{Ki} = K_{li} \frac{(\alpha_c + \alpha_p)(1 - \alpha_n) + (\alpha_{кр} + \alpha_p)}{\tau c (1 - \alpha_n)}$  – коефіцієнт, що враховує зменшення капіталовкладень та експлуатаційних видатків через коригування потужності ДРП.

Цільову функцію (8), використовуючи коефіцієнти розподілу втрат потужності, що отримані у [10], було зведено до лінійної. Це дозволило для розв’язання задачі пошук оптимальних відхилень потужностей ДРП:

$$\begin{cases} \Delta V_{Q_{екв}}(\Delta Q_i) = \sum_{i=1}^{n_q} (T_{Qi} + \alpha_{Ki} + \alpha_{втр}) \Delta Q_i \rightarrow \min; \\ \mathbf{J}_\phi^{-1} \Delta \mathbf{Q} = \Delta \mathbf{U} \end{cases} \quad (9)$$

застосувати симплекс-метод. Коефіцієнти розподілу втрат  $T_{Qi}$  [15] визначаються так:

$$T_{Q_i} = \sum_{j \in M_i} (-\text{Im}(T_{ji})), \quad (10)$$

де  $M_i$  – множина віток ЕМ, якими здійснюється транспортування реактивної потужності до  $i$ -го вузла;  $T_{ji}$  – елемент матриці коефіцієнтів розподілу втрат потужності в ЕМ, що чисельно дорівнює відносному приросту втрат потужності у  $i$ -ій вітці  $\partial V_{Q_i} / \partial Q_i$  [10],  $\mathbf{T}_j = (\mathbf{U}_i \mathbf{M}_{sj}) \hat{\mathbf{C}}_j \mathbf{U}_d^{-1}$  – вектор коефіцієнтів розподілу втрат для  $j$ -ої вітки від потужностей вузлів ЕМ;  $\mathbf{U}_i$ ,  $\mathbf{U}_d$  – відповідно, транспонований та діагоналізований вектори напруг у вузлах, включаючи базисний;  $\mathbf{M}_{skr}$  – транспонована матриця зв'язків віток у вузлах;  $\mathbf{C}$  – матриця струморозподілу в ЕМ.

Зважаючи на постановку задачі (9), кількість оптимізованих змінних  $n_q$  переважно виявляється більшою за кількість порушених обмежень за напругою  $n_n$ . У виключних випадках, коли  $n_n > n_q$ , для вирішення задачі (9) з переліку вузлів із порушенням обмежень за напругою необхідно відібрати  $n'_n = n_q - 1$ , для яких перевищення напруги виявляється найбільшими. Застосування такого підходу дає змогу з переліку оптимізованих змінних  $\Delta Q_i$  вибрати сукупність базових змінних, коригування яких забезпечить виконання обмежень щодо відхилення напруги у вузлах ЕМ та матиме найменший вплив на функцію мети (2). З огляду на це накладання обмежень (5) призводить до найменшого відхилення від глобального екстремуму.

Для підтвердження ефективності запропонованого підходу з оптимізації розміщення ДРП в електричних мережах виконано розрахунки та натурні дослідження на прикладі розподільних ЕМ 110/35/10 кВ ПАТ «Вінницяобленерго».

Для розміщення було використано конденсаторні установки номінальною напругою 10 кВ та встановленою потужністю від 0.9 Мвар до 9.9 Мвар. Результати розрахунків з оптимізації розміщення конденсаторних установок за критерієм максимальної рентабельності подано у табл. 1. Розрахунки виконано за допомогою авторського програмного комплексу «ВТРАТИ». Укрупнені економічні показники проекту наведено у табл. 2.

За результатами розрахунків встановлено, що врахування обмежень за відхиленням напруги в ЕМ має значний вплив на оптимальний розв'язок задачі розміщення ДРП, незважаючи на добру оснащеність мереж засобами вторинного регулювання напруги. Якщо вузли приєднання ДРП та їх оптимальні потужності визначати без урахування обмежень за напругою (5), то реалізація такого розв'язку дала б змогу забезпечити зменшення втрат майже на 5,8 млн кВт•год на рік, однак погіршила б якість електроенергії в ЕМ. Забезпечення якості електроенергії на стадії експлуатації мереж призвело б до необхідності обмеження потужностей генерування вже встановлених ДРП, а отже, до зменшення коефіцієнту їх використання та ефекту від впровадження.

Врахування обмежень за напругою призвело до зменшення встановленої потужності ДРП (табл. 1), обсягів капіталовкладень та експлуатаційних витрат. Однак імовірний ефект зменшення втрат виявився значно меншим: 4,5 млн кВт•год на рік. Через це такий розв'язок має нижчу рентабельність (табл. 2), що підтверджує подані вище теоретичні міркування.

Таким чином, експериментально показано, що реалізація розробленого методу та алгоритмів вра-

Таблиця 1

Варіанти розміщення ДРП в електричних мережах

Умови проведення оптимізаційного розрахунку	Без обмеження напруги		З обмеженням напруги		Коригування потужності ДРП
	$Q_{дрп}$ , Мвар	$U_p$ , кВ	$Q_{дрп}$ , Мвар	$U_p$ , кВ	$\Delta Q$ , Мвар
1С-ПС 110 кВ Південна	9,9	10,5	9,9	10,5	-
2С-ПС 110 кВ Південна	8,1	10,6	8,1	10,6	-
1С-ПС 110 кВ Бершадь	8,1	11,2	5,4	10,7	2,7
2С-ПС 110 кВ Бершадь	1,8	11,0	1,35	10,7	0,45
2С-ПС 110 кВ Крижопіль	7,2	11,1	5,85	10,6	1,35
1С-ПС 110 кВ Крижопіль	1,8	11,0	1,35	10,7	0,45
2С-ПС 110 кВ Нова	4,5	10,6	4,5	10,6	-
1С-ПС 110 кВ Нова	4,5	10,5	4,5	10,4	-
1С-ПС 110 кВ Західна	3,6	10,4	3,6	10,4	-
2С-ПС 110 кВ Західна	2,7	10,6	2,7	10,6	-
2С-ПС 110 кВ Промислова	2,7	10,7	2,7	10,6	-
1С-ПС 110 кВ Промислова	2,7	10,6	2,7	10,6	-
2С-ПС 35 кВ Центральна	4,5	10,4	4,5	10,4	-

## Техніко-економічні показники впровадження ДРП в електричних мережах

Техніко-економічний показник	Без обмеження напруги	З обмеженням напруги	Зміна показника
Втрати енергії до встановлення ДРП, млн кВт год	149,4	149,4	-
Втрати енергії після встановлення ДРП, млн кВт год	143,6	144,9	1,3
Втрати енергії в ДРП, млн кВт год	0,53	0,49	-0,04
Зменшення втрат, млн кВт год	5,27	4,01	-1,26
Надходження від зменшення втрат, тис грн	6767,0	5151,2	-1615,8
Сумарна потужність ДРП, Мвар	62,1	57,15	-4,95
Сумарні капіталовкладення в ДРП, тис грн	27755,8	22991,0	-4764,8
Річні експлуатаційні видатки, тис грн	1332,3	1103,6	-228,7
Річні амортизаційні відрахування, тис грн	2775,6	2299,1	-476,5
Поточний річний чистий прибуток, тис. грн	2233,7	1468,8	-764,9
Рентабельність капіталовкладень, %	18,0	16,4	-1,6
Очікуваний термін окупності капіталовкладень, рік	5,5	6,1	0,6

хування активних обмежень на параметри забезпечує розв'язання задачі оптимізації розміщення ДРП у більш загальній постановці. Збільшення переліку потенційних місць встановлення ДРП не призводить до суттєвого підвищення складності й погіршення збіжності процесу розрахунку. Останнє досягається завдяки застосуванню алгоритму пошуку розв'язку від «ідеального» режиму функціонування, за принципом Гамільтона, до оптимального, з урахуванням активних обмежень на параметри.

**Висновки.** Для розв'язання задачі оптимізації розміщення додаткових джерел реактивної потужності в електромережах, як і для широкого кола інших технічних задач, доцільно застосувати підхід, що базується на імітації «ідеальних» режимів за принципом Гамільтона [2]. Він дає змогу спростити задачу оптимізації конструктивних параметрів ЕМ, звівши її до розрахунку пара-

метрів режимів деякої фіктивної мережі. Завдяки особливостям побудови заступної схеми мережі [3], розраховані параметри виявляються «ідеальними» з огляду на заданий критерій оптимальності.

Слабким місцем підходу є врахування активних обмежень, зокрема обмежень на відхилення напруги в ЕМ. Для їх врахування запропоновано метод коригування оптимальних потужностей ДРП за результатами розв'язання допоміжної оптимізаційної задачі. Завдяки використанню коефіцієнтів розподілу втрат потужності останню вдалося звести до задачі лінійного програмування, що підвищило надійність та швидкодію її розв'язання. Вдосконалення підходу, що базується на імітації «ідеальних» режимів ЕМ за Гамільтоном, дало змогу розширити область його застосування та підвищити ефективність проектних рішень.

## Список літератури:

1. Стогній Б.С., Кириленко О.В., Денисюк С.П. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їх технологічне забезпечення. Технічна електродинаміка. 2015. № 6. С. 44–50.
2. Лежнюк П.Д., Кулик В.В., Нетребський В.В., Тептя В.В. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. 212 с.
3. Kulyk V., Burykin O., Pirnyak V. Optimization of the placement of reactive power sources in the electric grid based on modeling of its ideal modes. Technology audit and production reserves. 2018. № 2(40). vol. 1. P. 59–65.
4. Кулик В.В., Грицюк І.В., Грицюк Ю.В. Оптимальне керування потоками реактивної потужності в розподільних електромережах із розосередженим генеруванням. Праці Інституту електродинаміки НАНУ. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. 2013. С. 151–158.
5. Hinz F., Moest D. Techno-economic Evaluation of 110 kV Grid Reactive Power Support for the Transmission Grid. IEEE Transactions on Power Systems. 2018. № 99.
6. Kaloudas C., Shaw R. Long-term forecasting of reactive power demand in distribution networks. CIRED – Open Access Proceedings Journal. 2017. № 1. P. 2406–2410.
7. Narayan S. Rau. Optimization Principles: Practical Applications to the Operation and Markets of the Electric Power Industry. Solved Nonlinear Optimization Problems. Wiley-IEEE Press, 2003. P. 245–295.

8. Jizhong Zhu. Optimization of Power System Operation. Reactive Power Optimization. Wiley-IEEE Press, 2009. P. 409–454.

9. Холмский В.Г. Оптимизация потокораспределения в замкнутых электрических сетях с высокой степенью неоднородности. Электричество. 1965. № 9. С. 16–21.

10. Бурикін О.Б., Лежнюк П.Д., Кулик В.В. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами: монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2008. 123 с.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ АКТИВНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ**

*В статье решается задача оптимизации размещения источников реактивной мощности (ИРМ) в распределительных электрических сетях (РЭС) по экономическому критерию с обеспечением допустимости отклонений напряжения. Экстремальные значения мощностей ИРМ определяются согласно принципу Гамильтона. Для учета ограничений по напряжению в РЭС решается дополнительная оптимизационная задача, которую удалось свести к линейной благодаря использованию коэффициентов распределения потерь и матрицы чувствительности Якоби. Экономические аспекты задачи учитываются фиктивными экономическими сопротивлениями. Применение такого подхода сокращает продолжительность расчетов и позволяет получить решение, минимально удаленное от глобального экстремума целевой функции.*

**Ключевые слова:** электрическая сеть, потоки реактивной энергии, оптимизация, источник реактивной мощности, «идеальный» режим, экономическое сопротивление, отклонение напряжения.

### **OPTIMIZING THE PLACEMENT OF REACTIVE POWER SOURCES IN THE ELECTRIC NETWORK, TAKING INTO ACCOUNT THE ACTIVE LIMITATIONS**

*The problem of optimization of the location of reactive power sources (RPS) in distributed electrical networks (DEN) is solved in the article according to the economic criterion to ensure the tolerance of voltage deviations. Extreme values of RPS capacities are determined in accordance with the Hamiltonian principle. To account for voltage deviation in DEN, an additional optimization problem is solved, which was reduced to linear due to the use of loss distribution coefficients and Jacobi sensitivity matrix. Economic aspects of the task are taken into account by fictitious economic resistance. The application of this approach reduces the duration of the calculations and allows for a solution that is minimally distant from the global extremum of the target function.*

**Key words:** electric network, reactive energy flow, optimization, source of reactive power, “ideal” mode, economic resistance, voltage deviation.



УДК 621.311

**Лежнюк П.Д.**

Вінницький національний технічний університет

**Бартецький А.А.**

Вінницький національний технічний університет

**Бартецька І.А.**

Вінницький національний технічний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАЛАНСОВОЇ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГОСИСТЕМИ

У роботі було розглянуто умови функціонування відновлюваних джерел електроенергії, зокрема фотоелектричних станцій, відповідно до нового Закону «Про ринок електричної енергії України», що дало змогу виділити низку проблем, які суттєво ускладнюють експлуатацію фотоелектричних станцій в енергосистемі України. В результаті огляду запропонованих методів вирішення низки проблем функціонування ФЕС у сучасних умовах енергоринку було сформовано новий критерій оптимізації, мінімальне відхилення від прогнозованого графіка генерування. Відповідно до запропонованого критерію задачі оптимізації розглянуто випадки роботи ФЕС, коли використовується фотоелектрична станція, підключена до локальної електричної мережі без використання накопичувачів електричної енергії та без сумісної роботи із стабільним ВДЕ, коли використовується фотоелектрична станція із накопичувачами електричної енергії та коли ФЕС працює сумісно зі стабільним ВДЕ.

**Ключові слова:** стійкість, фотоелектрична станція, критерій оптимізації, сумісна робота, графік генерування.

**Постановка проблеми.** Популяризація відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), зокрема фотоелектричних станцій як екологічно чистих та стимулювання енергоринку пільговими тарифами для ВДЕ призвела до стрімкого підвищення частки ВДЕ в енергосистемі України. За даними Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України [1, с. 1], очікуваний результат впровадження сонячної енергетики на період до 2018 р. включно передбачає 1780 ГВт\*год, а до 2020 р. – 2420 ГВт\*год. Проте збільшення частки стохастичних джерел енергії в енергосистемі супроводжується виникненням додаткових ризиків, пов'язаних з їх імовірнісною природою і менш стабільними характеристиками, що може призвести до балансової стійкості енергосистеми [2, с. 1493; 3, с. 786; 4, с. 57] та якості електроенергії [5, с. 17]. Відповідно до Закону «Про ринок електричної енергії України» [6, с. 1] для виробників електроенергії, що використовують енергію вітру і сонячного випромінювання, для яких встановлено «зелений тариф», встановлюється плата за небаланс із відповідним відсотком щороку, причому з 1 січня 2025 р. становитиме 100%, а небаланс має перебувати в межах 5%. У зв'язку із необхідністю забезпечення балансової стійкості енергосистеми необхідно створити низку підходів

та рекомендацій, використання яких дасть змогу реалізувати регульовані ВДЕ як складники розподілених віртуальних електростанцій, що, своєю чергою, є стабільними джерелами електроенергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** П.Д. Лежнюк, В.О. Комар і С.В. Кравчук [7, с. 93] розв'язують задачу прогнозування генерування сонячних електростанцій на основі оцінювання їх імовірнісних характеристик. В їх роботі отримано залежність, яка дає змогу визначати ймовірність покриття заданого графіка споживання протягом доби за півгодинним періодом. Враховуючи те, що ключовим фактором генерування фотоелектричних станцій є погодні умови, то швидкозмінні погодні умови, наприклад раптова локальна захмареність неба, може призвести до суттєвої похибки між прогнозованим та реально згенерованим значенням потужності. У своїй статті П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, С.В. Кравчук і Є.С. Дідіченко [8, с. 27] пропонують вирішення проблеми впливу метеопараметрів на точність прогнозу генерування фотоелектричними станціями з урахуванням прогнозу погоди на наступний день та врахування інформації із метеопостів, встановлених безпосередньо на електростанції. Такий підхід, як стверджують автори, дасть змогу зменшити збитки власників електростанцій від

неточності прогнозу, проте автори не розглядали методів оперативного керування фотоелектростанцією для компенсації похибки прогнозування. П.Д. Лежнюк [9, с. 70] пропонує розраховувати оптимальну потужність резерву електростанції, що враховує нестабільність процесу генерування ВДЕ, оскільки в результаті генерування найбільш імовірні значення недовідпущеної електроенергії. У своїй статті Д.Г. Дерев'яно і Д.С. Горенко [10, с. 1] пропонують розробку віртуальних електростанцій як функціональної одиниці Об'єднаної енергетичної системи. В роботі проведено аналіз спільної роботи гідро- та вітрогенеруючих установок на локальну енергетичну мережу. Проте отримані результати неефективні в умовах нового Закону «Про ринок електричної енергії України».

**Постановка завдання.** Метою роботи є визначення проблеми генерування фотоелектричних станцій у сучасних умовах енергоринку та встановлення шляхів розв'язання визначених проблем функціонування фотоелектричних станцій із метою забезпечення балансової стійкості енергосистеми.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** На основі огляду попередніх досліджень можна дійти висновку, що основною проблемою в роботі нестабільних ВДЕ, зокрема сонячних електростанцій, є забезпечення балансової стійкості енергосистеми, оскільки велика частка нерегульованих нестабільних джерел енергії в енергосистемі може призвести до її розбалансування, а з власників таких електростанцій суттєве відхилення графіка генерування від заявленого може призвести до значних збитків.

Досить велика кількість робіт присвячена розв'язанню задачі прогнозування генерування електроенергії фотоелектричними станціями по годинно на добу наперед. Проте ймовірнісний характер погодних умов може вносити суттєву похибку прогнозу. Для розв'язання проблеми похибки прогнозування пропонується здійснювати оперативне керування фотоелектричними станціями. Реалізація таких систем керування передбачає створення відповідних моделей оптимізації фотоелектричних станцій. Для цього пропонується ввести такий критерій оптимізації, як мінімальне відхилення від прогнозованого графіка генерування, математично критерій оптимізації наведено формулою (1):

$$\int_{t_0}^{t_k} \Delta P_{dev}(t) dt \rightarrow 0, \quad (1)$$

де  $[t_0, t_k]$  – період часу, за який здійснюється генерування;

$\Delta P_{dev}$  – відхилення потужності, визначається за виразом (2).

$$\Delta P_{dev} = P_{pr} - P_{real}, \quad (2)$$

де  $P_{pr}$  – прогнозоване значення потужності генерування;

$P_{real}$  – поточне значення генерованої потужності.

Варто зауважити, що відхилення потужності може набувати як додатних, так і від'ємних значень, що характеризуватиме перегенерування або недогенерування відповідно.

Відповідно до запропонованого критерію, задачу оптимізації варто розглядати для трьох випадків:

1. Якщо використовується фотоелектрична станція, підключена до локальної електричної мережі без використання накопичувачів електричної енергії та без сумісної роботи із стабільним ВДЕ. В такому разі на критерій оптимізації накладаються обмеження у вигляді неможливості покриття миттєвих провалів генерування. В результаті модель оптимізації зводиться до обмеження миттєвих піків перегенерування. Недоліком використання такої ВДЕ є неможливість забезпечення повної керованості і в умовах нового Закону «Про ринок електричної енергії України» може призвести до фінансових збитків підприємства у вигляді штрафів від недовипуску електричної енергії [11, с. 312]. Проте використання системи оптимізації роботи фотоелектричних станцій у такому разі дасть змогу уникнути виникнення миттєвих локальних перенапруг, як наслідок, уникнути можливих аварійних ситуацій, спричинених пробоем ізоляції в електротехнічних установках [12, с. 14].

2. Якщо використовується фотоелектрична станція із накопичувачами електричної енергії. За таких умов є змога досягнути найкращих енергетичних показників та компенсувати у повному обсязі провали генерування та піки перегенерування електричної енергії. Як обмеження можуть виступати ємність накопичувача та залишковий заряд. Проте гнучкість використання та висока швидкодія дає змогу компенсувати миттєві відхилення при генеруванні, що робить ФЕС стабільним джерелом енергії [13, с. 3]. До недоліків належить висока вартість, яка може порівнюватись із вартістю самої ФЕС, а з огляду на те, що накопичувачі потенційно шкодять навколишньому середовищу, а також відкритим стоїть питання утилізації відпрацьованих елементів накопичувачів, екологічність використання ФЕС стоїть під питанням.

3. Якщо ФЕС працює сумісно зі стабільним ВДЕ, то вирішення задачі оптимізації зводиться до оперативного керування сумісною роботою ВДЕ для забезпечення мінімального відхилення від сумарного графіка генерування ФЕС та стабільної ВДЕ. В такому разі стабільну ВДЕ доцільно використовувати з резервом потужності для покриття провалів генерування ФЕС електричної енергії. Серед стабільних ВДЕ, які можуть працювати паралельно із ФЕС на території України, можна виділити малі гідроелектростанції (МГЕС), біогазові електроустановки (БГЕУ) та повітряно акумулюючі електростанції (ПАЕС) [14, с. 1].

Розглянемо випадок, коли мала ГЕС розташована в одній локальній ЕС разом із ФЕС (рис. 1).

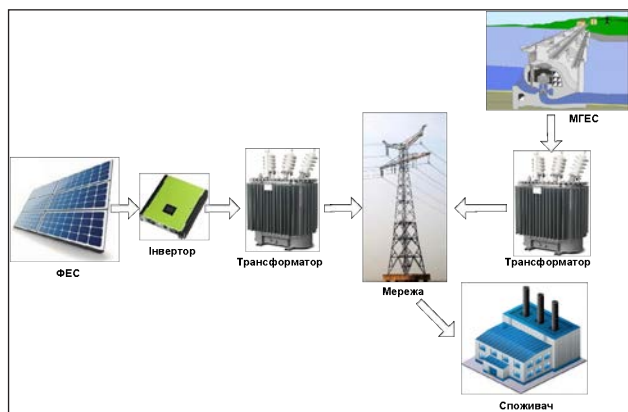


Рис. 1. Структурна схема сумісної роботи ФЕС та МГЕС в локальній ЕС

У такому разі провали в генеруванні ФЕС будуть покриватися шляхом резерву потужності МГЕС (рис. 2). При цьому пропонується використовувати МГЕС з інвертором. Використання інвертора дасть змогу забезпечити високу швидкодію регулювання та покращить енергетичні показники електроенергії.

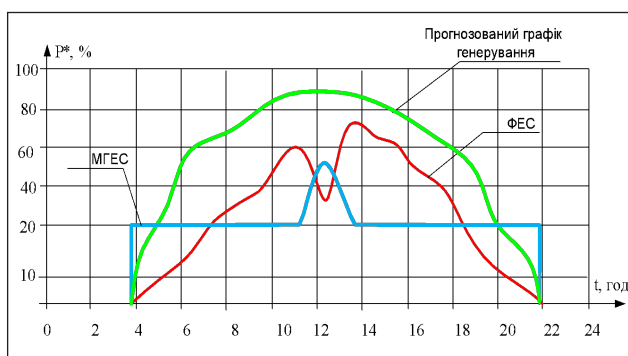


Рис. 2. Графік сумісної роботи ФЕС та МГЕС

Розглянемо випадок, коли ФЕС та МГЕС знаходяться на досить близькій відстані. Таке розташування є дуже зручним для економії місця.

Адже при побудові МГЕС залишаються земельні ділянки, які пустують і не можуть бути використаними для господарських потреб. Саме такі ділянки можна використати для побудови ФЕС.



Рис. 3. Структурна схема сумісної роботи ФЕС та МГЕС у локальній ЕС

При цьому режим роботи аналогічний попередньому випадку.

Розглянемо варіант, коли ФЕС працює сумісно із міні-ГЕС. В такому разі робота міні-ГЕС зводиться виключно на покриття провалів генерування. При цьому графік генерування матиме вигляд, як на рис. 4:

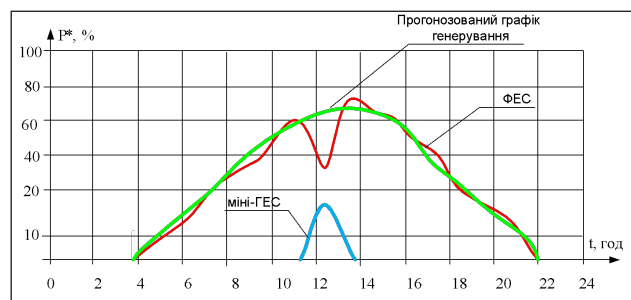


Рис. 4. Графік сумісної роботи ФЕС та міні-ГЕС

Пропонується використовувати міні-ГЕС для компенсації провалів генерування електричної енергії ФЕС, при цьому використання дасть змогу із високою швидкістю реагувати на провали роботи ФЕС та забезпечити високу її керованість.

**Висновки.**

1. У роботі було встановлено, що в сучасних умовах дії Закону «Про енергоринок України» основою функціонування ФЕС є забезпечення покриття заявленого або прогнозованого графіка генерування ВДЕ. При цьому було виділено новий критерій оптимізації, який відповідає новим проблемам роботи ФЕС у ЛЕС.

2. Було визначено низку шляхів вирішення питання оптимізації роботи ФЕС для забезпечення мінімального відхилення від прогнозованого графіка генерування. Враховуючи такі критерії, як швидкодія, екологічність, було встановлено, що одним із найперспективніших способів оптимізації є використання сумісної роботи ФЕС та МГЕС.

**Список літератури:**

1. До уваги громадськості та експертів – проект Дорожньої карти розвитку відновлюваної енергетики України на період до 2020 року / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. URL: <http://sae.gov.ua/uk/pressroom/1133>.
2. Chowdhury A.A. Reliability Modeling of Distributed Generation in Conventional Distribution Systems Planning and Analysis. IEEE Transactions on Industry Application. 2003. Vol. 39. No. 5. Pp. 1493–1498. doi:10.1109/TIA.2003.816554.
3. Bae I., Kim J. Reliability Evaluation of Distributed Generation Based on Operation Mode. IEEE Transactions on Power Systems. 2007. Vol. 22. No. 2. P. 785–790. doi:10.1109/TPWRS.2007.894842.
4. Medeiros R., Xu X., Makram E. Assessment of Operating Condition Dependent Reliability Indices in Microgrids. Journal of Power and Energy Engineering. 2016. No. 4. P. 56–66. doi:10.4236/jpee.2016.44006.
5. Kondo T., Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama. Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using facts devices. Electrical Engineering in Japan. 2008. Vol. 165. № 3. P. 16–28. doi:10.1002/ej.20499.
6. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 р. № 2019-VIII. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
7. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В. Оцінювання імовірнісних характеристик генерування сонячних електростанцій в задачі інтелектуалізації локальних електричних систем. Вісник НТУ «ХП». № 18. С. 92–100.
8. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Дідіченко Є.С. Аналіз метеопараметрів для погодинного прогнозування виробітку електроенергії фотовольтаїчними електростанціями на добу наперед. Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. 2017. № 1 (6). С. 27–31.
9. Лежнюк П.Д. Визначення оптимальної потужності резерву для забезпечення балансової надійності локальної електричної системи. Вісник Нац. техн. ун-ту «ХП»: зб. наук. пр. Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. 2016. № 42 (1214). С. 69–75.
10. Дерев'янюк Д.Г., Горенко Д.С. Особливості побудови та функціонування віртуальних електростанцій в умовах розвитку ОЕС України. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2016. № 3. С. 61–69.
11. Про ринок електричної енергії: Закон України. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2017. № 27-28. Ст. 312. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>.
12. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Національний стандарт України. Київ: Мінекономрозвитку України. 2014. 27 с.
13. Cody A. Hill, Matthew Clayton Such, Dongmei Chen, Juan Gonzalez, W. Mack Grady. Battery Energy Storage for Enabling Integration of Distributed Solar Power Generation. IEEE Transactions on Smart Grid. 2012. Vol: 3, Issue: 2, June. Pp. 850–857.
14. Мокін Б.І., Чепурний М.М., Мокін О.Б. Повітряна акумулююча електростанція з двома повітросховищами різного тиску. Наукові праці ВНТУ. 2008. № 1. С. 1–7.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ  
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЛАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ**

*В работе были рассмотрены условия функционирования возобновляемых источников электроэнергии, в частности фотозлектрических станций, согласно новому Закону «О рынке электрической энергии Украины», что позволило выделить ряд проблем, которые существенно затрудняют эксплуатацию фотозлектрических станций в энергосистеме Украины. В результате осмотра предложенных методов решения ряда проблем функционирования ФЭС в современных условиях энергорынка был сформирован новый критерий оптимизации, минимальное отклонение от прогнозируемого графика генерации. Согласно предложенному критерию задачи оптимизации, рассмотрены случаи работы ФЭС, когда используется фотозлектрическая станция, подключенная к локальной электрической сети без использования накопителей электрической энергии и без совместной работы со стабильным ВИЭ, когда используется фотозлектрическая станция с накопителями электрической энергии и когда ФЭС работает совместно со стабильным ВИЭ.*

**Ключевые слова:** *устойчивость, фотозлектрическая станция, критерий оптимизации, совместная работа, график генерации.*

---

**OPTIMIZATION OF WORK OF PHOTOELECTRIC STATIONS  
FOR ENSURING THE BALANCE OF THE ENERGY SYSTEM**

*In this work was considered the conditions for the functioning of renewable energy sources, in particular of photovoltaic stations, in accordance with the new law “On the Electricity Market of Ukraine”, which allowed to highlight a number of problems that significantly complicate the operation of photovoltaic stations in the Ukrainian energy grid. As a result of the review of the proposed methods for solving a number of problems in the operation of the FVS in the current conditions of the energy market, a new optimization criterion was formed, the minimum deviation from the predicted generation schedule. According to the proposed optimization criterion, cases of FVS operation are considered when the photovoltaic station is connected to a local electrical network without the use of electric energy storage devices and without compatible operation with stable renewable energy sources, when a photovoltaic station is used with electric energy storage devices and when the FVS works together with a stable RES.*

**Key words:** *stability, photovoltaic station, optimization criterion, joint work, generation schedule.*

УДК 620.92

**Чорна В.О.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Мельник О.Є.**

Криворізький національний університет

**Омельченко О.В.**

Донецький національний університет економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського

**Некрасов А.В.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Федь М.Г.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОГОДНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*У статті розглядається енергетична ефективність застосування фотоелектричних модулів як джерела електричної енергії для системи освітлення. Розглянуто основні параметри фотоелектричних модулів та їх математичний опис. На основі аналізу літературних джерел встановлені природні фактори, що впливають на продуктивність фотоелектричних модулів. За допомогою факторного аналізу розраховані значення температурного коефіцієнта, коефіцієнта зміни швидкості вітру та зміни сонячної радіації, а також встановлено ступінь їх впливу на зміну температури модуля. За результатами розрахунків встановлено максимальний обсяг генерованої модулем потужності, який зафіксовано у березні, а також той факт, що підвищення рівня сонячної радіації призводить до збільшення струму короткого замикання, а зростання температури повітря впливає на зменшення напруги холостого ходу фотоелектричного модуля. Доведена доцільність застосування фотоелектричної установки для живлення освітлювального навантаження навчального корпусу протягом року з урахуванням режиму її роботи та потенціалу установки.*

**Ключові слова:** фотоелектричний модуль, ефективність, температура, потужність, генерація.

**Постановка проблеми.** Проблеми постійного зростання тарифів на електроенергію, погіршення її споживчих якостей, екологічні аспекти використання традиційних джерел енергії спонукають до використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії.

Серед перспективних напрямів альтернативної енергетики важливе місце займає геліоенергетика, яка ґрунтується на безпосередньому перетворенні енергії сонячного випромінювання на інші види енергії [1, с. 26–27, 2, с. 7–15]. Сонячна енергетика є екологічно чистою галуззю, розвиток якої стимулюється як економічними факторами, так і діючими в багатьох країнах програмами державної підтримки. Екологічна чистота і доступність енергії сонця зумовили її широке застосування у багатьох країнах світу [3, 167–174]. Фотоелектричні станції не тільки генерують безкоштовну електроенергію, але й забезпечують безперебійне електропостачання, що в умовах постійних планових відключень є дуже актуальним.

Однак використання сонячних модулів у реальних умовах експлуатації має низку особливостей, які необхідно враховувати під час вибору обладнання сонячної електростанції. Так, на продуктивність сонячних модулів впливають такі фактори, як кліматичні умови регіону, в якому вони використовуються, термін експлуатації, спосіб їх очищення, погодні умови. Слід зауважити, що до теперішнього часу вплив перелічених факторів на функціонування фотоелектричних модулів (ФЕМ) вивчений не достатньо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У [4, с. 52–57] представлені результати досліджень впливу погодних умов (температури повітря, наявності опадів) та ступеня забруднення модуля на обсяг генерованої електроенергії протягом доби.

У роботі [5, с. 142–148] виконаний аналіз довгострокових досліджень кремнієвих сонячних панелей та обґрунтований комплекс кліматичних та апаратних факторів, що впливають на їх роботу;

отримані рівняння, за допомогою яких можна оцінити обсяг генерованої ФЕМ потужності з похибкою менше 5%.

У [6, с. 87–92] розглянуто річний потенціал сонячної енергетики в Полтавській області та доведено економічну доцільність застосування сонячних модулів у приватному домогосподарстві як джерела живлення побутових приладів та на умовах використання «зеленого тарифу».

**Метою статті** є оцінка ефективності роботи ФЕМ на освітлювальне навантаження навчального корпусу в умовах м. Кременчука Полтавської області з урахуванням кліматичних та погодних факторів.

**Основний матеріал.** Генерація електроенергії за допомогою сонячних станцій є напрямом альтернативної енергетики, що динамічно розвивається. Трансформуючи енергію сонячного випромінювання в електричний струм, ці системи дають змогу забезпечувати споживачів електричною енергією відокремлено від центральної електромережі.

Одним із найважливіших параметрів ФЕМ є вольт-амперна характеристика, яка являє собою залежність струму, що протікає через електричний ланцюг, від напруги, прикладеної до цього ланцюга. ФЕМ може працювати за будь-якої комбінації напруги і струму, розташованими на його вольт-амперній характеристиці. Однак у реальності модуль працює в одній точці в певний період часу. Ця точка визначається не типом модуля, а електричними характеристиками ланцюга, до якого підключений сонячний модуль.

На рисунку 1 приведена спрощена еквівалентна схема ФЕМ, що складається з паралельно з'єднаних діода та джерела струму. Поточне джерело генерує фотострум  $I_{ph}$ , прямо пропорційний сонячному випромінюванню  $G$  [7, с. 672–675].

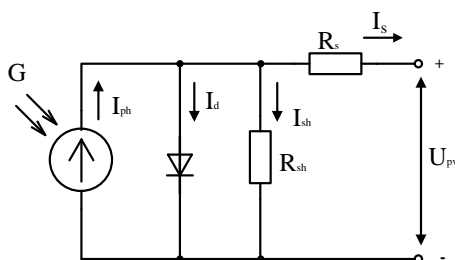


Рис. 1. Спрощена еквівалентна схема фотоелектричного модуля

До основних параметрів, які використовуються для характеристики модуля, належать струм короткого замикання та напруга холостого ходу. Рівняння струму має такий вигляд:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_0 \left[ e^{\frac{q(U_{pv} + I_{pv}R_s)}{AKT}} - 1 \right], \quad (1)$$

де  $I_{pv}$  – струм, що залежить від сонячного випромінювання;  $I_0$  – зворотний струм насичення діода;  $q$  – заряд одного електрона;  $K$  – постійна Больцмана;  $T$  – температура переходу;  $A$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу сонячної панелі;  $R_s$  – послідовний опір;  $R_{sh}$  – шунтуючий опір.

Краще поєднання значень струму і напруги називається точкою максимальної потужності (ТМП або МРР), якій відповідають номінальні потужність та ККД сонячного модуля (рис. 2). У роботі представлені результати досліджень ефективності ФЕМ типу Perlinght Solar PLM-250M.

Максимальна потужність фотомодуля дорівнює [8, с. 731–735]:

$$P_{max} = U_p I_p, \quad (2)$$

де  $U_p$  – робоча напруга;  $I_p$  – робочий струм.

Зазвичай у виробництві ФЕМ визначаються струм короткого замикання ( $I_{кз}$ ) і напруга холостого ходу ( $U_{xx}$ ). Залежність максимальної потужності, що генерується модулем, має вигляд:

$$P_{max} = F U_{xx} I_{кз}, \quad (3)$$

де  $F$  – коефіцієнт заповнення ВАХ.

Тоді можна записати:

$$U_p \oplus K_{xx} U_{xx}, \quad (4)$$

$$I_p \oplus K_{кз} I_{кз}, \quad (5)$$

де  $K_{xx}$  та  $K_{кз}$  – коефіцієнти, що враховують вплив кліматичних, апаратних та технологічних факторів.

Слід зазначити, що напруга холостого ходу і струм короткого замикання, отримані під час проведення випробувань на заводі виробника, можуть відрізнитися від реальних через вплив кліматичних та погодних факторів того чи іншого регіону. З урахуванням цього на етапі проектування фотоелектричної установки для конкретних умов експлуатації необхідно враховувати вплив вищезазначених факторів для оцінки потенціалу електрогенерування об'єкта.

Напруга холостого ходу ФЕМ у врахуванні його температури визначатиметься за виразом:

$$U_{xx} = U_{xx,ном} - k_n (T_{CB} - T_{CB,ном}) U_{xx,ном}, \quad (6)$$

де  $U_{xx,ном}$  – номінальна напруга холостого ходу ФЕМ;  $k_n$  – температурний коефіцієнт напруги (вказується в паспортних даних пристрою);  $T_{CB}$  – температура робочої поверхні ФЕМ [9, с. 37–41]:

$$T_{CB} = T_{CB,ном} + k_1 (T_{ПОВ} - T_{ПОВ,ном}) - k_2 HUM - k_3 Pr ess - k_4 v + k_5 (E_{CB} - E_{ном}), \quad (7)$$

Графік роботи системи освітлення

Місяць	Кількість сонячних днів	Кількість хмарних днів	Кількість робочих днів	Середньодобова к-ть сонячних годин	Потік сонячної радіації, кВт*год/м <sup>2</sup>	Середньодобова к-ть роботи освітлення, год	Загальна к-ть годин роботи
Січень	5	26	14	3	1,3	4	40
Лютий	8	20	20	4	2,1	5	120
Березень	12	19	23	5	3,2	4	92
Квітень	16	14	22	8	4,2	4	88
Травень	18	13	23	11	5,6	3	69
Червень	21	9	22	12	5,64	2	44
Липень	23	8	23	12	5,71	1	23
Серпень	22	9	13	11	5,07	2	26
Вересень	20	10	22	9	3,62	3	66
Жовтень	15	16	23	7	2,4	4	92
Листопад	9	21	22	4	1,5	5	110
Грудень	6	25	25	3	1,2	5	125

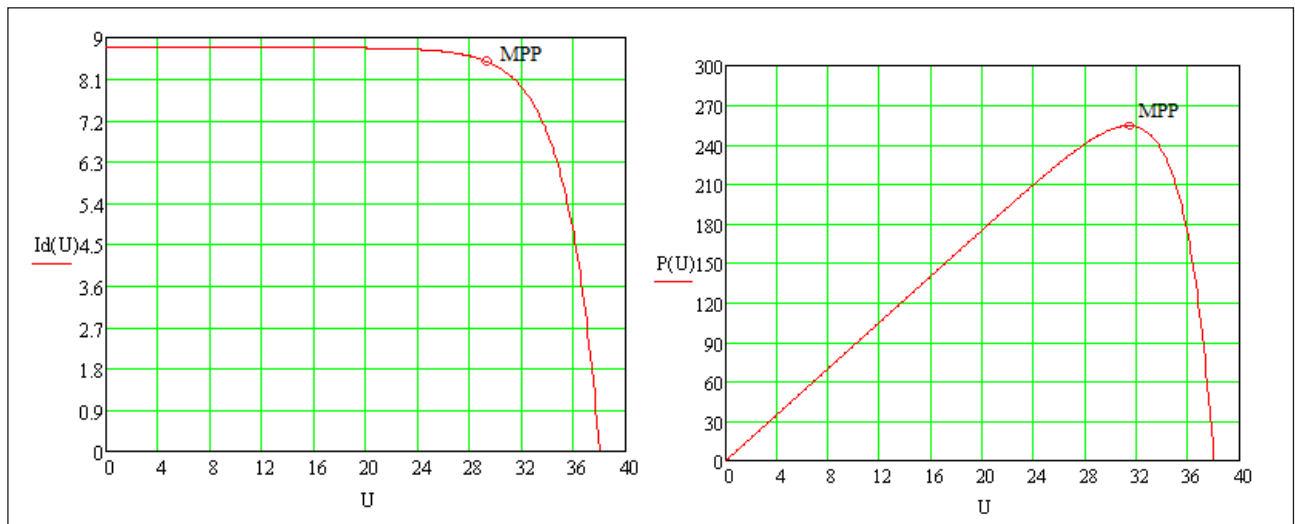


Рис. 2. Вольт-амперна характеристика (а) та характеристика потужності (б) фотоелектричного модуля за паспортними даними

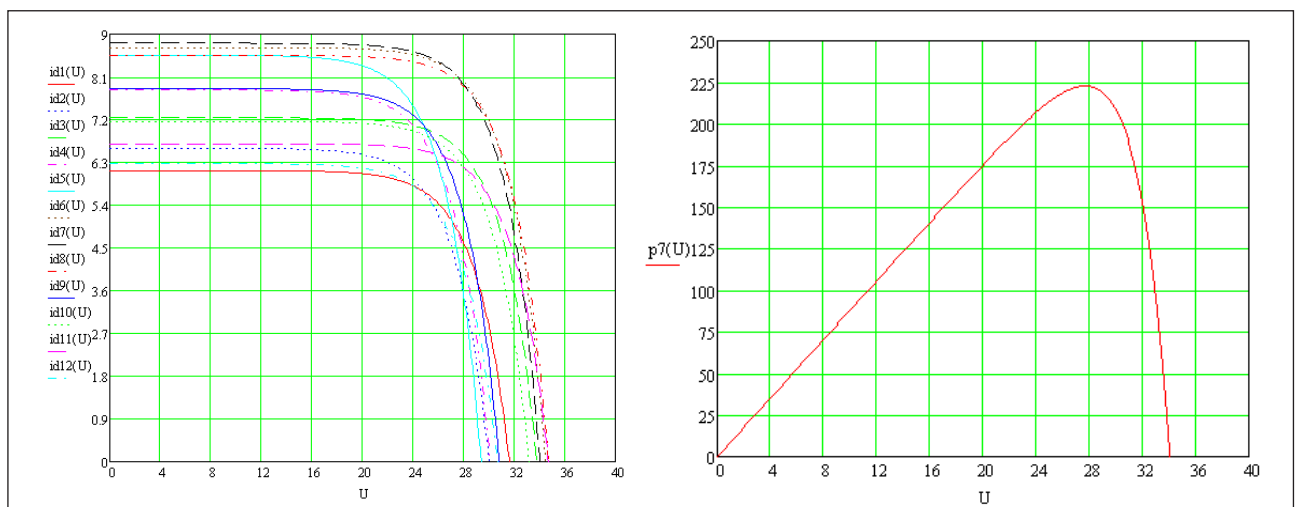


Рис. 3. Вольт-амперні характеристики ФЕМ для кожного місяця (а) та характеристика потужності у березні



Місяць	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
К-сть СБ SR, кВт·год/м <sup>2</sup>	1,3	2,1	3,2	4,2	5,6	5,64	5,71	5,07	3,62	2,4	1,5	1,2
10	3,26 дефіцит	4,42 дефіцит	6,7 повний	8,94 повний	9,92 повний	10,82 повний	10,7 повний	10,74 повний	9,75 повний	6,52 аварійний	4,3 дефіцит	3,24 дефіцит
11	3,58 дефіцит	4,9 дефіцит	7,4 повний	9,83 повний	10,9 повний	11,9 повний	11,77 повний	11,8 повний	10,7 повний	7,17 повний	4,73 дефіцит	3,56 дефіцит
12	3,9 дефіцит	5,3 дефіцит	8,1 повний	10,73 повний	11,9 повний	12,98 повний	12,84 повний	12,88 повний	11,69 повний	7,82 повний	5,15 дефіцит	3,88 дефіцит
13	4,23 дефіцит	5,74 дефіцит	8,73 повний	11,62 повний	12,89 повний	14,1 повний	13,92 повний	13,95 повний	12,67 повний	8,48 повний	5,58 дефіцит	4,21 дефіцит
14	4,56 дефіцит	6,19 дефіцит	9,4 повний	12,5 повний	13,89 повний	15,15 повний	14,9 повний	15,03 повний	13,65 повний	9,13 повний	6,02 дефіцит	4,53 дефіцит
15	4,88 дефіцит	6,63 дефіцит	10,1 повний	13,4 повний	14,88 повний	16,23 повний	16,1 повний	16,14 повний	14,62 повний	9,78 повний	6,45 дефіцит	4,85 дефіцит
16	5,21 дефіцит	7,1 аварійний	10,74 повний	14,3 повний	15,87 повний	17,3 повний	17,13 повний	17,17 повний	15,59 повний	10,44 повний	6,87 дефіцит	5,18 дефіцит
17	5,54 дефіцит	7,5 повний	11,4 повний	15,2 повний	16,86 повний	18,39 повний	18,2 повний	18,25 повний	16,57 повний	11,1 повний	7,3 аварійний	5,5 дефіцит
18	5,86 дефіцит	7,95 повний	12,1 повний	16,1 повний	17,86 повний	19,47 повний	19,27 повний	19,32 повний	17,54 повний	11,74 повний	7,73 повний	5,82 дефіцит
19	6,19 дефіцит	8,4 повний	12,75 повний	16,98 повний	18,85 повний	20,55 повний	20,34 повний	20,39 повний	18,52 повний	12,39 повний	8,16 повний	6,15 дефіцит
20	6,52 дефіцит	8,84 повний	13,43 повний	17,87 повний	19,84 повний	21,63 повний	21,41 повний	21,47 повний	19,49 повний	13,05 повний	8,59 повний	6,47 аварійний

Рис. 4. Обсяг вироблення енергії фотоелектричною установкою протягом доби та його відповідність навантаженню

де  $T_{СБном}$  – температура ФЕМ, що відповідає нормальним умовам експлуатації;  $T_{пов}$  – поточне значення температури повітря;  $T_{повном}$  – температура повітря, що відповідає нормальним умовам експлуатації;  $HUM$  – вологість повітря;  $P_{ress}$  – тиск повітря;  $v$  – швидкість вітру;  $E_{ном}$  – сонячна радіація, що приймається за норму для вимірювань (800 Вт/м<sup>2</sup>);  $E_{СБ}$  – сонячна радіація, яку поглинає ФЕМ;  $k_1$  – тепловий коефіцієнт;  $k_2$  – коефіцієнт зміни вологості;  $k_3$  – коефіцієнт зміни тиску;  $k_4$  – коефіцієнт зміни швидкості вітру;  $k_5$  – коефіцієнт зміни сонячної радіації.

Струм короткого замикання ФЕМ з урахуванням впливу температури визначається за виразом:

$$I_{кз} = I_{кз,ном} + k_c(T_{СБ} - T_{СБном})I_{кз,ном} \quad (8)$$

де  $I_{кз,ном}$  – струм короткого замикання ФЕМ;  $k_c$  – температурний коефіцієнт струму (вказується в паспортних даних).

Коефіцієнти  $k_1 - k_5$  розраховуються з використанням багатофакторного аналізу, що застосовується в різних сферах дослідження взаємозв'язку між значеннями змінних, і вказують наскільки зміниться температура ФЕМ залежно від певного фактора [10, с. 35–38; 11]. У розрахунках коефіцієнтів використані середньомісячні показники швидкості вітру, температури повітря та сонячної радіації у 2015–2016 рр. у м. Кременчуці. Атмосферний тиск та вологість повітря не були

враховані під час розрахунків через обмежену кількість вихідних даних. Результати розрахунків такі:  $k_1 = 0,71$ ,  $k_4 = 0,24$ ,  $k_5 = 0,16$ . Це свідчить про істотний вплив температури повітря на зміну температури ФЕМ та менш суттєвий вплив швидкості вітру та інтенсивності сонячної радіації.

З урахуванням зовнішніх та внутрішніх факторів вирази (4) та (5) матимуть такий вигляд:

$$U_p = 0,698U_{xx} \quad (9)$$

$$I_p = 0,736I_{кз} \quad (10)$$

На основі результатів проведених розрахунків отримано сімейство ВАХ ФЕМ для кожного місяця року з урахуванням факторів впливу на ефективність її роботи (рис. 3).

З отриманих графіків видно, що максимальний обсяг генерованої модулем потужності спостерігається у березні і досягається за рахунок оптимального співвідношення факторів навколишнього середовища. Підвищення ж рівня сонячної радіації призводить до збільшення струму короткого замикання, а зростання температури повітря впливає на зменшення напруги холостого ходу ФЕМ [12, с. 371–372].

З урахуванням реальної потужності, яку виробляє один ФЕМ, та враховуючи режими роботи споживача протягом року, визначено ступінь забезпеченості останнього електричною енергією з відновлюваного джерела (рис. 4). При цьому як

споживача було обрано систему освітлення будівлі навчального закладу, добовий обсяг споживання електроенергії якого коливається від 1,6 до 7,7 кВт·год протягом року. Враховуючи кількість робочих днів та потребу в освітленні для кожного з місяців року, у таблиці 1 наведено графік роботи системи освітлення з урахуванням метеорологічних даних протягом року, на основі якого і розраховувалась фотоелектрична установка.

Як видно з таблиці, найбільша кількість енергії споживається системою освітлення у зимовий період, при цьому сонячна активність у цей період найнижча. У літній же період для забезпечення системи освітлення електричною енергією досить роботи лише десяти одиниць ФЕМ. Тобто можна стверджувати про доцільність використання електроенергії від фотоелектричної установки інших споживачів будівлі.

Результати розрахунку вказують, що у кількості ФЕМ 20 одиниць споживач повністю забезпечений електричною енергією у зимовий період, а в літній період спостерігається навіть надлишок

виробленої електричної енергії, яку можна використовувати для живлення інших споживачів.

Отже, врахування умов навколишнього середовища дає змогу отримувати дані про енергетичні характеристики сонячних панелей у будь-яку пору року та час доби. Отримані за допомогою факторного аналізу поправочні коефіцієнти на погодні умови дають можливість прогнозування рівня вироблення електричної енергії з достатнім ступенем точності.

#### Висновки.

1. Проведений факторний аналіз впливу кліматичних умов на ефективність роботи сонячних панелей, у результаті якого визначені коефіцієнти впливу факторів навколишнього середовища на генерацію електричної енергії ФЕМ.

2. Використовуючи реальні показники ефективності функціонування, розраховано обсяг генерації електричної енергії та проведено його аналіз на відповідність потребам споживання електричної енергії системою освітлення будівлі навчального закладу.

#### Список літератури:

1. Global (2016) Statistical Review of World Energy 2016 Workbook. URL: [https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources\\_Report\\_2016.pdf](https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/World-Energy-Resources_Report_2016.pdf) (дата звернення 15.09.2018).
2. “Snapshot of Global PV 1992–2014” (PDF). International Energy Agency – Photovoltaic Power Systems Programme. 30 March 2015. Archived from the original on 30 March 2015.
3. Lo Piano, Samuele; Mayumi, Kozo (2017). “Toward an integrated assessment of the performance of photovoltaic power stations for electricity generation”. *Applied Energy*. 186 (2). 167–174.
4. Юмаев Н.Р., Юсуфбеков Н.Ш. Исследование влияния погодных условий на параметры работы солнечных батарей в естественных условиях эксплуатации. *Технические науки: традиции и инновации: материалы III Международной научной конференции*. Казань. Молодой ученый, 2018. С. 52–57.
5. Юрченко А.В., Волгин А.В., Козлов А.В. Статистическая модель кремниевых солнечных батарей, работающая под воздействием природных и аппаратных факторов. *Известия Томского политехнического университета*. 2009. Т. 314. № 4. С. 142–148.
6. Shokarov D., Chorna V., Bogodist K. Economic feasibility study of expediency of establishment of solar modules in the private household. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2017. № 31 (1253). С. 87–92.
7. Elami, K., Sinan, K., Furkan, D., Sabir, R., Muharrem, K., Emin, U. & Utku, E., (2014). The analysis of PV power potential and system installation in Manavgat, Turkey. A case study in winterseason, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 31. PP. 671–680.
8. Белан Б.Д., Юрченко А.В., Козлов А.В., Пестунов Д.А. Влияние параметров атмосферы на энергетические характеристики кремниевой солнечной батареи. *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18. № 8 С. 731–734.
9. Козлов А.В., Ковалевский В.К., Юрченко А.В. Результаты климатических испытаний солнечной батареи в натуральных условиях г. Томска. *Светотехника*. № 1. 2005. № 4. С. 37–41.
10. Еременко В.С., Мокийчук В.М., Самойличенко О.В. Исследование мощности критерия Кохрена при ограниченном числе наблюдений. *Системи обробки інформації*. 2007. № 6 (64). С. 35–38.
11. Planning for the unexpected, *Scientific Computing World*: February/ March 2006. URL: <http://www.scientific-computing.com> (дата звернення 20.09.2018).
12. Rodrigues E.M.G. et al. Simulation of a solar cell considering single-diode equivalent circuit model. *International conference on renewable energies and power quality*, Spain. 2011. С. 369–373.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*В статье рассматривается энергетическая эффективность применения фотоэлектрических модулей в качестве источника электрической энергии для системы освещения. Рассмотрены основные параметры фотоэлектрических модулей и их математическое описание. На основе анализа литературных источников установлены природные факторы, влияющие на производительность фотоэлектрических модулей. С помощью факторного анализа рассчитаны значения температурного коэффициента, коэффициента изменения скорости ветра и изменения солнечной радиации, а также установлена степень их влияния на изменение температуры модуля. По результатам расчетов установлен максимальный объем генерируемой модулем мощности, который зафиксирован в марте, а также тот факт, что повышение уровня солнечной радиации приводит к увеличению тока короткого замыкания, а рост температуры воздуха влияет на уменьшение напряжения холостого хода фотоэлектрического модуля. Доказана целесообразность применения фотоэлектрической установки для питания осветительной нагрузки учебного корпуса в течение года с учетом режима ее работы и потенциала установки.*

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, эффективность, температура, мощность, генерация.

## RESEARCHES OF WEATHER CONDITIONS INFLUENCE ON PHOTOVOLTAIC SYSTEM EFFICIENCY

*The energy efficiency of the use of photovoltaic modules as a source of electric energy for the lighting system is considered. The main parameters of photovoltaic modules and their mathematical description are considered. Based on the analysis of literary sources, natural factors that influence the performance of photovoltaic modules are established. Using factor analysis, the values of the temperature coefficient, the coefficient of change in wind velocity and changes in solar radiation are calculated, and the degree of their influence on the temperature change of the module is calculated. According to the calculation results, the maximum volume generated by the power module, recorded in March, and the fact that the increase in the level of solar radiation leads to an increase in the short-circuit current, and the increase in the temperature of the air affects the reduction of the idle voltage of the photovoltaic module. The expediency of using a photovoltaic installation for feeding the illumination load of an educational building during the year, taking into account its mode of operation and installation potential, is proved.*

**Key words:** photovoltaic system, efficiency, temperature, power, generation.

## РОЗРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

УДК 622.24.058

**Василишин В.Я.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Василишин Я.В.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**Павлик І.В.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ НАРІЗЕВИХ З'ЄДНАНЬ

*Найбільш технологічними для збирання колон в умовах промислів є муфтові різьбові з'єднання. Проте розлади стандартних різьбових з'єднань спричинюють 70% усіх ускладнень з обсадними та насосно-компресорними колонами. Це призводить до значних матеріальних втрат, зниження продуктивності відбору сировини, забруднення надр і довкілля. Особливо гостро проявляється втрата герметичності цих з'єднань при розвідці та розробці газових і газоконденсатних родовищ. Насосно-компресорні труби (НКТ), що експлуатуються у свердловинах з обводненістю більше 60% та у глибиннонасосних свердловинах із кривизною більше 14%, не витримують встановленого терміна служби. Передчасний вихід із ладу НКТ відбувається внаслідок агресивної дії пластових вод, органічних кислот, агресивних газів, гідроерозійного впливу, механічного зносу, а також унаслідок втомного руйнування під дією змінних навантажень. Тому актуальним завданням є удосконалення різьбових з'єднань у напрямі підвищення надійності та працездатності для умов високих експлуатаційних навантажень. Для їх вирішення необхідно провести теоретичні й експериментальні дослідження, на основі яких можна розробити ефективні методи і засоби підвищення надійності кріплення нафтогазових свердловин.*

**Ключові слова:** насосно-компресорна труба, напружено-деформований стан, втомна довговічність, момент затягування, руйнування, втрата герметичності.

**Постановка завдання.** Аварії з колонами насосно-компресорних труб (НКТ) під час їх експлуатації є доволі поширеним явищем.

Автор роботи [1] зазначає, що найчастіше аварійність НКТ спричиняють різьбові з'єднання, зокрема такі: руйнування (34%); втрата герметичності (12%); з'єднання не згвинчується – критичне значення натягу і геометричних параметрів профілю (43%); з'єднання не розгвинчується – «прихоплення» різьби (11%). Тут же наводиться й аналіз порушень роботи по ВАТ «Укрнафта», який показав, що відмови різьбового з'єднання насосно-компресорних труб серед усіх інших видів склали: у 2008 році – 32,8%, у 2009 році – 34,2%, у 2010 році – 32,2%.

Зазначається, що труби та різьбові з'єднання при нафтовидобутку в ускладнених умовах піддаються не тільки інтенсивному корозійному

впливу агресивного середовища, але й значним знакозмінним механічним навантаженням, що призводить до активного руйнування різьби труб. Причин, які зумовлюють такий стан аварійності, більш ніж достатньо, проте основними є вплив агресивного середовища та напружено-деформований стан. Згідно із дослідженнями А.Н. Адоніна, за умов глибинонасосного способу видобування вуглеводневої сировини колона насосно-компресорних труб навантажена: силою розтягу від власної ваги та частини ваги рідини в трубах, яка не передається на штанги при ході вверх; додатковою силою розтягу від ваги стовпа рідини, що діє на прийомний клапан при русі точки підвіски штанг вниз; силами тертя, які виникають унаслідок зворотно-поступального руху колони насосних штанг. Додатково в поперечному перерізі НКТ можуть виникати згинальні моменти, серед

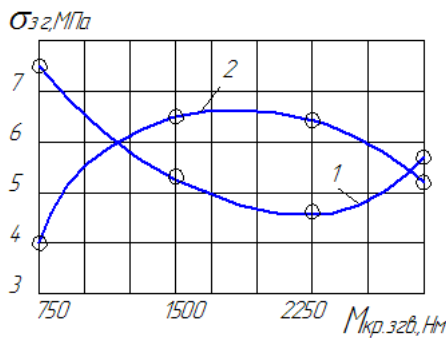
Таблиця поділених різниць

(x) $M_{кр.зв.},$ кНм	(y) $\sigma_{зв.},$ МПа	Значення перших різниць	Значення других різниць	Значення третіх різниць
$x_0$	$y[x_0]$	$y[x_0, x_1]$	$y[x_0, x_1, x_2]$	$y[x_0, x_1, x_2, x_3]$
$x_1$	$y[x_1]$	$y[x_1, x_2]$	$y[x_1, x_2, x_3]$	
$x_2$	$y[x_2]$			
$x_3$	$y[x_3]$			

причин виникнення яких є криволінійні ділянки свердловин та коливання.

Сукупна дія вищезазначених силових факторів може призводити до значних осьових та радіальних деформацій насосно-компресорної колони, які, до того ж, є змінними у часі.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Авторами [2; 6] розглянуто зміну напруження в серединному перерізі довжини різьби ніпеля і муфти з ростом моменту затягування за умов дії на з'єднання моменту згину  $H \cdot м$  (рис. 1).



1 - ніпель; 2 - муфта

Рис. 1. Розподіл напружень в різьбовому з'єднанні ЗН-75, що виникають від зовнішнього навантаження ( $M_{зв.}=1200 \text{ Нм}$ ), за різних  $M_{кр.зв.}$

Ці залежності подано у співставленні із залежностями, які встановлюють зв'язок між граничною амплітудою і крутним моментом згинування для з'єднань, виготовлених зі сталі 45. Для з'єднань, які згвинчені з  $M_{кр.зв.}=750 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , гранична амплітуда згинальних моментів найменша. При цьому напруження в ніпелі максимальне, а в муфті – мінімальне. Із цього випливає, що при недостатньому  $M_{кр.зв.}$  зовнішнє навантаження сприймає ніпель. У з'єднаннях, які згвинчені з  $M_{кр.зв.}=1500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , значно збільшилася гранична амплітуда. Напруження в ніпелі різко падають, а у муфті – зростають. Таким чином, збільшення  $M_{кр.зв.}$  призвело до сприятливого перерозподілу напруження в деталях з'єднання. Руйнування від втомлюваності проходить по ніпелю, оскільки під

час згвинчування в ньому виникають напруження розтягання, а у муфті – стискування.

З'єднання, які згвинчені з  $M_{кр.зв.}=2250 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , мають найвищу граничну амплітуду. Подальше збільшення  $M_{кр.зв.}$  до  $3000 \text{ Н} \cdot \text{м}$  призводить до її зменшення порівняно з максимальним значенням. Напруження в ніпелі починають зростати, а у муфті – спадати. Так, установлюється зв'язок між граничною амплітудою з'єднань, згвинчених різними крутними моментами, і напруженнями, які виникають у деталях з'єднання за умов дії на них моменту згину. Цим самим можна прогнозувати оптимальний крутний момент, для якого гранична амплітуда з'єднання найвища.

Використаємо вираз поділених різниць [3; 4] для створення інтерполяційного поліному третього степеня залежності напружень, що виникають у ніпелі (1) та муфті (2) (рис. 1) під дією на них моменту згину залежно від зовнішнього навантаження за різних  $M_{кр.зв.}$  [4].

Побудуємо таблицю поділених різниць (табл. 1).

У прийнятих позначеннях маємо:

$$y(x) = y[x_0] + (x - x_0)y[x_0, x_1] + (x - x_0)(x - x_1)y[x_0, x_1, x_2] + (x - x_0)(x - x_1)(x - x_2)y[x_0, x_1, x_2, x_3]. \quad (1)$$

Складемо таблиці числових значень поділених різниць, розрахованих за формулою (1) та даними, взятими з рис. 1.

$$\sigma_{зв.} = -0,416(M_{кр.зв.})^3 + 3,695(M_{кр.зв.})^2 - 9,743 M_{кр.зв.} + 12,904.$$

Взявши похідну з цього виразу та прирівнявши її до нуля, визначимо

$$\sigma_{зв. \min} = 4,869 \text{ МПа при } M_{кр.зв.} = 1,9814 \text{ кНм}.$$

Таким чином, для муфти маємо інтерполяційний поліном виду

$$\sigma_{зв.} = 0,553(M_{кр.зв.})^3 - 4,710(M_{кр.зв.})^2 + 11,687 M_{кр.зв.} - 2,348.$$

Взявши похідну з цього виразу та прирівнявши її до нуля, визначимо

$$\sigma_{зв. \max} = 6,655 \text{ МПа при } M_{кр.зв.} = 1,83 \text{ кНм}.$$

Для з'єднань, які згвинчені з  $M_{кр.зв.} = 750 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $M_{кр.зв.} = 1500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,

$M_{кр.зв.} = 2250 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , ці напруження дорівнюють відповідно  $68,0 \text{ Н/мм}^2$ ,  $135,0 \text{ Н/мм}^2$ ,  $202,0 \text{ Н/мм}^2$  [3].

Таблиця поділених різниць для ніпеля 1 (рис. 1)

$M_{кр.зав.}$ кНм	$\sigma_{зав.}$ МПа	Значення перших різниць	Значення других різниць	Значення третіх різниць
0,75	7,50	$\frac{5,20 - 7,50}{1,50 - 0,75} = -3,067$ $\frac{4,95 - 5,20}{2,25 - 1,50} = -0,333$	$\frac{-0,333 - (-3,067)}{2,25 - 0,75} = 1,823$ $\frac{1,000 - (-0,333)}{3,00 - 1,50} = 0,887$	$\frac{0,887 - 1,823}{3,00 - 0,75} = -0,416$
1,50	5,20			
2,25	4,95			
3,00	5,70	$\frac{5,70 - 4,95}{3,00 - 2,25} = 1,000$		

Таблиця 2

Таблиця поділених різниць для муфти 2 (рис. 1)

$M_{кр.зав.}$ кНм	$\sigma_{зав.}$ МПа	Значення перших різниць	Значення других різниць	Значення третіх різниць
0,75	4,00	$\frac{6,45 - 4,00}{1,50 - 0,75} = 3,267$ $\frac{6,40 - 6,45}{2,25 - 1,50} = -0,067$ $\frac{5,25 - 6,40}{3,00 - 2,25} = -1,533$	$\frac{-0,067 - 3,267}{2,25 - 0,75} = -2,222$ $\frac{-1,533 + 0,067}{3,00 - 1,50} = -0,977$	$\frac{-0,977 + 2,222}{3,00 - 0,75} = 0,553$
1,50	6,45			
2,25	6,40			
3,00	5,25			

1) знайдемо напруження і переміщення довгого кругового порожнинного циліндра (обсадної труби), який знаходиться під дією нормальних зовнішнього  $p_3$  і внутрішнього  $p_B$  тисків, рівномірно розподілених по бічній поверхні (рис. 2).

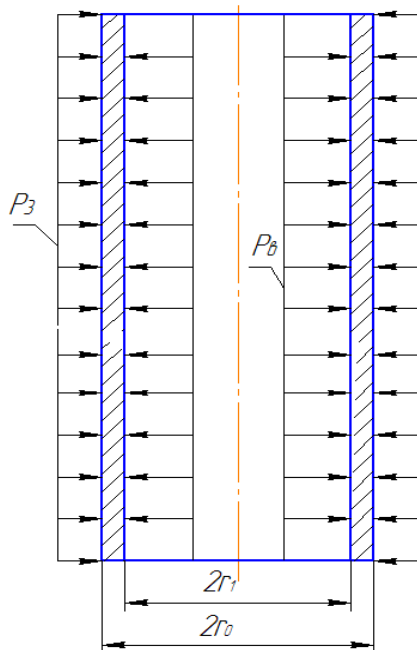


Рис. 2. Схема рівномірно розподілених по бічній поверхні довгого кругового порожнинного циліндра тисків  $P_3$  і  $P_B$

Позначивши компоненти тензора напружень у довільній точці циліндра в циліндричних координатах  $\rho, \phi, z$  як

$$\left. \begin{matrix} \sigma_\rho, & \tau_{\rho\phi}, & \tau_{\rho z}, \\ \tau_{\phi\rho}, & \sigma_\phi, & \tau_{\phi z}, \\ \tau_{z\rho}, & \tau_{z\phi}, & \sigma_z \end{matrix} \right\},$$

та зважаючи, що у цьому разі полярно-симетрична задача і є дві крайові умови  $\sigma_{\rho=r_1} = -p_B$  і  $\sigma_{\rho=r_0} = -p_3$ , приймаємо функцію напружень у формі  $\psi = A \ln \rho + C\rho^2$ .

Згідно з формулами

$$\sigma_\rho = \frac{1}{\rho} \frac{d\psi}{d\rho} = \frac{A}{\rho^2} + B(1 + 2 \ln \rho) + 2C,$$

$$\sigma_\phi = \frac{d^2\psi}{d\rho^2} = -\frac{A}{\rho^2} + B(3 + 2 \ln \rho) + 2C,$$

$$\tau_{\rho\phi} = \tau_{\phi\rho} = 0,$$

напруження будуть дорівнювати:

$$\sigma_\rho = \frac{A}{\rho^2} + 2C, \quad \sigma_\phi = -\frac{A}{\rho^2} + 2C, \quad \tau_{\rho\phi} = \tau_{\phi\rho} = 0.$$

Використовуючи крайові умови напруження будуть дорівнювати:

$$A = \frac{r_1^2 r_0^2 (p_3 - p_B)}{r_0^2 - r_1^2}, \quad 2C = \frac{r_1^2 p_B - r_0^2 p_3}{r_0^2 - r_1^2},$$

звідки

$$\sigma_\rho = \frac{1}{r_0^2 - r_1^2} \left[ r_1^2 p_B - r_0^2 p_3 + \frac{r_1^2 r_0^2}{\rho^2} (p_3 - p_B) \right],$$

$$\sigma_\phi = \frac{1}{r_0^2 - r_1^2} \left[ r_1^2 p_B - r_0^2 p_3 - \frac{r_1^2 r_0^2}{\rho^2} (p_3 - p_B) \right].$$

Якщо  $u_\rho, u_\phi, u_z$  – компоненти переміщень, то для визначення переміщення  $u_\rho$  ( $u_\phi = 0$ ) треба проінтегрувати рівняння

$$e_{\rho\rho} = \frac{1}{E}(\sigma_\rho - \nu\sigma_\phi), \quad e_{\phi\phi} = \frac{1}{E}(\sigma_\phi - \nu\sigma_\rho), \quad e_{\rho\phi} = \frac{2(1+\nu)}{E}\tau_{\rho\phi} \quad (2)$$

та співвідношень  $\nu_1 = \frac{\nu}{1-\nu}$ ,  $E_1 = \frac{E}{1-\nu^2}$ .

Рівняння для цієї задачі мають вигляд:

$$E_1 \frac{du_\rho}{d\rho} = \sigma_\rho - \nu_1\sigma_\phi, \quad E_1 \frac{u_\rho}{\rho} = \sigma_\phi - \nu_1\sigma_\rho. \quad (3)$$

Із рівнянь (3) отримуємо

$$u_\rho = \frac{1}{2G(r_0^2 - r_1^2)} \left[ (1-2\nu)(r_1^2 p_B - r_0^2 p_3) \rho + \frac{r_1^2 r_0^2}{\rho} (p_B - p_3) \right].$$

2) визначимо напруження і переміщення кругового порожнинного циліндра довжиною  $h$  (обсадної труби), який знаходиться під дією нормальних зовнішнього  $p_3$  і внутрішнього  $p_B$  тисків, рівномірно розподілених по бічній поверхні, що спирається на абсолютно жорстку і гладку площину (рис. 3).

У разі осесиметричної деформації тіл обертання напруження і деформації виражаються через одну бігармонічну функцію  $\psi_3 = \psi$ :

$$2Gu_\rho = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial \rho \partial z}; \quad u_\phi = 0;$$

$$2Gu_z = \left[ 2(1-\nu)\nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \psi + \delta;$$

$$\sigma_\rho = \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu \nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} \right) \psi; \quad \tau_{\phi\rho} = \tau_{\rho\phi} = \tau_{z\rho} = \tau_{\phi z} = 0;$$

$$\sigma_\phi = \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu \nabla^2 - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} \right) \psi;$$

$$\sigma_z = \frac{\partial}{\partial z} \left[ (2-\nu)\nabla^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \psi;$$

$$\tau_{z\rho} = \tau_{\rho z} = \frac{\partial}{\partial \rho} \left[ (1-\nu)\nabla^2 - \frac{\partial}{\partial z^2} \right] \psi,$$

де

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} + \frac{\partial^2}{\partial z^2};$$

$\delta$  – довільна постійна.

Підстановкою перевіряємо, що у заданій системі напружень задовольняються два рівняння рівноваги і чотири рівняння нерозривності деформацій, якщо  $\nabla^2 \nabla^2 \psi = 0$ .

Для визначення функції  $\psi$  вигідно задати її у вигляді степенного скінченного ряду змінної  $z$ , коефіцієнтами якого є невідомі функції  $\rho$ :

$$\psi(z, \rho) = \sum_{k=0}^4 f_k(\rho) z^k = f_0(\rho) + f_1(\rho) z + f_2(\rho) z^2 + f_3(\rho) z^3 + f_4(\rho) z^4.$$

Підставляючи цей вираз у бігармонічний оператор

$$\nabla^2 \nabla^2 \psi = \left( \frac{\partial^4}{\partial \rho^4} + \frac{2}{\rho} \cdot \frac{\partial^3}{\partial \rho^3} - \frac{1}{\rho^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho^3} \cdot \frac{\partial}{\partial \rho} + \right.$$

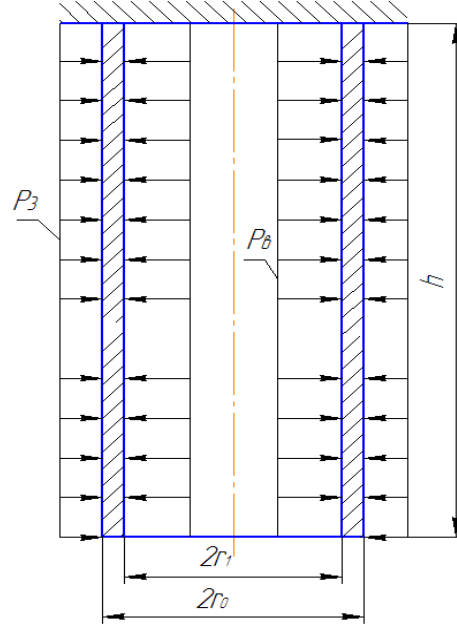


Рис. 3. Схема рівномірно розподілених по бічній поверхні кругового порожнинного циліндра довжиною  $h$ , що опирається на абсолютно жорстку і гладку площину тисків  $P_3$  і  $P_B$

$$+ 2 \frac{\partial^4}{\partial \rho^2 \partial z^2} + \frac{2}{\rho} \cdot \frac{\partial^3}{\partial \rho \partial z^2} + \frac{\partial^4}{\partial z^4} \Big) \psi = 0$$

і прирівнюючи до нуля коефіцієнти в однакових степенях  $z$ , отримуємо диференціальні рівняння для визначення невідомих функцій  $f_i$ . Ці рівняння ейлеровського типу й інтегруються в елементарних функціях. Результат інтегрування виражається формулами:

$$f_0(\rho) = A_0 + B_0 \ln \rho + C_0 \rho^2 + D_0 \rho^2 \ln \rho + \frac{1}{4} \left( \frac{9}{4} B_4 + \frac{1}{2} D_2 - \frac{3}{2} A_4 - C_2 \right) \rho^4 - \frac{1}{8} (3B_4 + 2D_2) \rho^4 \ln \rho + \frac{1}{8} \left( C_4 - \frac{5}{6} D_4 \right) \rho^6 + \frac{D_4}{8} \rho^6 \ln \rho;$$

$$f_1(\rho) = A_1 + B_1 \ln \rho + C_1 \rho^2 + D_1 \rho^2 \ln \rho + \frac{3}{4} \left( \frac{D_3}{2} - C_3 \right) \rho^4 - \frac{3}{4} D_3 \rho^4 \ln \rho;$$

$$f_2(\rho) = A_2 + B_2 \ln \rho + C_2 \rho^2 + D_2 \rho^2 \ln \rho + \frac{3}{2} \left( \frac{D_4}{2} - C_4 \right) \rho^4 - \frac{3}{2} D_4 \rho^4 \ln \rho;$$

$$f_3(\rho) = A_3 + B_3 \ln \rho + C_3 \rho^2 + D_3 \rho^2 \ln \rho;$$

$$f_4(\rho) = A_4 + B_4 \ln \rho + C_4 \rho^2 + D_4 \rho^2 \ln \rho.$$

Для крайових умов маємо:

$$\text{за } \rho = r_1 \quad \sigma_\rho = -p_B, \quad \tau_{\rho z} = 0;$$

$$\text{за } \rho = r_0 \quad \sigma_\rho = -p_3, \quad \tau_{\rho z} = 0;$$

$$\text{за } z = 0 \quad \sigma_z = \tau_{z\rho} = 0;$$

за  $z = h \quad u_z = 0$ .

Аналіз функції  $\psi$  і крайових умов дозволяє зробити такі висновки:

1) функція  $\psi$  залежить від непарних функцій  $f_n$ . Парні функції характеризують тиск, пропорційний першій степені  $z$ ;

2) щоб  $\tau_{\rho z} = 0$  при  $\rho = r_1, \rho = r_0$ , повинні дорівнювати нулю константи  $D_1, B_3, C_3, D_3$ ;

3) постійна  $A_1$  не впливає на напружений та деформований стан.

Беручи до уваги перераховані умови, отримаємо

$$\psi(z, \rho) = (B_1 \ln \rho + C_1 \rho^2)z + A_3 z^3. \quad (5)$$

Складаючи вирази для напружень і переміщень та задовольняючи крайовим умовам, знаходимо:

$$B_1 = \frac{p_3 - p_B}{r_0^2 - r_1^2} r_1^2 r_0^2; \quad C_1 = \frac{(1-\nu)(p_3 r_0^2 - p_B r_1^2)}{2(1+\nu)(r_0^2 - r_1^2)};$$

$$A_3 = -\frac{(2-\nu)(p_3 r_0^2 - p_B r_1^2)}{3(1+\nu)(r_0^2 - r_1^2)}; \quad \delta = -\frac{\nu(p_3 r_0^2 - p_B r_1^2)h}{G(1+\nu)(r_0^2 - r_1^2)}.$$

Переміщення і напруження будуть дорівнювати:

$$u_\rho = -\frac{1}{2G(r_0^2 - r_1^2)} \left[ \frac{(p_3 - p_B)r_1^2 r_0^2}{\rho} + \frac{(1-\nu)(p_3 r_0^2 - p_B r_1^2)}{1+\nu} \rho \right];$$

$$u_z = \frac{\nu(p_3 r_0^2 - p_B r_1^2)}{G(1+\nu)(r_0^2 - r_1^2)} (z - h);$$

$$\sigma_\rho = \frac{r_1^2 r_0^2}{r_0^2 - r_1^2} \frac{p_3 - p_B}{\rho^2} - \frac{p_3 r_0^2 - p_B r_1^2}{r_0^2 - r_1^2};$$

$$\sigma_\phi = -\frac{r_1^2 r_0^2}{r_0^2 - r_1^2} \frac{p_3 - p_B}{\rho^2} - \frac{p_3 r_0^2 - p_B r_1^2}{r_0^2 - r_1^2};$$

$$\sigma_z = \tau_{z\rho} = 0.$$

3) розглянемо рівновагу кругового порожнинного циліндра (обсадної труби), який знаходиться під дією рівномірно розподілених дотичних сил, прикладених до лицевих циліндричних поверхонь (випадок першої крайової задачі) (рис. 4). Задачу розв'яжемо методом функції напружень.

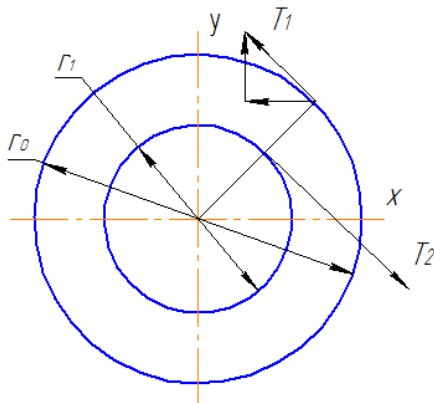


Рис. 4. Схема рівномірно розподілених дотичних сил, прикладених до лицевих циліндричних поверхонь

Головні вектори прикладених на кожній з поверхонь  $\rho = r_1$  і  $\rho = r_0$  сил кожний окремо дорівнюють нулю, тому з формул

$$\phi(z) = -\frac{1}{2\pi(1+\chi)} \sum_{k=1}^m (V_{1k} + iV_{2k}) \ln(z - z_k) + \phi^*(z), \quad (6)$$

$$\psi(z) = \frac{\chi}{2\pi(1+\chi)} \sum_{k=1}^m (V_{1k} - iV_{2k}) \ln(z - z_k) + \psi^*(z), \quad (7)$$

де  $V$  – головний вектор поверхневих сил, прикладених до всієї поверхні;

$\phi^*(z), \psi^*(z)$  – голоморфні функції;

$$\chi = \frac{\lambda + 3\mu}{\lambda + \mu} = 3 - 4\nu;$$

$\lambda, \mu$  – постійні Ламе

впливає, що функції  $\phi(z)$  і  $\psi(z)$  голоморфні всередині кільця (див. рис.5). Ці функції  $\phi(z)$  і  $\psi(z)$  визначаються з граничних умов

$$\phi(t_1) + t_1 \overline{\phi'(t_1)} + \overline{\psi(t_1)} = f(t_1) + c_1 \text{ на колі } \rho = r_0, \quad (8)$$

$$\psi(t_2) + t_2 \overline{\psi'(t_2)} + \overline{\phi(t_2)} = f(t_2) + c_2 \text{ на колі } \rho = r_1,$$

де

$$f(t_1) = i \int_0^1 (T_1 + iT_2) dl = ir_1 T_1 \int_0^\alpha (-\sin \alpha + i \cos \alpha) d\alpha = iT_1(t_1 - r_0),$$

$$f(t_2) = iT_2(t_2 - r_1).$$

Унаслідок рівності моментів співвідношення між дотичними силами  $T_1$  і  $T_2$  мають вигляд  $T_1 r_0^2 = T_2 r_1^2$ .

У круговому кільці (див. рис. 4.9) функції  $\phi(z)$  і  $\psi(z)$  беремо у вигляді

$$\phi(z) = 0, \quad \psi(z) = \frac{b_1}{z}. \quad (9)$$

Ураховуючи (4.37) в граничних умовах, знайдемо  $\bar{b}_1 = iT_1 r_0^2$ ;  $c_1 = -iT_1 r_0$ , звідки  $b_1 = -iT_1 r_0^2$ .

Таким чином,  $\phi(z) = 0, \quad \psi(z) = -iT_1 r_0^2 \frac{1}{z}$ .

Знаючи:

а) співвідношення, які дають комплексну уяву компонентів тензора напружень при плоскому деформованому стані середовища

$$\sigma_{11} + \sigma_{22} = 2[\phi'(z) + \overline{\phi'(z)}] = 4 \operatorname{Re}[\phi'(z)],$$

$$\sigma_{22} - \sigma_{11} + 2i\sigma_{12} = 2[\bar{z}\phi''(z) + \psi'(z)];$$

б) аналітичну функцію  $z = \omega(\zeta)$ ;

в) увівши нові позначення

$$\phi(z) = \phi(\omega(\zeta)) = \phi_1(\zeta), \quad \psi(z) = \psi(\omega(\zeta)) = \psi_1(\zeta),$$

отримаємо, що функції  $\phi_1(\zeta), \psi_1(\zeta)$  є голоморфними в області одиничного круга  $|\zeta| < 1$  в площині  $\zeta$ ,

г) формули

$$\sigma_{\rho\rho} + \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{11} + \sigma_{22},$$

$$\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{\rho\rho} + 2i\sigma_{\rho\theta} = (\sigma_{22} - \sigma_{11} + 2i\sigma_{12}) e^{2i\alpha},$$

знайдемо

$$\sigma_{\rho\rho} + \sigma_{\theta\theta} = 2[\Phi_1(\zeta) + \overline{\Phi_1(\zeta)}], \quad (4.10)$$

$$\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{\rho\rho} + 2i\sigma_{\rho\theta} = \frac{2\zeta^2}{\rho^2 \omega'(\zeta)} \left[ \overline{\omega(\zeta)} \Phi_1'(\zeta) + \omega'(\zeta) \Psi_1(\zeta) \right],$$



де  $\sigma_{\rho\rho}, \sigma_{\theta\theta}, \sigma_{\rho\theta}$  – компоненти тензора напружень у полярних координатах;

$$\Phi_1(\zeta) = \phi'(z) = \Phi(z); \quad \Psi_1(\zeta) = \psi'(z) = \Psi(z).$$

Із формул (4.11) маємо

$$\sigma_{\rho\rho} + \sigma_{\theta\theta} = 0; \quad \sigma_{\rho\rho} - \sigma_{\theta\theta} - 2i\sigma_{\rho\theta} = -2iT_1r_0^2 \frac{1}{z\bar{z}}.$$

Звідси знайдемо, що  $\sigma_{\rho\rho} = \sigma_{\theta\theta} = 0$ ,  $\sigma_{\rho\theta} = \frac{T_1r_0^2}{\rho^2}$ .

З іншого боку з формули

$$u_\rho + iu_\theta = \frac{\bar{\zeta}}{\rho} \frac{\omega'(\zeta)}{|\omega'(\zeta)|} (u_1 + iu_2) \quad (4.11)$$

з урахуванням формули

$$2\mu(u_1 + iu_2) = \chi\phi(z) - z\phi'(z) - \overline{\psi(z)} \quad \text{знайдемо}$$

$$2\mu(u_\rho + iu_\theta) = i \frac{T_1r_0^2}{\rho},$$

$$\text{звідки } u_\rho = 0, \quad u_\theta = \frac{T_1r_0^2}{2\mu} \frac{1}{\rho}.$$

**Висновки.** На основі проведеного розрахунку силових факторів в елементах різбових з'єднань у різних способах навантаження побудовано графіки розподілу дотичних зусиль, які діють на витки різби, і нормальних зусиль у трубі та муфті. Отримано емпіричні формули у вигляді поліномів третього та четвертого степенів інтенсивності розподілу нормальних зусиль по довжині різби.

Теоретично доведено розробленими інтерполяційними поліномами третього степеня, що існує мінімальне для труби і максимальне для муфти напруження в різбовому з'єднанні, що виникають від зовнішнього навантаження при різних моментах згину.

За удосконаленою пружно-деформаційною моделлю труб розглянуто часткові випадки напружено-деформованого стану обсадних та насосно-компресорних труб.

#### Список літератури:

1. Васишин В.Я. Підвищення працездатності різбових з'єднань труб нафтового сортаменту: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.12 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2013. 20 с.
2. Савула С.Ф., Колодій В.Т., Харченко Є.В. та ін.. Оцінка впливу коливань колони насосно-компресорних труб на умови роботи різбових з'єднань. Науковий вісник національного технічного університету нафти і газу. 2004. № 2 (8). С. 116–125.
3. Фокс А., Пратт М. Вычислительная геометрия. Применение в проектировании и на производстве: Пер. с англ. Москва: Мир, 1982. 304 с.
4. Васишин В.Я. Вплив крутного моменту згинчування на опір втомлюваності замкових різбових з'єднань бурильних труб. Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. 2010. № 4 (37.). С. 55–58.
5. Рачкевич Р.В. Напружено-деформований стан стисненої бурильної колони у горизонтальному стовбурі свердловини. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2012. № 3 (44). С. 70–77.
6. Рачкевич Р.В. Прогнозування довговічності бурильної колони в ускладнених умовах буріння свердловини: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.12 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2013. 20 с.

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Наиболее технологическими для сбора колонн в условиях промыслов являются муфтовые резьбовые соединения. Однако расстройства стандартных резьбовых соединений вызывают 70% всех осложнений с обсадными и насосно-компрессорными колоннами. Это приводит к значительным материальным потерям, снижению производительности отбора сырья, загрязнение недр и окружающей среды. Особенно остро проявляется потеря герметичности этих соединений при разведке и разработке газовых и газоконденсатных месторождений. Насосно-компрессорные трубы, эксплуатируемые в скважинах с обводненностью более 60% и в глубиннонасосных скважинах с кривизной более 140, не выдерживают установленного срока службы. Преждевременный выход из строя НКТ происходит вследствие агрессивного воздействия пластовых вод, органических кислот, агрессивных газов, гидроэрозийного влияния, механического износа, а также вследствие усталостного разрушения под действием переменных нагрузок. Поэтому актуальной задачей является совершенствование резьбовых соединений в направлении повышения их надежности и работоспособности для условий высоких эксплуатационных нагрузок. Для их решения необходимо провести теоретические и экспериментальные исследования, на основе которых можно разработать эффективные методы и средства повышения надежности крепления нефтегазовых скважин.

**Ключевые слова:** насосно-компрессорная труба, напряженно-деформированное состояние, усталостная долговечность, момент затяжки, разрушение, потеря герметичности.

**THEORETICAL INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF CONSTRUCTION AND OPERATING FACTORS ON THE WORK OF NARASE CONNECTIONS**

*The most technologically useful for assembling columns in the conditions of crafts are muffled threaded joints. However, the disorder of standard threaded connections causes 70% of all complications with casing and pump-compressor columns. This leads to significant material losses, reduced productivity of the selection of raw materials, pollution of the earth's interior and the environment. Particularly acute is the loss of tightness of these compounds in the exploration and development of gas and gas condensate fields. Pump-compressor tubes (tubes) operated in wells with a watering capacity of more than 60% and in deep-well wells with a curvature of more than 140 can not withstand the established service life. Premature failure of tuberculosis occurs due to the aggressive action of formation water, organic acids, aggressive gases, hydro-erosive effects, mechanical wear, as well as fatigue failure due to variable loads. Therefore, the actual task is to improve threaded joints in order to increase their reliability and performance for conditions of high operating loads. To solve them, it is necessary to conduct theoretical and experimental research, on the basis of which it is possible to develop effective methods and means to increase the reliability of attachment of oil and gas wells.*

**Key words:** *pump-compressor tube, stress-deformed state, fatigue life, torque, fracture, loss of tightness.*

УДК 622.272

**Калініченко О.В.**

ДВНЗ «Криворізький національний університет»

## ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАСИВУ МАТЕМАТИЧНИМИ МЕТОДАМИ

У роботі для вирішення завдань дослідження, моніторингу та прогнозування напружено-деформованого стану гірського масиву під час видобутку залізної руди підземним способом використано розрахунковий метод кінцевих елементів. Визначено поля напружень, деформацій масиву навколо виробленого простору порожніх камер і камер, заповнених твердіючою закладкою. Наведено ізолінії максимальних напружень  $\sigma_1$  із зазначеними величинами в контрольних точках порожніх камер і камер із закладкою виробленого простору. Установлено нові залежності величини максимальних вертикальних деформацій денної поверхні в контрольних точках гірського масиву при різних фізико-механічних властивостях гірських порід.

**Ключові слова:** гірський масив, підземна розробка, напружено-деформований стан, твердіюча закладка, напруження, деформації.

**Постановка проблеми.** Численні методи моделювання, що враховують фізико-механічні властивості неоднорідних гірських масивів, вимагають значних потужностей для вирішення завдань високої обчислювальної складності. Критерієм вибору оптимальної концепції застосування інформаційних технологій з моніторингу й управління напружено-деформованим станом масиву має бути мінімум матеріальних витрат на моніторинг великих за площею територій і масивів гірських порід.

Відомо низку методів, користуючись якими можна розрахувати і змоделювати розподіл напружень навколо виробки. Це моделювання методом фотопружності, розрахунковий метод кінцевих елементів (МКЕ) тощо. У загальному вигляді сутність методів полягає в тому, що в умовах, коли напруження в окремих ділянках перевищують допустимі (граничні для породи), масив починає руйнуватися.

Зі збільшенням площі оголення і глибин гірських робіт для масиву будь-якої міцності час стійкого стану оголень зменшується, а швидкість виділення потенційної енергії пружних деформацій зростає.

Швидкістю протікання кінетичних процесів можна управляти в досить широких межах, застосовуючи різні технологічні заходи і прийоми (зміна розмірів оголень, їх форм, орієнтації, використання різних видів підтримки виробок тощо).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині існує значна кількість прикладних програм, які дають змогу визначити напружено-деформований стан гірського масиву. До таких програм

можна зарахувати «SolidWorks», «Ліра», «Ansys», «GTSNX», «SCAD» і низку інших. Ці програмні комплекси допомагають досліджувати гірський масив як для безперервно-пружного, так і пружно-пластичного середовища.

Варто зазначити, що кожен програмний комплекс має низку обмежень, а також переваг і недоліків.

Так, програмний комплекс «Ansys» виконує розрахунки з обмеженою кількістю розрахункових елементів. «SolidWorks» вирішує тільки об'ємні завдання з обмеженою кількістю розрахункових рівнянь (не більше ніж 10 млн. шт.). «Ліра» вимагає ручного вибору форми досліджуваного елемента або масиву. «GTSNX» і «SCAD» призначені, як правило, для вирішення будівельних завдань.

Для вирішення завдань, пов'язаних із визначенням поля напружень, деформацій масиву навколо виробленого простору, можна виділити такі програмні комплекси – «SolidWorks», «Ліра», «Ansys».

У роботі розрахунок напружень і деформацій виконувався за допомогою програм «Ansys» і «SolidWorks 2015» [1–6].

Серед робіт, присвячених дослідженням пружно-деформованого стану масиву, можна виділити роботи М.І. Ступніка, О.В. Калініченко [9–14], В.Ф. Трумбачева [15] та інших. Водночас не встановлено основні закономірності зміни напружено-деформованого стану масиву під час застосування твердіючої закладки в умовах Криворізьких рудників.

**Постановка завдання.** Отже, дослідження напружено-деформованого стану масиву мате-

матичними методами, встановлення залежності величини максимальних вертикальних деформацій денної поверхні в контрольних точках гірського масиву при різних фізико-механічних властивостях гірських порід є актуальною проблемою, що має важливе наукове та практичне значення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У таблиці 1 подано вихідні фізико-механічні властивості гірської породи й матеріалу закладки під час розрахунку напружень і деформацій за допомогою програми «SolidWorks 2015» [7–8].

Таблиця 1  
**Фізико-механічні властивості гірської породи й матеріалу закладки**

Параметри	Одиниці вимірювань	Порода	Закладка
Модуль Юнга	МПа	50000	500
Об'ємна вага	кг/м <sup>3</sup>	3400	2000
Межа міцності на розтяг	МПа	14	0,2
Межа міцності на стиск	МПа	140	2
Коефіцієнт Пуасона		0,25	0,15

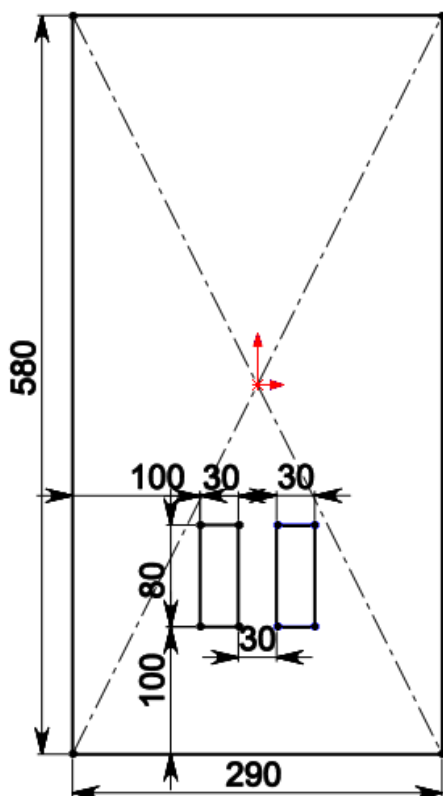


Рис. 1. Вихідна розрахункова схема масиву гірських порід з двома очисними камерами й міжкамерним цілком

На рисунку 1 представлена вихідна розрахункова схема масиву гірських порід з двома очисними камерами й міжкамерним цілком для розрахунку напружень і деформацій у гірському масиві під час відпрацювання родовища камерними системами розробки з формуванням відкритого очисного (відпрацьованого) простору. У подальшому запропонована технологія передбачає заповнення відпрацьованих камер закладними сумішами або обвалення вміщуючих порід (міжкамерних і міжповерхових ціликів) на відпрацьований простір очисних камер.

Нижче наведено результати розрахунку полів напружень у масиві гірських порід при відпрацьованих очисних камерах, а також під час закладки останніх твердіючими закладними сумішами (рисунок 2). Представлено ізолінії поля головних напружень навколо камер з відкритим очисним простором (а) і камер, заповнених твердіючою закладкою (б).

Для візуального визначення напружень усі ізолінії мають певне значення напружень (Па), а також відповідають певній колірній шкалі.

З рисунка 2 видно, що загальна картина розподілу поля напружень є класичною: найбільшої абсолютної величини напруження досягають поблизу кутів утвореної очисної камери з боку рудного масиву. Спостерігається невелика концентрація напружень у кутах на днищі камери. Поява значних максимальних напружень  $\sigma_1$  в кутах камери пояснюється дією стискаючих напружень. З віддаленням углуб рудного масиву напруження  $\sigma_1$  зменшуються, а їх характер розподілу стає більш рівномірним.

Концентрація максимальних напружень  $\sigma_1$  спостерігається в незакладених камерах – у верхніх і нижніх кутах камер, у закладених – тільки в нижній їх частині.

У деяких випадках бічні оголення очисної камери характеризуються тим, що в центральній частині бічної твірної з'являються розтягуючі напруження  $\sigma_3$ . Напруження  $\sigma_1$  в цьому випадку зменшуються від кордону камери вглиб рудного масиву.

На рисунку 3 представлені епюри деформацій у вигляді градієнтної кольорової діаграми гірського масиву при 2-х відпрацьованих незаповнених камерах, яка дає змогу візуально визначити величину деформацій гірського масиву в різних його частинах.

На рисунку 4 представлені епюри деформацій (градієнтна кольорова діаграма) гірського масиву при 2-х відпрацьованих камерах, запо-

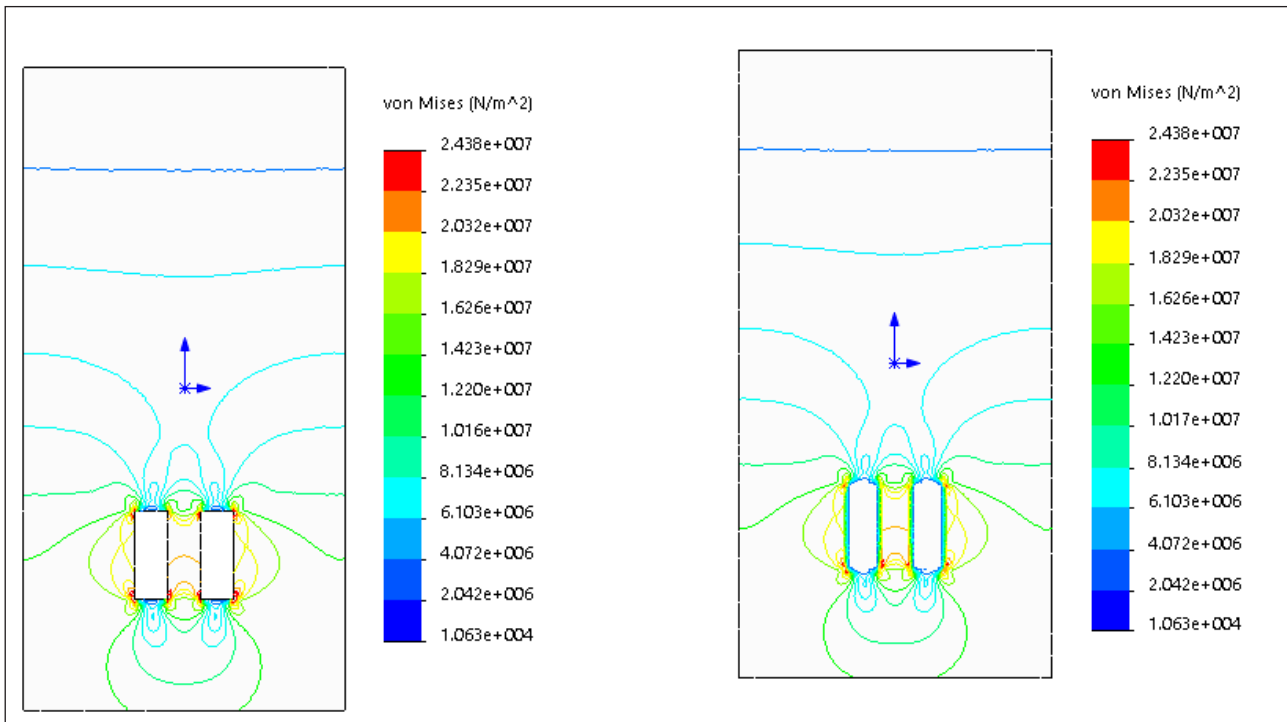


Рис. 2. Ізолнії максимальних напружень  $\sigma_1$ : а – пусті камери, б – камери із закладкою

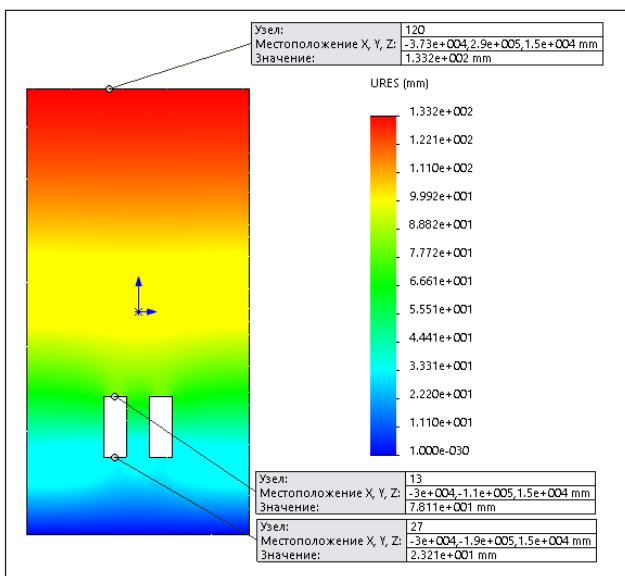


Рис. 3. Епюри деформацій (градієнтна кольорова діаграма) гірського масиву при 2-х відпрацьованих незаповнених камерах

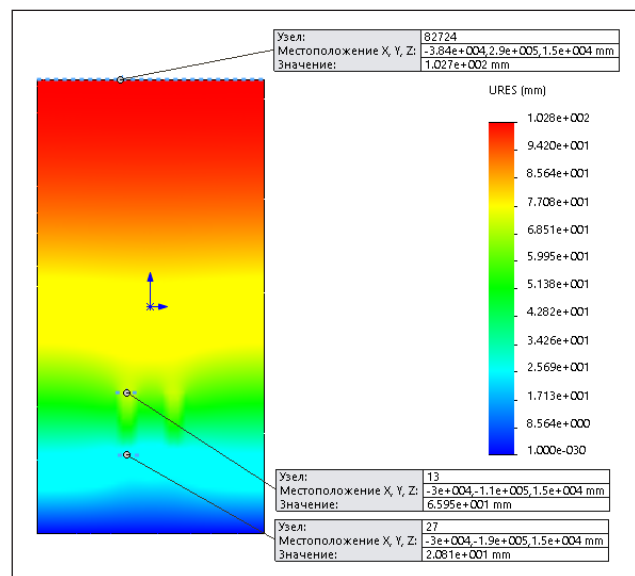


Рис. 4. Епюри деформацій (градієнтна кольорова діаграма) гірського масиву при 2-х відпрацьованих камерах, закладених твердіючою закладкою

внених твердіючою закладкою, згідно з наявними технологіями відпрацювання покладів системами розробки із закладенням виробленого простору.

Залежно від розрахункової стійкості камер діючі максимальні напруження  $\sigma_1$  мають різний ефект на загальну картину напружено-деформованого стану масиву. При величинах, далеких від

критичних значень, вони не можуть викликати руйнування масиву.

Варто зазначити, що під дією деформацій бокова поверхня й покрівля камери можуть трансформуватися та набувати опуклої форми. У цьому випадку в них з'являються розтягуючі напруження  $\sigma_3$ , які можуть послабити стелину, а в деяких випадках призвести до її обвалу.

Водночас при величинах, близьких до критичних значень, діючі напруження можуть викликати руйнування стелин або міжкамерних ціликів з подальшим руйнуванням навколишнього масиву.

Наприклад, максимальні стискаючі напруження в нижніх кутах незакладених камер становлять 22–25 МПа при межі порід на стиснення в 140 МПа, тобто їх величина становить усього 16–18 % від критичних значень.

Щодо деформацій гірського масиву в контрольних точках, то картина дещо інша: при незакладених камерах на рівні їх покрівлі деформації становлять 78 мм, а на денний поверхні – 133 мм. У разі заповнення камер твердіючою закладкою ці деформації в вищевказаних контрольних точках трохи менші й становлять, відповідно, 66 і 103 мм.

Отримані розрахункові значення залежності величини максимальних вертикальних зсувів денної поверхні від фізико-механічних властивостей гірських порід, що характеризуються модулем пружної деформації Юнга, добре апроксимуються логарифмічною кривою, яка визначається рівнянням виду:

$$\varepsilon = -227,12 \ln E + 2584,7, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – величина максимальних вертикальних зсувів денної поверхні, мм;

$E$  – модуль пружної деформації Юнга, МПа.

Це рівняння дає змогу визначати величину максимальних вертикальних зсувів денної поверхні під час формування очисних камер з відкритим

очисним простором у гірських породах з різними фізико-механічними характеристиками.

Аналогічна залежність величини максимальних вертикальних зсувів денної поверхні від різних фізико-механічних властивостей гірських порід у разі заповнення відпрацьованих очисних камер твердіючою закладкою добре апроксимується логарифмічною кривою, яка визначається рівнянням виду:

$$\varepsilon = -180,91 \ln E + 2059,7. \quad (2)$$

**Висновки.** Отже, доведено, що залежність величини максимальних вертикальних зсувів денної поверхні від різних фізико-механічних властивостей гірських порід, що характеризуються модулем пружної деформації Юнга, з досить високою ймовірністю можна апроксимувати логарифмічною кривою.

Установлено параметри лінії тренда й визначено рівняння для знаходження величини вертикальних деформацій  $\varepsilon$  гірського масиву залежно від модуля пружної деформації гірських порід  $E$  і стану очисних камер. Визначено достовірність апроксимації для діагностованих кривих.

Наступним кроком планується дослідження поля напружень уже не окремих елементів, а найбільш проблемних ділянок Кривбасу у великих масштабах для моніторингу процесів взаємодії та управління процесами взаємодії полів напружень під час ведення гірських робіт.

#### Список літератури:

1. Панжин А.А., Панжина Н.А. Мониторинг геодинамических процессов на горных предприятиях и урбанизированных территориях. Горный информ.-аналит. бюл. 2007. № 3. С. 171–183.
2. Сашурин А.Д., Панжин А.А., Коновалова Ю.П. Исследование геодинамических процессов с применением GPS-технологий. Горный информ.-аналит. бюл. 2003. № 7. С. 34–38.
3. Сашурин А.Д., Беликов В.Е. Проблемы устойчивости подземных и наземных сооружений в зоне тектонических нарушений. Вопросы осушения, горнопромышленной геологии и охраны недр: материалы Международного симпозиума. Белгород: ВИОГЕМ. 2003. С. 206–216.
4. Сашурин А.Д. Диагностика геодинамической активности участков размещения объектов недропользования для снижения риска природно-техногенных катастроф. Геотехнологические проблемы комплексного освоения недр: сб. научных трудов / ИГД УрО РАН. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. Вып. 5 (95). С. 419–428.
5. Інформаційні технології – складова процесів моніторингу та керування напружено-деформованим станом масиву / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, І.О. Музика, О.В. Калініченко, М.Б. Федько, С.В. Письменний. Розробка родовищ 2015: щорічний наук.-техн. зб. Дніпропетровськ: Літограф, 2015. С. 175–181.
6. Дослідження напружено-деформованого стану гірського масиву покладу магнетитових кварцитів в умовах шахти «Гігант-Глибока» ПАТ «ЦГЗК» / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, І.О. Музика, О.В. Калініченко, М.Б. Федько, С.В. Письменний. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2015. № 5. С. 85–88.
7. Методические указания по исследованию проявлений горного давления на моделях из эквивалентных материалов. Ленинград: Изд. ВНИМИ, 1976. 83 с.
8. Глушихин Ф.П. Моделирование в геомеханике. Москва: Недра, 1991. 240 с.
9. Pismennij S. Theoretical and Practical Solution of Mineral Resources Mining: CRC Press is an imprint of the Taylor&Francis Group, an informa business A BALKEMABOOK, 2015. С. 39–45.

10. Kalinichenko E., Stupnik N., Kalinichenko V., Muzika I., Fed'ko M., Pis'menniy S. The research of strain-stress state of magnetite quartzite deposit massif in the condition of mine "Gigant-Gliboka" of central iron ore enrichment works (CGOK). Metallurgical and mining industry. 2015. No. 7. P. 377–382.

11. Калініченко О.В. Удосконалення концепції управління напружено-деформованим станом гірського масиву при підземних гірничих роботах. Сборник научных трудов Государственного предприятия «Научно-исследовательский горнорудный институт». Кривой Рог, 2015. С. 104–111.

12. Калініченко О.В. Удосконалення концепції системного управління процесами підземних гірничих робіт з урахуванням впливу на них напружено-деформованого стану гірського масиву. Гірничий вісник: наук.-техн. збірник. Кривий Ріг, 2016. Вип. 100. С. 27–31.

13. Stupnik M., Kalinichenko V., Pysmennyi S., Kalinichenko O., Fedko M. Method of simulating rock mass stability in laboratory conditions using equivalent materials. Mining of Mineral Deposits, National Mining University. 2016. Volume 10, Issue 3. P. 47 – 52.

14. Удосконалення методики визначення параметрів буровибухових робіт з урахуванням напружено-деформованого стану масиву при його обваленні на похиле оголення / М.І. Ступнік, В.О. Калініченко, М.Б. Федько, О.В. Калініченко, І.О. Музика, С.В. Письменний. Гірничий вісник: наук.-техн. збірник. Кривий Ріг, 2017. Вип. 102. С. 47–53.

15. Трумбачев В.Ф., Мельников Е.А. Распределение напряжений в целиках и потолочинах камер. Исследование распределения напряжений вокруг горных выработок: сборник. Углетехиздат, 1959. 44 с.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА МАТЕМАТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*В работе для решения задач исследований, мониторинга и прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при добыче железной руды подземным способом использован расчетный метод конечных элементов. Определены поля напряжений, деформаций массива вокруг выработанного пространства пустых камер и камер, заполненных твердеющей закладкой. Приведены изолинии максимальных напряжений  $\sigma I$  с указанными величинами в контрольных точках пустых камер и камер с закладкой выработанного пространства. Установлены новые зависимости величины максимальных вертикальных деформаций дневной поверхности в контрольных точках горного массива при различных физико-механических свойствах горных пород.*

**Ключевые слова:** горный массив, подземная разработка, напряженно-деформированное состояние, твердеющая закладка, напряжения, деформации.

### ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF ROCKS BY MATHEMATICAL METHODS

*In the article the calculation method of finite elements is used to analyze, monitor and forecast the stress-strain state of the rock massif when mining iron ore by underground methods. There are determined stress fields and strains around the dead area of empty and backfilled stopes. Also, isolines of maximum stresses  $\sigma I$  in control points of empty stopes and those with backfilled dead areas are provided. There are determined new dependencies of the value of maximum vertical strains of the daylight surface in the control points of the rock massif for various physical and mechanical properties of rocks.*

**Key words:** rock massif, underground mining, stress-strain state, consolidating backfill, strains.

УДК 622.267.5

**Круковский А.П.**

Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова

**Минеев С.П.**

Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова

**Круковская В.В.**

Институт геотехнической механики имени Н.С. Полякова

**Беликов И.Б.**

Центральный штаб ГВГСС Украины

**Янжула А.С.**

Шахтоуправление «Покровское»

**Гулай А.А.**

Шахтоуправление «Покровское»

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ БАРЬЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ ВБЛИЗИ ИЗОЛИРОВАННОГО ПОЖАРНОГО УЧАСТКА

*В статье выполнено численное исследование фильтрационной проницаемости углеродного массива с изолированным участком, действующей подготовительной выработкой и барьерным целиком в зависимости от его напряженного состояния. Разработаны рекомендации по определению безопасной ширины изоляционного целика в условиях ПАО «ШУ «Покровское». Исключена фильтрация пожарных газов в конвейерный штрек 7-й прим южной лавы блока 10, обеспечена безопасность ведения очистных работ по газовому фактору.*

**Ключевые слова:** *фильтрационная проницаемость, напряженно-деформированное состояние, пожарные газы, барьерные целики.*

**Постановка проблемы.** Подготовка выемочного столба 7-й прим южной лавы блока 10 на ПАО «ШУ «Покровское» проводилась в границах ранее подготовленного выемочного участка 7-й южной «бис» лавы блока 10, в выработках которой в августе 2016 года произошла вспышка метановоздушной смеси с последующим возникновением пожара, рис. 1. В связи с этим было принято решение об изоляции аварийного участка путем установки двух перемычек:

– перемычку № 1 – в промежуточном штреке 7 южной «бис» лавы блока 10;

– перемычку № 2 – в 7 южном «бис» конвейерном штреке блока 10.

Согласно требованиям КД 12.01.401-96 «Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция», очистные работы вблизи пожарного участка необходимо вести с оставлением барьерных целиков, ширина которых определяется расчетом, но не должна быть

меньше 20 м. Расчет ширины барьерных целиков в данном случае необходимо выполнять, исходя из двух условий – обеспечения их устойчивости и газовой непроницаемости. Во время пожаров в угольных шахтах резко изменяется состав атмосферы: снижается содержание кислорода и увеличивается содержание диоксида углерода, оксида углерода, водорода, предельных и непредельных углеводородов [1]. При определенных значениях проницаемости пород целика и перепада давления может произойти утечка пожарных газов в атмосферу нового выемочного участка.

**Постановка задачи.** Целью данной работы является исследование фильтрационной проницаемости углеродного массива с изолированным участком, действующей подготовительной выработкой и барьерным целиком в зависимости от его напряженного состояния.

**Изложение основного материала исследования.** 7-я прим южная лава блока 10 находится в юго-восточ-



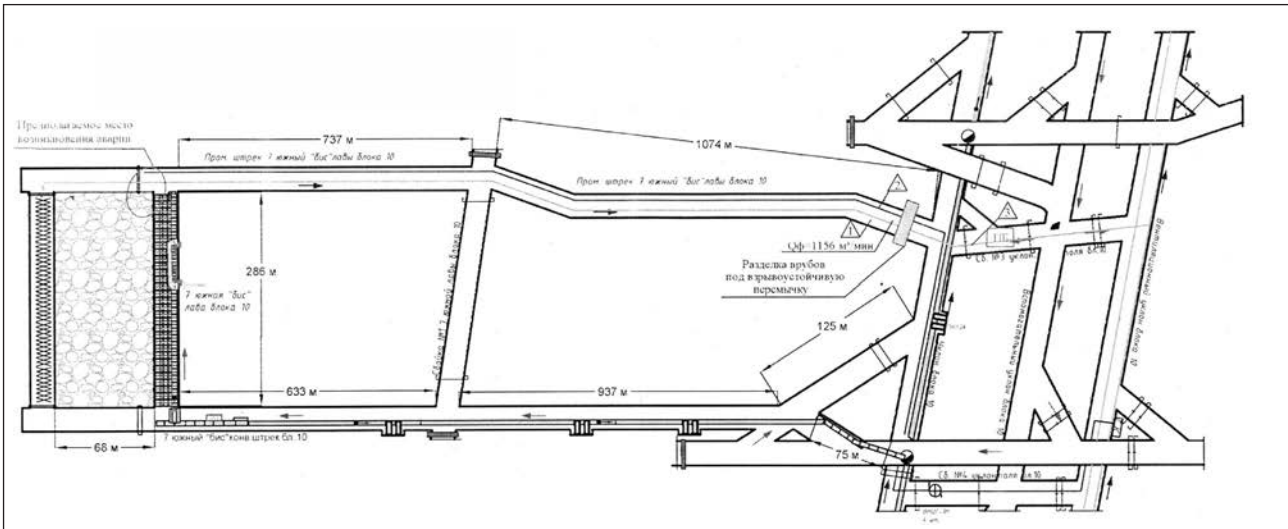


Рис. 1. Схема аварийного участка 7-й южной «бис» лавы блока 10

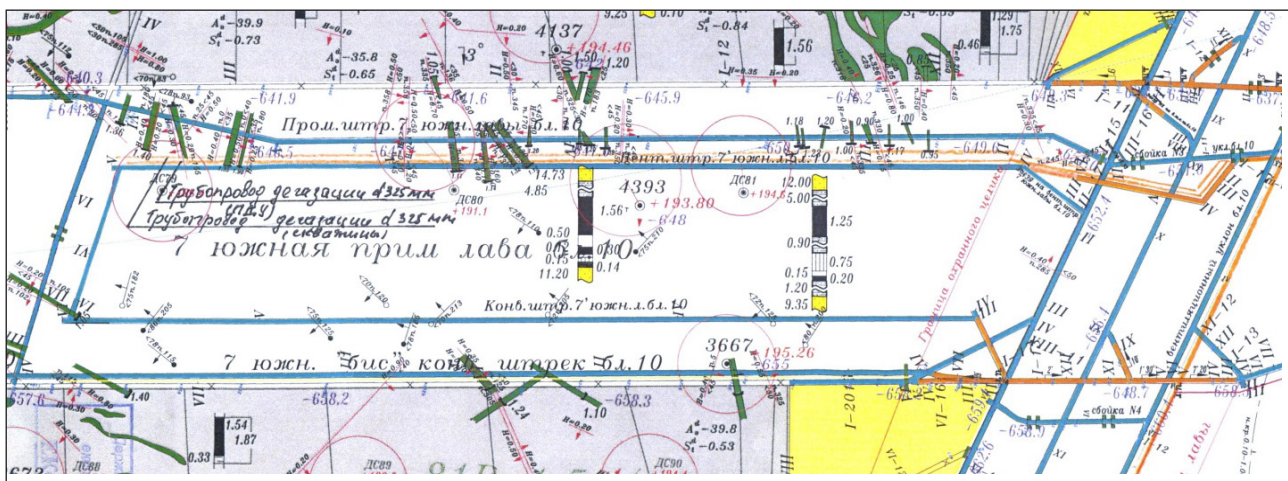


Рис. 2. Выкопировка из плана горных выработок, 7-я прим южная лавы блока 10

ной части шахтного поля. Проектная длина выемочного столба – 918 м, длина лавы – 158 м. Угольный пласт d4 на площади выемочного поля имеет простое строение, реже сложное. Его геологическая мощность колеблется в пределах 1,17–1,57 м, средняя по столбу – 1,45 м. Глубина ведения горных работ – 840 м.

Барьерный целик расположен между изолированным 7 южным «бис» конвейерным штреком блока 10 и конвейерным штреком 7-й прим южной лавы блока 10 (рис. 2), сведения о котором представлены в табл. 1.

Для расчета проницаемости угленородного массива необходимо определить параметры его напряженно-деформированного состояния, которое описывается системой уравнений:

$$\sigma_{ij,j} + X_i(t) = 0, \quad (1)$$

где  $\sigma_{ij,j}$  – производные от компонент тензора напряжений по  $x, y$ , МПа/м;  $X_i(t)$  – проекции

внешних сил, действующих на единицу объема твердого тела, Н/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Сведения о проведении конвейерного штрека 7-й прим южной лавы блока 10

Параметры	Конвейерный штрек 7-й прим южной лавы блока 10
Способ проведения	Комбайновый
Средства проведения	КСП-43
Форма сечения	Шагровое
Сечение, м <sup>2</sup>	
– в проходке	20,3
– в свету до осадки	17,7
– в свету после осадки	14,9
Тип крепи	КШПУ-17,7
Длина выработки	1005
Шаг крепи	0,67
Затяжка	сетка

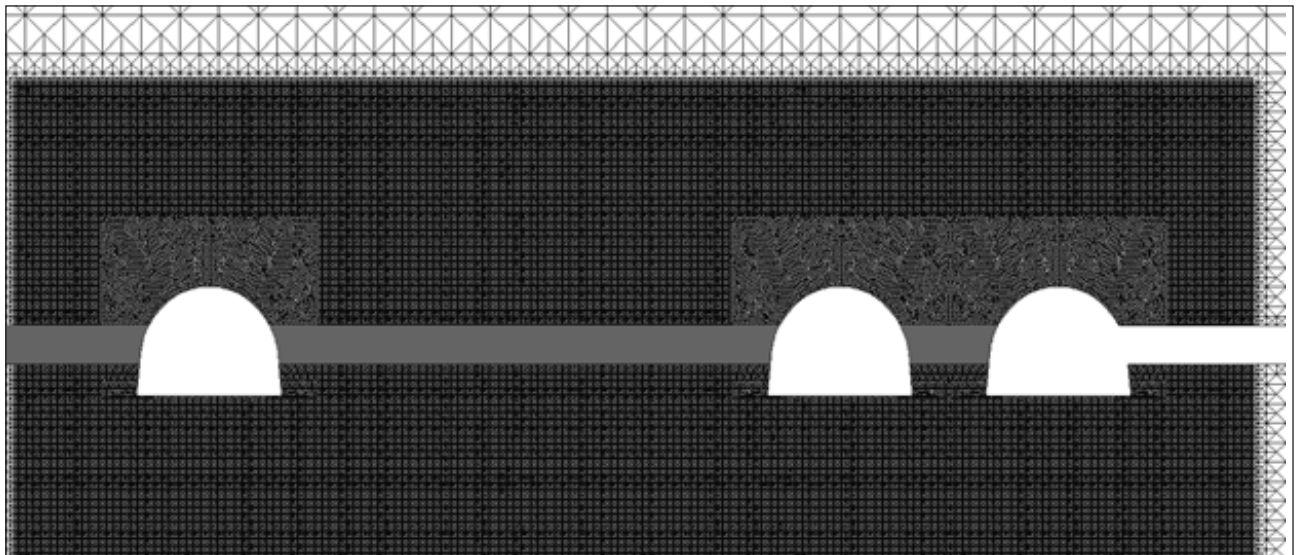


Рис. 3. Центральний фрагмент конечно-элементной сетки

Граничные условия:

$$\begin{aligned} u_x|_{\Omega_1} &= 0; \\ u_y|_{\Omega_2} &= 0, \end{aligned}$$

где  $u_i$  – перемещения, м;  $\Omega_1$  – вертикальные границы внешнего контура;  $\Omega_2$  – горизонтальные границы внешнего контура.

В результате ведения горных работ перераспределяется поле начальных напряжений, что обуславливает изменение фильтрационной проницаемости  $k$  угленосного массива [2; 3]. Будем считать, что значения  $k$  в каждой точке исследуемой области зависят от компонент тензора главных напряжений  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  следующим образом [4; 5]:

– в нетронутом горном массиве  $k = 0$  при

$$Q^* = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\gamma H} < 0,6;$$

– в зоне упругих деформаций и равнокомпонентного сжатия  $k = 0$  при  $Q^* < 0,7$ ;  $P^* = \frac{\sigma_3}{\gamma H} > 0,25$ ;

– в области начального и интенсивного трещинообразования  $k = k_{\min}$  при  $0,7 < Q^* < 0,8$  и  $k = e^{0,26Q^* - 4,65}$  (или

$$k = e^{\frac{2,58(\sigma_1(t) - \sigma_3(t))}{\sigma_2(t)} - 4,65} \text{) при } Q^* > 0,8;$$

– в области разрушения горных пород  $k = k_{\max}$ , при  $P^* < 0,1$ ;  $Q^* > 0,8$ .

То есть

$$\begin{cases} k = 0 \text{ при } Q^* < 0,6; \\ k = 0 \text{ при } Q^* < 0,7; P^* > 0,25; \\ k = k_{\min} \text{ при } 0,7 < Q^* < 0,8; \\ k = e^{0,26Q^* - 4,65} \text{ при } Q^* > 0,8; P^* > 0,1; \\ k = k_{\max} \text{ при } Q^* > 0,8; P^* < 0,1. \end{cases}, \quad (2)$$

В окрестности тектонических нарушений уголь перемят, на 10–20 м по обе стороны от нару-

шения имеет начальную проницаемость. На поле начальной, тектонической, проницаемости  $k_{\text{тект}}$  накладывается поле технологической проницаемости  $k$  [6]:

$$K = k_{\text{тект}}(x, y) + k(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3), \quad (3)$$

Уравнение плоской фильтрации газа при условии наличия в области фильтрации газоносных пород:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial p}{\partial y} \right) = \frac{\partial q_i}{\partial t}, \quad (4)$$

где  $p$  – давление газа, МПа,  $q(t)$  – функция газовыделения.

Граничные условия для данной задачи можно определить следующим образом:

$$p|_{\Omega_1} = p_0;$$

$$p|_{\Omega_2} = 0,1 \text{ МПа};$$

$$p|_{\Omega_3} = p_1 \text{ МПа},$$

где  $p_0$  – пластовое давление метана, МПа,  $\Omega_1$  – граница области фильтрации,  $\Omega_2$  – внутренний контур, выработка № 1 (рис. 3),  $\Omega_3$  – внутренний контур, выработка № 2 и выработанное пространство (рис. 3),  $p_1$  – давление газа в выработанном пространстве, МПа.

Для решения связанных уравнений (1) и (4) с условиями связи (2), (3) применяется метод конечных элементов [7; 8]. Расчетная схема области горных пород с тремя выработками и выработанным пространством представлена на рис. 3. Здесь выработка № 1 – конвейерный штрек 7-й прим южной лавы блока 10, № 2 – изолированный 7 южный «бис» конвейерный штрек блока 10, № 3 – 7 южный

Таблица 2

Координаты целика по оси x

Ширина целика, $L_u$ , м	Координата $x_1$ , м	Координата $x_2$ , м
20	83	103
30	73	103
40	63	103

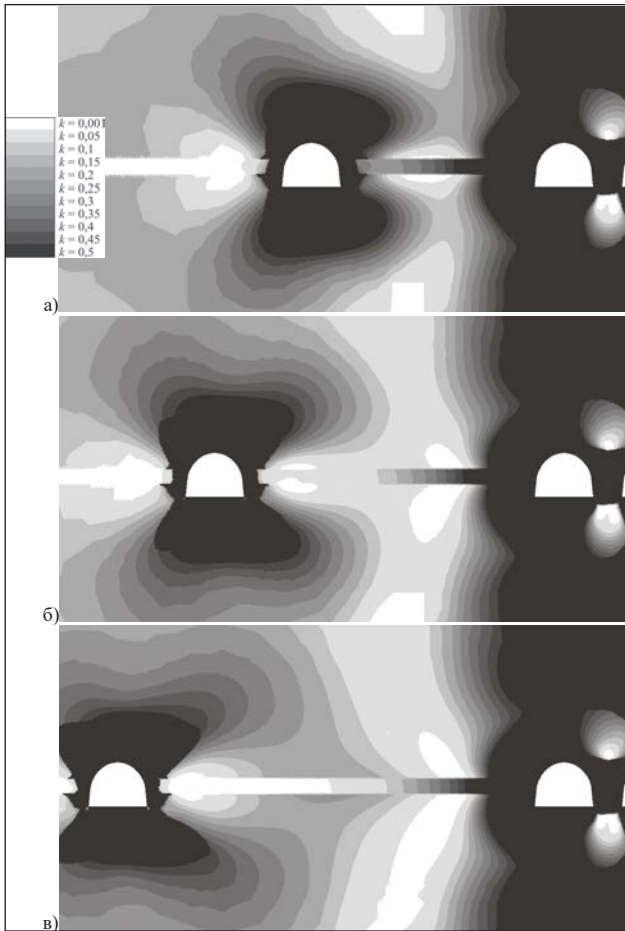


Рис. 4. Проницаемость углеродного массива а) ширина целика – 20 м; б) 30 м; в) 40 м

Расчеты выполнены для 3 случаев: ширина целика между выработками № 1 и № 2 составляет 20, 30 и 40 м. Давление газа в выработке № 2 и выработанном пространстве варьируется в диапазоне 3–6 МПа. Получены поля напряжений и области неупругих деформаций для каждого случая. Рассчитано поле коэффициентов проницаемости в исследуемой области (рис. 4 и 5), давление и расход газа.

При ширине целика  $L_u=20$  м (рис. 4а) области фильтрации вокруг выработки № 1 и выработанного пространства связаны и по угольному пласту, и по вмещающим породам. При определенном значении перепада давления возможна фильтрация газа из выработки № 2 в выработку № 1. При  $L_u=30$  м (рис. 4б) области фильтрации вокруг выработки № 1 и выработанного пространства практически не связаны, между ними находится непроницаемая перемычка – область, фильтрационная проницаемость пород в которой  $\approx 0$ . В этом случае, при аналогичных граничных условиях, фильтрация газа из выработки № 2 в выработку № 1 невозможна. При

$L_u=40$  м (рис. 4в) области фильтрации вокруг выработки № 1 и выработанного пространства также не связаны между собой, непроницаемая перемычка увеличилась в объеме по сравнению с предыдущим случаем. Фильтрация газа из выработки № 2 в выработку № 1 невозможна.

На рис. 5 показаны графики изменения расчетной проницаемости угольного пласта между выработками № 1 и № 2. Координаты  $x_1$  и  $x_2$  целика для рассмотренных случаев приведены в табл. 2.

Видно, что при  $L_u=20$  м на всем протяжении целика проницаемость угольного пласта  $k > 0$ , что означает возможность фильтрации газа через него. При определенном значении перепада дав-

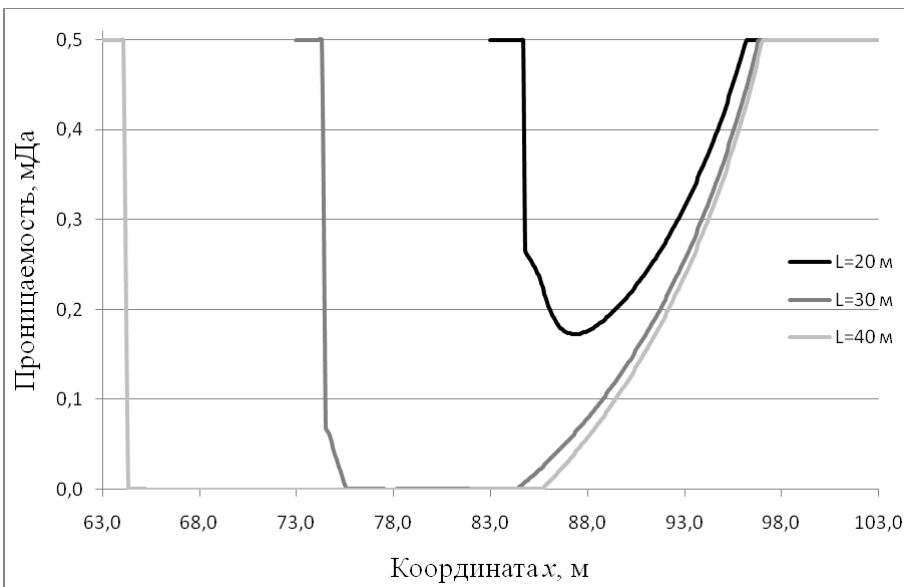


Рис. 5. Проницаемость по угольному пласту при различной ширине целика  $L_u$

конвейерный штрек блока 10 (неподдерживаемый вентиляционный штрек ранее отработанного выемочного поля 8-й южной лавы блока 10).

целика проницаемость угольного пласта  $k > 0$ , что означает возможность фильтрации газа через него. При определенном значении перепада дав-

ления в выработках № 1 и № 2 возможна фильтрация газа из выработки № 2 в выработку № 1.

При  $L_u=30$  м на участке целика длиной 10 м угольный пласт непроницаем,  $k=0$ , что препятствует фильтрации газа из одной выработки в другую.

При  $L_u=40$  м угольный пласт непроницаем на еще большем промежутке длиной 22 м, фильтрация газа из одной выработки в другую невозможна.

В зоне геологических нарушений поле коэффициентов проницаемости изменится согласно соотношениям (2) и (3), рис. 6 и 7.

Значения коэффициентов проницаемости вдоль угольного пласта во всех трех случаях повысились. Видно, что только при  $L_u=40$  м угольный пласт непроницаем на относительно небольшом промежутке длиной 5 м (рис. 7).

Результаты расчета удельного дебита газа  $Q$  в выработке № 1 и № 2 при различных значениях перепада давления  $\Delta P$  в них и при ширине целика 20 м показаны на рис. 8. Отрицательные значения  $Q$  означают приток газа в выработку, положительные – отток.

При увеличении депрессии  $\Delta P$  удельное газовыделение в выработку № 1 растет на участках с тектоническим нарушением и без него (две нижние кривые на рис. 8). С увеличением  $\Delta P$  удельное газовыделение в выработку № 2 снижается до 0, затем начинается фильтрация газа из выработки № 2 и выработанного пространства в выработку № 1. В зоне тектонического нарушения такой поворот направления фильтрации происходит при гораздо меньших значениях депрессии  $\Delta P$ .

В настоящее время завершилась отработка 7 прим южной лавы блока 10. Выемка угля осуществлялась комбайном МВ-630. Крепление в лаве – ЗКД90Т. Схема проветривания возвратноточная, типа 1-М. На выемочный участок подавалось 1450 м<sup>3</sup>/мин воздуха. Концентрация метана оставалась в пределах 0,6–0,8%. Темпы перемещения забоя составляли 8,5 м/сутки, объем добычи – 4150 т/сут.

В процессе выемки производились измерения концентрации метана, оксида углерода, диоксида

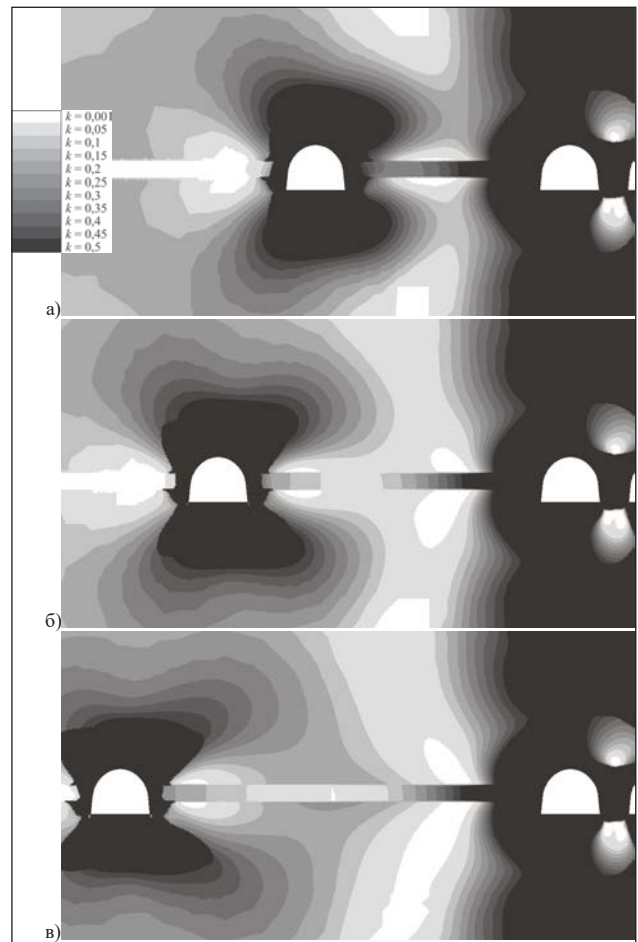


Рис. 6. Проницаемость углеродного массива в нарушенной зоне  
а) ширина целика – 20 м; б) 30 м; в) 40 м

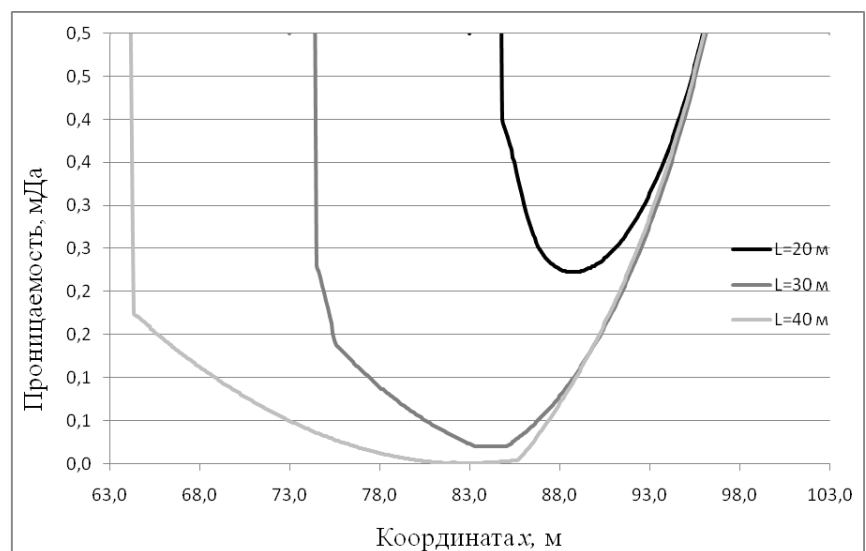


Рис. 7. Проницаемость по угольному пласту между выработками № 1 и № 2 в зоне тектонической нарушенности при различной ширине целика  $L_u$

углерода и водорода. Лабораторный анализ проб рудничного воздуха производился ежедекадно в

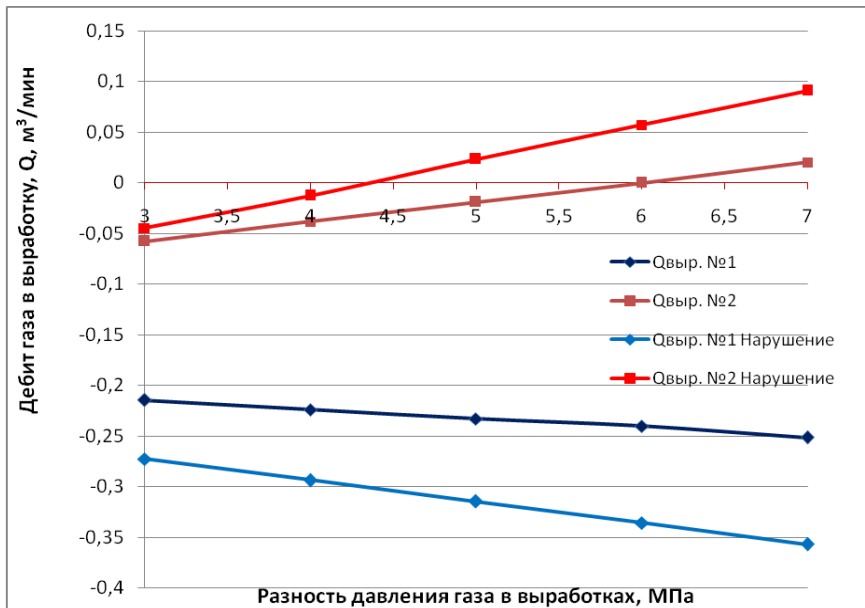


Рис. 8. Метановиділення в виработки

газоаналитической лаборатории ГВГСС Украины. За время работы выемочного участка не было выявлено превышений предельно допустимых, а также фоновых значений оксида углерода и водорода, как в рудничной атмосфере оконтуривающих горных выработок, так и в трубопроводах различного назначения (дегазации пластов-спутников, дегазации выработанного пространства, изолированного отвода метана).

**Выводы.** Выполнен анализ горнотехнических характеристик выемочного участка 7 южной прим лавы блока 10 ПАО «ШУ «Покровское».

Разработаны конечно-элементные модели участков углепородного массива с горными выработками, между которыми оставлены барьерные целики различной ширины. Выполнен расчет параметров фильтрации газа для условий выемочного участка 7 южной прим лавы блока 10. В результате анализа полученных расчетных данных показано, что при рассмотренных начальных и граничных условиях минимальная ширина целика, необходимая для обеспечения его газовой непроницаемости, – 30 м, на тектонически нарушенном участке – 40 м. Разработаны «Рекомендации по определению безопасной ширины изоляционного целика по параметрам фильтрации газа в выработки выемочного участка для условий 7 южной прим лавы блока 10 пласта d4 ПАО «ШУ «Покровское». В результате применения разработанных рекомендаций исключена фильтрация пожарных газов в конвейерный штрек 7-й прим южной лавы блока 10, обеспечена изоляция аварийного участка 7-й южной «бис» лавы блока 10 и безопасность ведения очистных работ по газовому фактору.

#### Список литературы:

1. Минеев С.П., Кочерга В.Н., Янжула А.С. и др. Оценка концентраций индикаторных газов в очистных забоях ШУ «Покровское». Геотехническая механика. 2017. № 133. С. 148–157.
2. Bai M., Meng F., Elsworth D. et al. Numerical modeling of stress-dependent permeability. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences. 1997. № 34:3-4. P. 2.e1–2.e14.
3. Durucan S., Daltaban T.S., Shi J.Q., Foley L. Permeability characterization for modeling methane flow in coal seams. Proceedings of the International Coalbed Methane Symposium. Tuscaloosa, Alabama. 1993. P. 453–460.
4. Булат А.Ф. Круковская В.В. Компьютерное моделирование фильтрации метана в подработанном горном массиве в трехмерной постановке. Геотехническая механика. 2005. № 57. С. 3–12.
5. Круковская В.В. Моделирование связанных процессов, происходящих в углепородном массиве при ведении горных работ. Геотехническая механика. 2015. № 121. С. 48–99.
6. Лукинов В.В., Круковский А.П., Круковская В.В. Моделирование процесса выброса угля и метана вблизи тектонических. Форум гірників-2007. Матеріали міжнародної конференції. Дніпропетровськ: ГУ. 2007. С. 63–69.
7. Zienkiewicz O.C. Taylor R.L. The finite element method. Butterworth-Heinemann. 2000. Т. 1. 690 p.
8. Hutton D.V. Fundamentals of Finite Element Analysis. 2004. 505 p.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОЇ ПРОНИКНОСТІ БАР'ЄРНИХ ЦІЛИКІВ  
ПРИ ВЕДЕННІ ГІРНИЧИХ РОБІТ ПОБЛИЗУ ІЗОЛЬОВАНОЇ ПОЖЕЖНОЇ ДІЛЬНИЦІ**

*У статті виконано чисельне дослідження фільтраційної проникності вуглепородного масиву з ізолюваною ділянкою, діючою підготовчою виробкою і бар'єрним цілком у залежності від його напруженого стану. Розроблено рекомендації щодо визначення безпечної ширини ізоляційного цілика в умовах ПАТ «ШУ «Покровське». Виключена фільтрація пожежних газів у конвеєрний штрек 7-ї прим південної лави блоку 10, забезпечена безпека ведення очисних робіт по газовому фактору.*

**Ключові слова:** *фільтраційна проникність, напружено-деформований стан, пожежні газы, бар'єрні цілики.*

**INVESTIGATION OF FILTRATION PERMEABILITY OF BARRIER PILLARS  
AT PERFORMING MINING OPERATIONS NEAR THE ISOLATED FIRE AREA**

*In the article, a numerical study of the filtration permeability of a coal-rock massif with an isolated area, active mine working and a barrier pillar, depending on its stress state is performed. Recommendations for determining the safe width of the insulating pillar in the conditions of Mine Management "Pokrovskoye" are developed. The fire gases filtration into the Conveyer Gangway of the 7th Southern "prim" Lava of Block 10 was excluded, the gas safety at the mining work was ensured.*

**Key words:** *filtration permeability, deflected mode, fire gases, barrier pillars.*

**Мерзлікін А.В.**

Донецький національний технічний університет (м. Покровськ)

## ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОЇ РОБОТИ ОЧИСНИХ ВИБОЇВ

*Проведено аналіз та побудовано фазові портрети процесу видобутку з лави на різних етапах часу. Визначено, що перехід від сталого режиму роботи в нестійкий відбувається поступово. Обґрунтовано стійкий режим вуглевидобутку з очисного вибою у вигляді автоколивань із періодом 6–12 діб, при цьому варіація коливань видобутку не перевищує 30%. Розроблено методіку, яка дозволяє на ранніх стадіях визначити нестійкість динамічної системи, якою є довгий очисний вибій вугільної шахти.*

**Ключові слова:** ризики вуглевидобутку, фазові траєкторії, стійка робота, керований режим роботи.

**Постановка проблеми.** Розвиток вугільної галузі України стикається зі серйозними складними проектними ризиками вуглевидобутку. Причина цих ризиків полягає в тому, що практично всі поклади кам'яного вугілля нашої держави видобувається підземним способом на значних глибинах. Це зумовлює підвищені ризики, пов'язані з геологічною невизначеністю родовищ, високим рівнем небезпеки підземних робіт, аварій і катастроф, обмеженістю підземного робочого простору і підвищеним рівнем гірського тиску, що знижує мобільність техніки та надійність її експлуатації.

Високий рівень проектних ризиків вуглевидобутку зумовлений також невизначеністю зазначених факторів. Незважаючи на те, що навантаження на лаву планується як постійна величина, яка визначається параметрами вугільного пласта, продуктивністю виїмкової техніки та значним газовиділенням, фактичний видобуток з очисних вибоїв варіює в широких межах. Вважається, що коефіцієнт варіації видобутку з лави може сягати показника 50% і більше. Однак якщо забезпечується стійкий середній рівень заданого планового навантаження на лаву, така варіація не є критичною. У зв'язку з цим введено поняття стійкості і керованості роботою очисного вибою [1; 2].

Враховуючи високу невизначеність факторів, що впливають на рівень видобутку з лав і його варіабельності, останнім часом розвивається новий науковий напрям управління вуглевидобутком як стохастичною системою [3; 4]. При цьому темпи основних і допоміжних процесів вуглевидобутку розглядаються як випадкові величини розподілу, які використовуються як вхідні дані для мережевої моделі, а дослідження роботи вугледобувних вибоїв виконується шляхом статистичних випробувань методом Монте-Карло.

Разом із тим стохастичний стан системи може бути досягнуто і в процесі переходу динамічної системи з детермінованою поведінкою в нестійкий стан хаосу [5–8]. Тому дослідження переходів динамічних систем в некерований або хаотичний стан дає змогу отримати нові можливості, особливо перспективні з точки зору прогнозування нестійких станів із метою їх завчасного подолання.

Застосування комбінації методів дослідження якісної поведінки динамічних систем і емпіричних методів дає змогу отримати нові перспективні результати [9–11]. У цій статті описана реалізація такого підходу щодо дослідження стійкості роботи очисного вибою як динамічної системи зі стохастичними параметрами.

**Постановка завдання.** Довгий очисний вибій є дуже складною системою, поведінка якої регулюється як внутрішніми факторами, так і зовнішніми. Доведено, що оптимальне навантаження на лаву залежить від таких внутрішніх факторів, як довжина лави, тип обладнання, що застосовується, потужність очисного комбайна, швидкість пересування секцій механізованого кріплення, продуктивність конвєсера, надійність вибійного обладнання, організації робіт у лаві. Разом із тим на реальну величину видобутку вугілля істотно впливає низка зовнішніх факторів, перш за все, геологічні умови відпрацювання вугільного пласта, наприклад наявність малоамплітудних порушень, стійкість безпосередньої основний покрівель, надмірне газовиділення з пласта і порід, що його містять, надійність транспортного ланцюжка, електропостачання, дотримання безпеки робіт, стан підготовчих виробок та ряд інших чинників.

Невизначеність зазначених факторів породжує високий рівень ризиків вуглевидобутку, управлінням якими не є тривіальним завданням [3; 4].

Незважаючи на дуже велику кількість факторів, що впливають, поведінка очисного вибою як динамічної системи може бути в першому наближенні описана системою диференціальних рівнянь. У багатьох випадках вдається використовувати систему, в якій час  $t$  не входить у праву частину в явному вигляді, причому часто для опису поведінки складної динамічної системи досить обмежитися системою з двох рівнянь.

З урахуванням вищенаведеного уявімо динаміку роботи довгого очисного вибою в загальному вигляді системою з двох диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= f_1(x_1, x_2), \\ \frac{dx_2}{dt} &= f_2(x_1, x_2) \end{aligned} \quad (1)$$

Відсутність часу в правій частині системи рівнянь означає, що поведінка системи в часі визначається параметрами самої системи. Це добре узгоджується з результатами попередніх досліджень, в яких встановлено, що динаміка видобутку з лави описується випадковою стаціонарною функцією [3]. Будемо вважати, що праві частини системи  $f_1(x_1, x_2)$  та  $f_2(x_1, x_2)$  безперервно диференціюються в області, яка визначає можливі діапазони значень аргументів, тобто справедлива теорема існування і єдності рішення цієї динамічної системи. Уявімо ці рішення у вигляді таких функцій:

$$x_1 = \varphi_1(t), x_2 = \varphi_2(t), \quad (2)$$

Зафіксувавши  $t$  на різних рівнях, можна отримати кілька кривих (або фазових траєкторій) на площині в координатах  $x_1, x_2$ .

Таким чином отримують так званий фазовий портрет динамічної системи, за допомогою якого можна пояснювати і, головне, прогнозувати поведінку системи з досить високою вірогідністю, не заглиблюючись у численні деталі і тонкощі процесів, які відбуваються в цій системі.

Є певні вимоги до фазових траєкторій динамічної системи. Зокрема, дві фазових траєкторії не мають спільних точок, або мають повністю збігатися в іншому випадку. Крім того, фазова траєкторія, що відрізняється від точки, є гладкою кривою, до якої в будь-якій точці існує дотична. Будь-яка фазова крива належить до одного з трьох типів – гладка крива без самоперетинів, замкнута гладка крива (цикл), точка. Якщо фазова крива, що відповідає рішенню (2), є гладкою замкнутою кривою, то це рішення – періодична функція.

Зазвичай дослідження складної динамічної системи починають із того, що підбирають систему диференціальних рівнянь типу (1), яка, на думку дослідників, задовільно описує поведінку

системи, яка досліджується. Як правило, при цьому спираються на евристичні передумови і логічні міркування. Разом із тим складні системи можуть приховувати безліч характеристик, які не можуть бути виведені апіорі за допомогою логічних міркувань. У такому разі кращим є підхід, в якому математична модель системи будується на основі представницького числа експериментальних даних, отриманих у процесі спостережень за поведінкою системи.

При такому підході, з одного боку, збільшується гарантія того, що система диференціальних рівнянь буде встановлена з більш високою надійністю, а з іншого – можуть виникнути складнощі відокремлення детермінованих параметрів системи від випадкових впливів зовнішніх факторів. Разом із тим, якщо це завдання вдається вирішити, з'являється додаткова можливість дослідження поведінки динамічної системи в умовах перешкод і випадкових флуктуацій факторів, що впливають на цю систему.

#### Виклад основного матеріалу дослідження.

Для ілюстрації підходу був досліджений часовий ряд темпів видобутку з очисного вибою (рис. 1). Нормативний рівень видобутку вугілля з цієї лави становив 2020 т/добу, хоча фактичний, як видно з тимчасового ряду, був помітно нижчим.

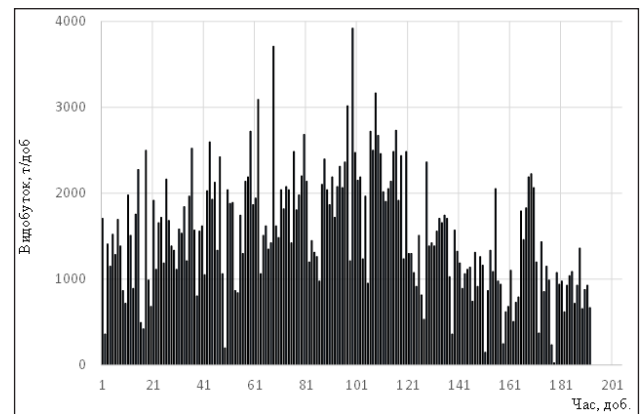


Рис. 1. Реалізація добового видобутку з очисного вибою протягом 190 діб

Робота лави ускладнювалася впливом кількох зовнішніх факторів і, перш за все, наявністю малоамплітудних порушень, які створювали істотні перешкоди виконанню планових завдань. Можна зробити припущення, що часовий ряд містить приховану періодичність. Якщо це так, його можна вважати результатом функціонування динамічної системи, структуру якої треба встановити. Спектральний аналіз свідчить про наявність гармоніки з високими значеннями коефіцієнтів і періодом 4,04 діб.



Згідно із запропонованою вище методикою будемо шукати приховану структуру системи виключно на базі її експериментального стохастичного сигналу, графік якого наведено на рис. 1. Для цього використовуємо широко поширений прийом зіставлення вихідного сигналу і його похідної за часом.

На рис. 2 показана графічна залежність обраних факторів. Незважаючи на зашумленість даних, досить добре проглядаються фрагменти траєкторій, які нагадують похилі еліпси.

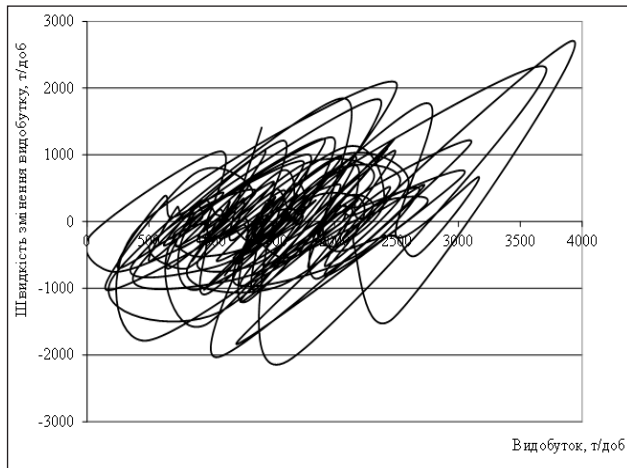


Рис. 2. Фазовий портрет очисного вибою як динамічної системи

Для контролю були обрані фрагменти багатого на перешкоди тимчасового ряду на різних інтервалах часу для того, щоб хаотичність траєкторій не заважала розгляду окремих періодичних циклів (рис. 3). Фрагмент (а) явно демонструє еліпсоїдні фазові траєкторії, які, незважаючи на взаємні перетини, досить наочно описують періодичний процес. Напрямок векторів траєкторій вказано стрілкою (за годинниковою стрілкою на графіку). Перетин траєкторій зумовлено природною варіацією експериментальних даних під дією випадкових впливів безлічі чинників, які були перераховані вище. На рис. 4 наведено відрізок тимчасового ряду, за яким побудовані зазначені траєкторії. Цей графік підтверджує періодичність процесу вуглевидобутку з лави, а період, що дорівнює 4 добам, добре узгоджується з даними спектрального аналізу. Видно також, що швидкість зміни темпів видобутку дещо відстає від самих темпів.

Такий характер взаємозв'язку добре описується моделлю Вольтерри-Лотки для конкуруючих процесів:

$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= A(\alpha_1 - \beta_1 V) \\ \frac{dV}{dt} &= -V(\alpha_2 - \beta_2 A), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $A$  – темпи видобутку, т/доб,  
 $V$  – швидкість зміння темпів, т/доб,

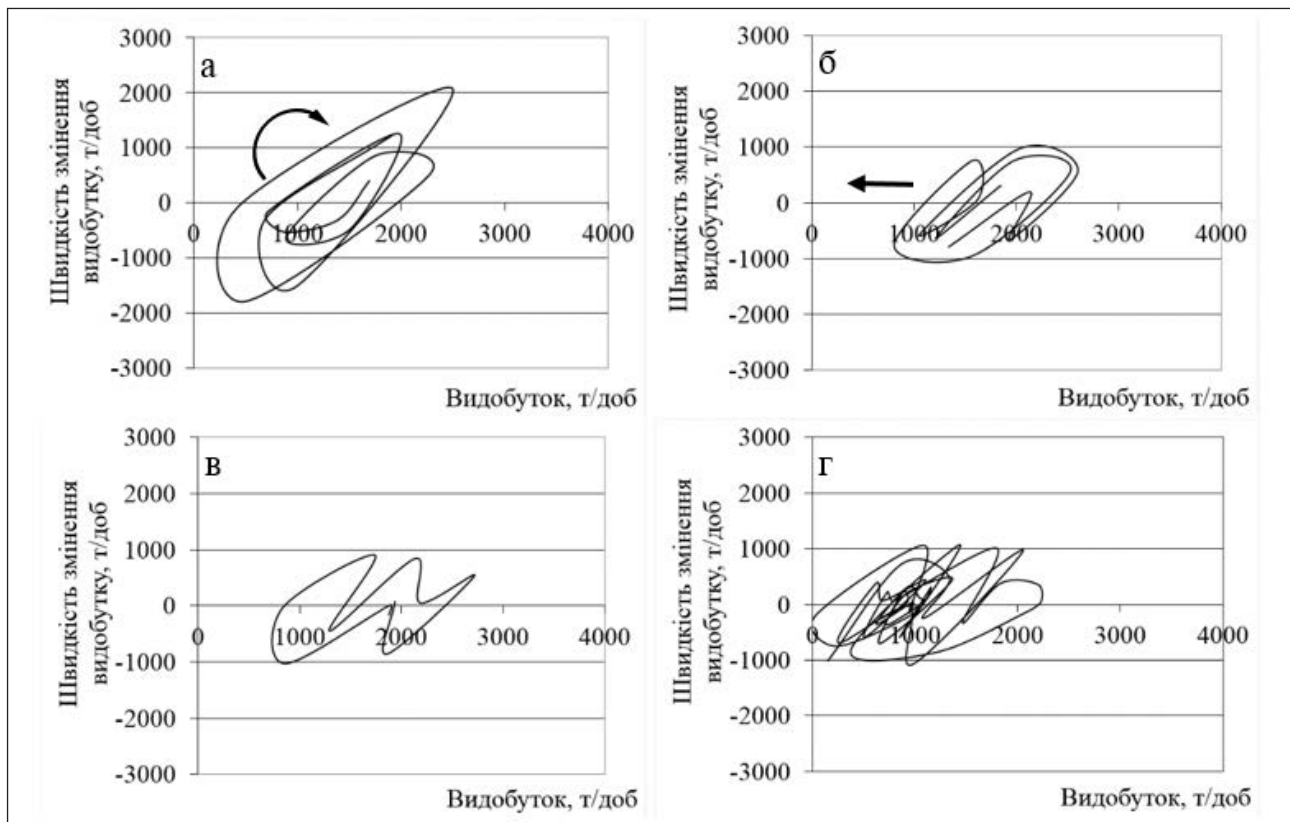


Рис. 3. Фрагменти фазового портрету процесу видобутку з лави на різних етапах часу

$\alpha, \beta$  – параметри диференційних рівнянь.

Рішення системи має вигляд рівняння гармонічного осцилятора з періодом

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\alpha_1\alpha_2}}$$

На наступних фрагментах рис. 3 показано, як руйнується фазовий портрет динамічної системи, що досліджується, а її самоорганізована поведінка перетворюється на хаотичну.

На першому етапі відбувається дрейф траєкторій вліво, тобто в сторону зменшення темпів видобутку (б). Взагалі спостерігаються скачки як вліво, так і вправо, але загалом можна визначити стійкий дрейф у бік менших величин видобутку. Після цього виникає деформація еліпсової траєкторії (в). Це означає, що зникають явні ознаки періодичності процесу. На останньому етапі фазовий портрет стає невиразним, втрачає будь-яку структуру і нагадує хаос (г). Незважаючи на рідкісні викиди в сторону високих темпів видобутку, процес вуглевидобутку стає некерованим, нестійким, що призводить до хронічного невиконання планових завдань.

Виконані дослідження дають змогу запропонувати методика, яка дає змогу на ранніх стадіях визначити нестійкість динамічної системи, якою є довгий очисний вибій вугільної шахти. Як інструмент для оцінки стійкої роботи очисного вибою доцільно використовувати фазові портрети вуглевидобутку в координатах «добові темпи видобутку – швидкість її зміни», який представлений гладкою замкнутою кривою і має форму еліпса.

Реальні фазові траєкторії перетинаються, що викликано природною флуктуацією параметрів динамічної системи, яка залежить від великої кількості внутрішніх і зовнішніх факторів. Чим сильнішою є варіація положення еліпса, тим більшим є вплив випадкових процесів на функціонування очисного вибою як динамічної системи.

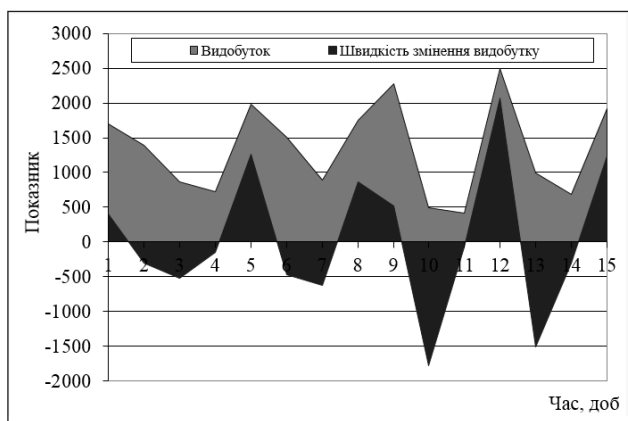


Рис. 4. Відрізок тимчасового ряду

Втрата стійкості роботи очисного вибою протікає в кілька етапів, першим з яких є дрейф траєкторії еліпса вліво в бік меншого видобутку. Під впливом стохастичних факторів швидкість дрейфу не є постійною. Крім того, можливі короточасні повернення вправо. На другому етапі відбувається спотворення еліпсової форми фазової траєкторії, що свідчить про втрату періодичності процесу. На останньому, третьому етапі фазові траєкторії стають повністю хаотичними, що є ознакою переходу до некерованого режиму роботи лави.

Аналіз показує, що здебільшого ознаки втрати стійкості роботи очисного вибою з'являються задовго до повної втрати стійкості. Згідно з досвідом, із моменту виникнення першої ознаки до повної втрати стійкості роботи очисного вибою проходить від 6 до 12 діб [12]. Протягом цього часу можна ідентифікувати загрозу втрати стійкості і розробити оперативні заходи з відновлення керованості лави.

Як приклад наводиться досвід коригування фазової траєкторії очисного вибою, за допомогою якого визначається величина впливів випадкових факторів на роботу очисного вибою. Нижче наведено приклад коригування фазової траєкторії, зображеної на фрагменті (в) рис. 3. Нагадаємо, що на ній зображено процес спотворення еліпсової форми траєкторії, що відповідає втраті періодичності видобутку і відбувається на другій стадії переходу від стійкої до нестійкої роботи очисного вибою.

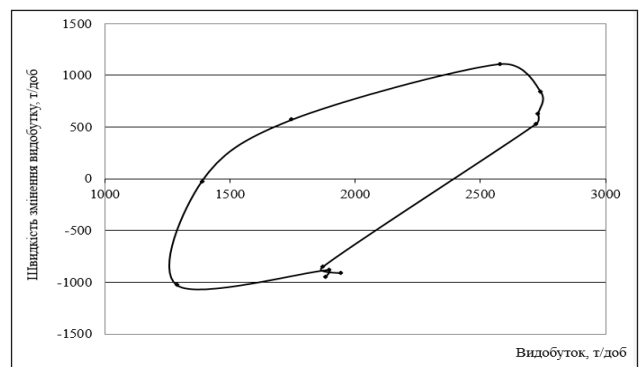


Рис. 5. Реконструкція фазової траєкторії

Для коригування еліпса є надійні вихідні дані, які взяті з практики роботи лави. По-перше, центр еліпса має знаходитися на осі абсцис у точці  $A = 2020$  т/добу, оскільки це відповідає плановому навантаженню на лаву. По-друге, ліва і права межа еліпса має перетинати вісь абсцис у точках, які відповідають таким величинам видобутку, при яких забезпечується допустимий коефіцієнт її варіації (наприклад у межах

30%). По-третє, нахил головної осі еліпса має відповідати експериментально встановленим. Для знаходження величини нахилу головної осі еліпсу параметри окремих еліпсів були зібрані в загальну статистичну вибірку й оброблені. Виявилось, що, незважаючи на хаотичність і різний розмір еліпсів, нахил їх головних осей досить стабільний. Величина тангенса кута нахилу розподілена згідно з логнормальним законом, а його середня величина становить  $1,56 \pm 0,48$ . При цьому коефіцієнт варіації дорівнює 31%, що в практиці вуглевидобутку вважається цілком допустимою похибкою.

Оскільки точки на графіку рис. 3 (б) пов'язані з точками на графіку 5, відбувається автоматична корекція видобутку під час корекції еліпсової фазової траєкторії. На рис. 6 показаний графік фактичного видобутку, суміщений із його скорегованими рівнем. Після коригування видно відхилення видобутку від планового, що викликано негативним впливом зовнішніх факторів. У момент часу, який відповідає фрагменту тимчасового ряду на рис. 6, лава переходила малоамплітудні порушення, яке і додало основної ваги в зниження темпів вуглевидобутку.

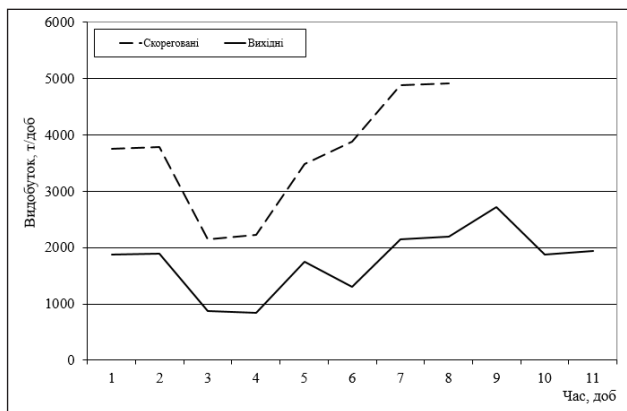


Рис. 6. Скореговані темпи видобутку

Таким чином, отримані відхилення від планового завдання, а також відомі причини, що викликали зазначені відхилення. Ця інформація є дуже цінною для управління роботою лави і розробки оперативних заходів із виведення очисного вибою в стійкий керований режим.

Отримані результати є перспективною базою для розробки методики управління роботою очисного вибою з метою зниження ризиків невиконання планового завдання вуглевидобутку. Надійність такої методики буде вищою, ніж методів, заснованих на дослідженні рішень диференціальних рівнянь зі стохастичними параметрами, оскільки в основі модифікованої методики лежить постійний моніторинг поточних фактичних даних роботи очисного вибою. Як теоретична основа використовуються лише базові поняття та підходи, що застосовуються при дослідженнях динамічних систем.

**Висновки.** Обґрунтовано нову методику прогнозу стійкості роботи очисного вибою як динамічної системи. Методика заснована на аналізі форми і параметрів фазових траєкторій системи в координатах «темпи видобутку – швидкість зміни темпів».

Показано, що динаміка роботи очисного вибою може бути описана системою рівнянь Вольтерри-Лотки, що відображає взаємодію конкуруючих процесів. Оскільки рішенням такої системи є гармонійний осцилятор, обґрунтований стійкий режим вуглевидобутку з очисного вибою у вигляді автоколивань із періодом 4–5 діб. При цьому варіація коливань видобутку не перевищує 30%, а фазовий портрет системи в координатах «темпи видобутку – швидкість їх зміни» являє собою еліпс, тангенс кута нахилу головної осі якого досить стабільний і становить  $1,56 \pm 0,48$ .

За результатами дослідження можна зробити висновок, що перехід від сталого режиму роботи в нестійкий відбувається в три етапи. На першому етапі спостерігається дрейф еліпсової траєкторії вуглевидобутку в сторону менших величин, потім відбувається поступове зміння форми еліпсу, і на завершальному етапі траєкторія набуває хаотичного вигляду, що, своєю чергою, наочно показує момент переходу роботи очисного вибою як динамічної системи, з керованого в некерований стан.

Запропоновано методику управління ризиками вуглевидобутку шляхом своєчасного прогнозу втрати стійкості роботи очисного вибою на основі корекції форми фазової траєкторії динамічної системи.

#### Список літератури:

1. Федоров В.Н. К вопросу технического регулирования производственных процессов современной шахты. Уголь. 2010. № 2. С. 49–51.
2. Федоров В.Н. Обеспечение ритмичной работы очистных забоев – главное условие роста эффективности. Уголь. 2009. № 1. С. 70–73.
3. Маевский В.С., Захарова Л.Н., В.С. Мерзликин Стохастическое моделирование рисков невыполнения программы развития горных работ на угольной шахте. Наукові праці ДонНТУ. Серія Проблеми моделювання і автоматизації проектування. 2011. Вип. 10(197). С. 101–110.

4. Захарова Л.Н., Назимко В.В. Исследование чувствительности программы развития горных работ и ее рисков в условиях угольной шахты. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. 2012. № 1 (53). С. 157–164.
5. Малахов А.Н. Флуктуации в автоколебательных системах. М.: Наука, 1968. 416 с.
6. Неймарк Ю.И., Ланда П.С. Стохастические и хаотические колебания. М.: Наука, 1987. 424 с.
7. Кузнецов С.П. Динамический хаос. М.: Физматлит, 2001. 296 с.
8. Шильников В.П. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Часть 1. Москва. Ижевск, Институт компьютерных исследований, 2004. 416 с.
9. Безручко Б.П., Смирнов Д.А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: Колледж. 2005. 344 с.
10. Smirnov D.A. Detection of weak directional coupling. *Phys. Rev. E*. 2005. Vol. 71. 037207.
11. Bezruchko V.P. Reconstruction of time-delayed feedback systems from time series. *Physica D*. 2005. Vol. 203. P. 209–223.
12. Ильяшов М.А., Назимко В.В. Мерзлякин А.В. Оценка устойчивости работы очистных забоев по параметрам распределения добычи. *Материалы международной научно-практической конференции г. Днепропетровск, НГУ, 2011*. С. 52–63.

### **ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ОЧИСТНЫХ ЗАБОЕВ**

*Проведен анализ, и построены фазовые портреты процесса добычи из лавы на разных этапах времени. Определено, что переход от устойчивого режима работы к неустойчивому происходит постепенно. Обоснован устойчивый режим угледобычи из очистного забоя в виде автоколебаний с периодом 6–12 дней, при этом вариация колебаний добычи не превышает 30%. Разработана методика, которая позволяет на ранних стадиях определить неустойчивость динамической системы.*

**Ключевые слова:** *риски угледобычи, фазовые траектории, устойчивая работа, управляемый режим работы.*

### **DYNAMIC MODEL FOR PREDICTING SUSTAINABLE WORK OF LONGWALLS**

*The analysis and phase portraits of the extraction process from longwall at different stages of time have been made. It is determined that the transition from a stable mode of work to an unstable one occurs gradually. The steady mode of coal mining from a longwall in the form of self-oscillations with the period of 6–12 days is proved, wherein the variation of excovation oscillations does not exceed 30%. A technique has been developed that allows for the early stages to determine the instability of the dynamic system.*

**Key words:** *coal mining risks, phase trajectories, stable operation, controlled operating mode.*

# ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 628.316.12

**Іванченко А.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Назаренко О.В.**

Дніпровський державний технічний університет

**Елатонцев Д.О.**

Дніпровський державний технічний університет

**Гарнага Є.В.**

Дніпровський державний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ АДСОРБЦІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ РІДКИХ ФОСФОРОВМІСНИХ ВІДХОДІВ

*Стаття присвячена дослідженню технології адсорбційної переробки рідких фосфоровмісних відходів. Зазначено актуальність проблеми підвищення ступеня очистки міських стічних вод від забруднюючих речовин неорганічного походження. Уперше виявлено кінетичні закономірності процесу адсорбційного вилучення фосфатів, сульфатів і хлоридів з водних середовищ. На підставі експериментальних досліджень для промислового впровадження рекомендовано використовувати торф як адсорбент для переробки рідких фосфоровмісних відходів. Осад після адсорбції можна використовувати як сировину для одержання нових видів органо- та біомінеральних добрив.*

**Ключові слова:** фосфати, сульфати, хлориди, рідкі відходи, адсорбент.

**Постановка проблеми.** В Україні близько 75% населення споживає воду з відкритих водойм, а із загальної кількості водопроводів 6% не відповідають санітарним нормам: відсутні зони санітарної охорони, повний комплекс очисних споруд і знезаражувальних пристроїв. Ця проблема є надзвичайно гострою. Водні об'єкти України забруднені в основному нафтопродуктами, фенолами, органічними речовинами, сполуками фосфору та нітрогену, важкими металами [1, с. 320–321].

Недостатньо очищені стоки згубно впливають на розвиток усієї біосфери. Вони провокують і прискорюють евтрофікацію водойм, а також призводять до зміни природних біоценозів і, як наслідок, загибелі біологічних видів, забруднення об'єктів водокористування [2].

До системи каналізації м. Кам'янське стічні води приймають згідно з Правилами приймання стічних вод підприємств у комунальну систему каналізації м. Кам'янське, які розроблені відповідно до Правил приймання стічних вод підприємств у комунальну систему каналізації України. Згідно із цими Правилами, стічні води, які потра-

пляють до міської каналізації, повинні відповідати нормам, наведеним у таблиці 1.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останнім часом значну увагу дослідників привертають методи очищення стоків від сполук фосфору.

Науковцями запропоновано [3] спосіб глибокої доочистки стічних вод з високим умістом фосфатів, що включає контактну коагуляцію біологічно очищених стічних вод і фільтрування стічної води від осадів, який відрізняється тим, що для контактної коагуляції використовують шлам виробництва кальцієвої селітри в кількості 180–200 мг/дм<sup>3</sup>, а обробку біологічно очищеної стічної води шламом здійснюють протягом 2–3 годин.

Авторами науково розроблено [4] спосіб біохімічної очистки стічних вод за наявності активного мулу, що включає аеробне біоокиснення забруднювачів стічних вод в аеротенку з наступним відстоюванням суспензії мулу у відстійнику, відведенням очищеної води з очисних споруд, поверненням циркулюючого активного мулу в аеротенк, який відрізняється тим, що на перших трьох чвертях довжини аеротенка мулову суміш

Загальні вимоги до складу та властивостей стічних вод підприємств для безпечного їх відведення в комунальну каналізацію лівого берега

№ з/п	Показники якості стічних вод	Одиниця виміру	Допустима концентрація, г/дм <sup>3</sup>
1	Завислі речовини	мг/дм <sup>3</sup>	156
2	БСК <sub>5</sub>	мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	200
3	Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	100
4	Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	70
5	Фосфати	мг/дм <sup>3</sup>	10
6	Нафтопродукти	мг/дм <sup>3</sup>	2,5
7	Азот амонійний	мг/дм <sup>3</sup>	35
8	ХСК	мг/дм <sup>3</sup>	500
9	АПАР	мг/дм <sup>3</sup>	3,4
10	Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	1,0
11	Температура	°С	Не більше ніж 40°С
12	рН		6,5–9,0
13	Карбамід	мг/дм <sup>3</sup>	–
14	Нітрити	мг/дм <sup>3</sup>	3,3
15	Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	45
16	Жири рослинні й тваринні	мг/дм <sup>3</sup>	50

обробляють стиснутим повітрям безперервно, а на останній чверті довжини аеротенка стиснуте повітря подають періодично впродовж 2–5 хв. з перервою в 3,5–4,5 год. [4].

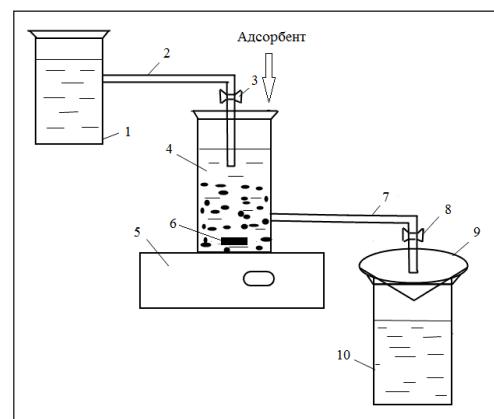
Ці способи є ефективними для обробки стічних вод з відносно невисоким умістом фосфатів (близько 6–15 мг/дм<sup>3</sup>). Для очистки стічних вод з високим умістом фосфору запропоновано застосувати метод адсорбції з використанням сорбентів із природної сировини. Доцільність використання саме цього методу пов'язана з тим, що адсорбенти з природної сировини є екологічно безпечними, не чинять негативного впливу на навколишнє середовище. Окрім того, осад після переробки рідких відходів можна використовувати як сировину для одержання нових видів біомінеральних добрив.

Адсорбція – один із ефективних способів глибокого очищення природних і стічних вод від речовин переважно органічного походження. Її використовують для знешкодження стічних вод від фенолів, смолистих речовин, ароматичних нітросполук, ПАР, фосфатів, барвників тощо. Перевагою методу є висока ефективність і можливість очищення стічних вод, що містять декілька речовин одночасно [5, с. 11–13].

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження процесу вилучення фосфатів, сульфатів і хлоридів з міських стічних вод із застосуванням адсорбційного методу.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для проведення експериментів складено лабо-

раторну установку для вилучення неорганічних домішок зі стічної води, схема якої зображена на рисунку 1.



**Рис. 1.** Схема лабораторної установки для вилучення неорганічних домішок з міських побутових відходів: 1 – ємність з рідкими відходами; 2, 7 – з'єднувальні трубки; 3, 8 – крани; 4 – ректор адсорбції; 5 – магнітна мішалка; 6 – магніт; 9 – фільтр; 10 – ємність для очищеної стічної води

Дослідження проводили так. Ємність 1, об'ємом 220 мл, заповнювали 100 мл стічної води, відібраної з приймальної камери лівобережних очисних споруд м. Кам'янське, концентрація фосфатів у якій становила 25,5 мг/дм<sup>3</sup>. Після цього ємність герметично закривали гумовою пробкою, яку через трубку 2 та кран 3 з'єднували з резервуаром 4 об'ємом 220 мл, де й відбувалася адсорбція. Ємність 4 встановлювали на магнітну мішалку 5 з

магнітом 6 і з'єднували з ємністю 10, яка призначена для відділення осаду, насиченого фосфатами від очищеної стічної води, за допомогою трубки 7, через кран 8 і фільтр 9.

На початку експерименту відкривали кран 3, проба стічної води надходила в ємність 4. Додавали сорбент у реактор 4, вмикали магнітну мішалку 5. Інтенсивність перемішування адсорбенту зі стічною водою становила 700 об/хв.

Через 20–40 хв. відкривали кран 8 і по трубці 7 через фільтр 9 зливали пробу в ємність 10. По закінченні експерименту визначали вміст неорганічних домішок у пробі очищеної води: фотометричним методом – фосфати й сульфати; титрометричним – хлориди.

Брали 4 ємності, в які налили стічну воду з приймальної камери лівобережних очисних споруд м. Кам'янське по 100 мл у кожну, вміст фосфатів у вихідній стічній воді становив  $25,5 \text{ мг/дм}^3$ , сульфатів –  $72,5 \text{ мг/дм}^3$ , хлоридів –  $500 \text{ мг/дм}^3$ . Також відібрали по 0,2 г кожного сорбенту: торфу, активованого вугілля, деревинної стружки, адсорбенту на основі кукурудзяних качанів. Стічну воду з сорбентами витримували протягом 40 хв. Потім фотометричним методом визначили концентрацію фосфатів і сульфатів у кожній пробі після контактування сорбенту зі стічною водою через 20 і 40 хвилин. Титрометричним методом контролювали вміст хлоридів в очищеній воді. Доза адсорбентів становила  $2 \text{ г/дм}^3$ .

Для визначення концентрації неорганічних фосфатів у стічній воді використано фотометричний метод (відновлення аскорбіновою кислотою) за допомогою такої апаратури: колориметр, червоний світлофільтр (при довжині хвилі 690 нм), кювети товщиною шару 5 см. Виміри поводитися із застосуванням колориметра фотоелектричного концентраційного КФК-2 [6].

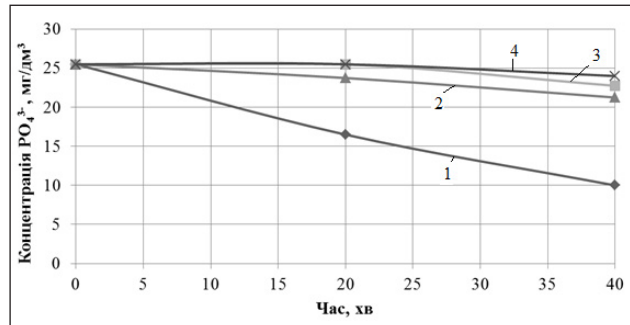
До 2 мл вихідної стічної води, доведеного до 50 мл дистильованою водою, додали 5 мл змішаного реактиву й перемішали. Через 15 хв. вимірювали оптичну густину та за калібрівочною кривою знаходили концентрацію фосфатів [6].

Уміст розчинених фосфатів ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) в  $\text{мг/дм}^3$  знаходили за формулою:

$$x = c \cdot 50 / v,$$

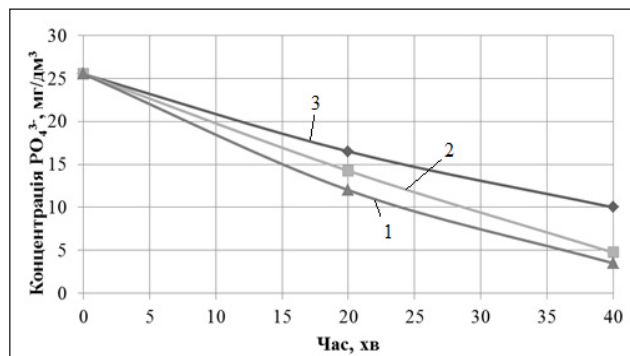
де  $c$  – концентрація фосфатів, яку знаходили за калібрівочною кривою,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $v$  – об'єм проби, яку взяли для визначення, мл; у цьому випадку  $v = 2$  [6].

За отриманими результатами будували графік залежності концентрації фосфатів від часу при дозі адсорбентів  $2 \text{ г/дм}^3$  (рисунк 2).



**Рис. 2.** Залежність концентрації фосфатів від часу при дозі адсорбентів  $2 \text{ г/дм}^3$ : 1 – торф; 2 – активоване вугілля; 3 – природний адсорбент на основі кукурудзяних качанів; 4 – деревинна стружка

Найефективнішим адсорбентом виявився торф, під час використання якого концентрація фосфатів знизилася з  $25,5 \text{ мг/дм}^3$  до  $10 \text{ мг/дм}^3$  після 40 хвилин адсорбційної очистки. Проте досягнення ГДК фосфатів ( $3,5 \text{ мг/дм}^3$ ) не відбулося. Тому наступні експериментальні дослідження проводилися зі збільшенням дози торфу до  $4 \text{ г/дм}^3$  і  $6 \text{ г/дм}^3$ . Результати експерименту зображено на рисунку 3.



1–6  $\text{г/дм}^3$ , 2–4  $\text{г/дм}^3$ , 3–2  $\text{г/дм}^3$   
**Рис. 3.** Залежність концентрації фосфатів від часу та дози торфу

Після підвищення дози торфу до  $4 \text{ г/дм}^3$  концентрація фосфатів знизилася до  $4,75 \text{ мг/дм}^3$  після 40 хв. очистки. При дозі  $6 \text{ г/дм}^3$  концентрація фосфатів зменшилась до показника  $3,5 \text{ мг/дм}^3$ , що відповідає ГДК України.

На наступному етапі експериментальних досліджень виявили вплив добавки адсорбентів на ефективність вилучення сульфатів з міських рідких відходів.

Метод визначення сульфатів у водних середовищах заснований на визначенні сульфат-іонів у вигляді  $\text{BaSO}_4$  в солянокислому середовищі за допомогою гліколевого реагенту. Гліколь, уведений у реакційну суміш під час осадження барій сульфату, стабілізує утворення суспензії  $\text{BaSO}_4$  і

робить можливим турбідиметричне визначення сульфатів. Чутливість методу – 2 мг/дм<sup>3</sup> [7, с. 3]. Для експерименту застосовували таку апаратуру: фотоколориметр, світлофільтр (при довжині хвилі 364 нм), кювети товщиною стінки 2 см. Виміри походилися із застосуванням колориметра фотоелектричного концентраційного КФК-2.

До 5 см<sup>3</sup> досліджуваної проби або концентрату води, відібраної в мірний циліндр місткістю 10 см<sup>3</sup>, додавали 1–2 краплі соляної кислоти (1: 1) і 5 см<sup>3</sup> гліколевого реагенту, ретельно перемішували [7, с. 4]. Після 30 хв. експозиції вимірювали оптичну щільність розчину фотоколориметром у кюветах зі світлофільтром при довжині хвилі 364 нм. Досліджувана проба води з додаванням гліколевого реагенту, приготованого без ВаСl<sub>2</sub>, є розчином порівняння. Уміст сульфатів знаходили за калібрувальною кривою [7, с. 4].

Одержані результати дослідження зображено на рисунку 4.

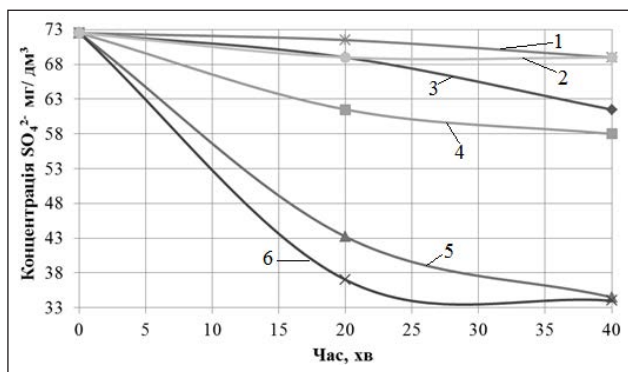


Рис. 4. Залежність концентрації сульфатів від часу та дози адсорбентів: 1 – торф 4 г/дм<sup>3</sup>, 2 – торф 6 г/дм<sup>3</sup>, 3 – торф 2 г/дм<sup>3</sup>, 4 – природний адсорбент на основі кукурудзяних качанів 2 г/дм<sup>3</sup>, 5 – активоване вугілля 2 г/дм<sup>3</sup>, 6 – деревинна стружка 2 г/дм<sup>3</sup>

За графіком бачимо, що під час використання активованого вугілля й деревинної стружки в кількості 2 г/дм<sup>3</sup> за 40 хв. процесу відбувається вилучення сульфатів зі стічної води з 72,5 до 34,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Експеримент продовжимо для виявлення впливу добавки адсорбентів на ефективність вилучення хлоридів з міських рідких відходів.

Концентрацію хлор-іонів у стічній воді знаходили за допомогою кількісного визначення титруванням азотнокислим сріблом.

Відбирали 10 см<sup>3</sup> випробуваної й доводили до 100 см<sup>3</sup> дистильованою водою. рН титрувальної проби повинен бути в межах 6–10. Відміряний об'єм води вносили у дві конічні колби й додавали по 1 см<sup>3</sup> розчину хромовокислого калію

[8, с. 3]. Одну пробу титрували розчином азотнокислого срібла до появи слабкого оранжевого відтінку, другу пробу використовували як контрольну пробу. При значному вмісті хлоридів утворюється осад AgCl, який заважає визначенню. У цьому випадку до відтитрованої першої проби доливали 2–3 краплі титрованого розчину NaCl до зникнення оранжевого відтінку, потім титрували другу пробу, користуючись першою як контрольною пробою [8, с. 3].

Уміст хлор-іонів (X) в мг/дм<sup>3</sup> знаходили за формулою:

$$x = vKg1000 / V,$$

де v – кількість азотнокислого срібла, витраченого на титрування, см<sup>3</sup>; K – поправочний коефіцієнт до титру розчину нітрату срібла; g – кількість хлор-іона, що відповідає 1 см<sup>3</sup> розчину азотнокислого срібла, мг; V – об'єм проби, взятий для визначення, см<sup>3</sup> [8, с. 3–4].

Результати експерименту зображено на рисунку 5.

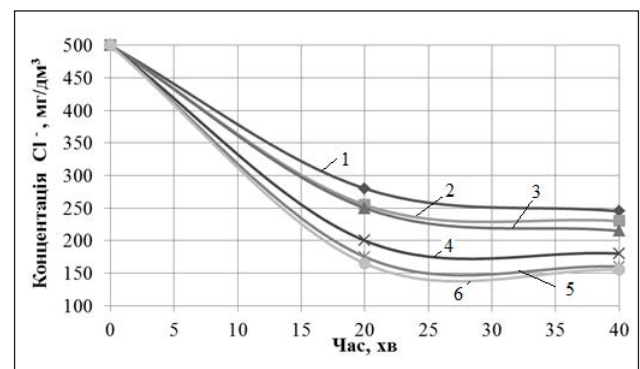


Рис. 5. Графік залежності концентрації іонів хлору від часу та дози адсорбентів: 1 – природний адсорбент на основі кукурудзяних качанів 2 г/дм<sup>3</sup>, 2 – деревинна стружка 2 г/дм<sup>3</sup>, 3 – торф 2 г/дм<sup>3</sup>, 4 – торф 4 г/дм<sup>3</sup>, 5 – активоване вугілля 2 г/дм<sup>3</sup>, 6 – торф 6 г/дм<sup>3</sup>

Видно, що в разі добавляння торфу наважкою 6 г/дм<sup>3</sup> відбувається найефективніше очищення стічної води від хлоридів з 500 мг/дм<sup>3</sup> до показника 155 мг/дм<sup>3</sup> за 40 хвилин адсорбції.

На підставі експериментальних досліджень для промислового впровадження рекомендовано використовувати торф як адсорбент для переробки рідких фосфоровмісних відходів. Осад після адсорбції можна використовувати як сировину для одержання нових видів органічних та біомінеральних добрив.

**Висновки.** Отже, на основі викладеного вище можемо резюмувати таке:

1. Установлено вплив добавки торфу, активованого вугілля, деревинної стружки та природного сорбенту на основі подрібнених кукурудзя-



них качанів дозою 2 г/дм<sup>3</sup> на залишковий уміст фосфатів.

2. Експериментально доведено, що оптимальним часом контактування торфу з фосфоровмісними стоками є 40 хв. при дозі адсорбенту 6 г/дм<sup>3</sup>. За таких технологічних параметрів відбувається освітлення води та вилучення фосфатів при вихідному вмісті 25,5 мг/дм<sup>3</sup> до нормативного значення 3,5 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Експериментально показано, що під час використання активованого вугілля та деревинної стружки в кількості 2 г/дм<sup>3</sup> за 40 хв. процесу від-

бується вилучення сульфатів зі стічної води з 72,5 до 34,5 мг/дм<sup>3</sup>.

4. Виявлено, що в разі додавання торфу наважкою 6 г/дм<sup>3</sup> відбувається очищення стічної води від хлоридів з 500 мг/дм<sup>3</sup> до показника 155 мг/дм<sup>3</sup> за 40 хв. адсорбції.

5. Для промислового впровадження рекомендовано використовувати торф як адсорбент для переробки рідких фосфоровмісних відходів. Осад після адсорбції можна використовувати як сировину для одержання нових видів органічних та біомінеральних добрив.

#### Список літератури:

1. Заверуха Н.М., Серебряков В.В., Скиба Ю.А. Основи екології: навч. посіб. Київ: Каравела, 2006. 368 с.
2. Назаренко О.В., Іванченко А.В. Застосування торфу в технології очищення стічних вод від фосфатів. Матеріали VIII науково-практичної конференції «Майбутній науковець – 2017». Київ, 2017. С. 358–359.
3. Спосіб глибокої доочистки стічних вод з високим вмістом фосфатів: пат. 74350 Україна. № 2012 04284; заявл. 06.04.2012; опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.
4. Спосіб біохімічної очистки стічних вод: пат. 55649 Україна. № 2010 05380; заявл. 15.05.2010; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.
5. Дикаревский В.С., Петров Е. Г. Очистка природных и сточных вод с использованием алюмосиликатного адсорбента, активированного магнием. Очистка природных и сточных вод: тезисы Всесоюзного научно-технического совещания. Москва, 1989. С. 11–13.
6. Іванченко А.В. Методичні вказівки виконання лабораторних робіт з дисципліни «Технологія питної і технічної води» для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», 101 «Екологія» всіх форм навчання. Кам'янське: ДДТУ, 2016. 12 с.
7. ГОСТ 4389-72. Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. Введ. 1974-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 2003. 8 с.
8. ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. Введ. 1974-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 2001. 6 с.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ АДСОРБЦИОННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

*Статья посвящена исследованию технологии адсорбционной переработки жидких фосфорсодержащих отходов. Указана актуальность проблемы повышения степени очистки городских сточных вод от загрязняющих веществ неорганического происхождения. Впервые выявлены кинетические закономерности процесса адсорбционного извлечения фосфатов, сульфатов и хлоридов из водных сред. На основании экспериментальных исследований для промышленного внедрения рекомендуется использовать торф в качестве адсорбента для переработки жидких фосфорсодержащих отходов. Осадок после адсорбции можно использовать в качестве сырья для получения новых видов органических и биоминеральных удобрений.*

**Ключевые слова:** фосфаты, сульфаты, хлориды, жидкие отходы, адсорбент.

#### RESEARCH OF TECHNOLOGY OF ADSORPTIONAL PROCESSING OF LIQUID PHOSPHORUS WASTES

*The article is devoted to research of technology of adsorption processing of liquid phosphorus-containing wastes. The urgency of the problem of increasing the degree of purification of urban sewage from pollutants of inorganic origin is noted. For the first time the kinetic regularities of the process of adsorption extraction of phosphates, sulphates and chlorides from aqueous media were revealed. Based on experimental studies for industrial application, it is recommended to use peat as an adsorbent for the processing of liquid phosphorus-containing waste. The sludge after adsorption can be used as a raw material for obtaining new types of organic and biomineral fertilizers.*

**Key words:** phosphates, sulfates, chlorides, liquid waste, adsorbent.

**Перепелиця О.П.**

Національний університет харчових технологій

**Петренко Т.В.**

Національний університет харчових технологій

**Самчук А.І.**

Інститут геохімії, мінералогії і рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України

## ДЕФЕКАТ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА: ХІМІЧНІ РЕАКЦІЇ КОМПЛЕКСНОЇ ПЕРЕРОБКИ

Поєднанням методів хімічного аналізу, рН-метрії, термогравіметрії і рентгенографічно досліджені реакції дефектату цукрового виробництва з кислотними оксидами  $MoO_3$ ,  $WO_3$  (I) та фосфатною кислотою  $H_3PO_4$  (II). Встановлено, що в системі (I) утворюються індивідуальні фази з тетрагональною сингонією, тоді як у системі (II) осаджується суміш  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $CaHPO_4$  і  $Ca(H_2PO_4)_2$ . Виділені продукти можуть бути використані як оксидні неорганічні матеріали і добрива сезонної чи пролонгованої дії в агропромисловому секторі.

**Ключові слова:** дефектат, кальцій фосфат, кальцій гідрофосфат, кальцій дигідрофосфат, фосфатні добрива.

**Постановка проблеми.** У процесі цукрового виробництва утворюється як відхід карбонатний осад (дефектат) у кількості ~8–12% від маси переробленого буряка. Маса цього осаду лише в 2016–2017 рр. становила 4,580 млн т. Близько 30% від усієї маси дефектату залишається у непереробленому вигляді, що вимагає використання значних площ полів зберігання (до 3,5 га для окремих заводів) та створює екологічну загрозу, спричинену проникненням стічних вод із буртів карбонатного осаду в навколишні водоймища та ґрунти.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Упродовж тривалого часу значну масу карбонатного осаду використовували без попередньої хімічної обробки шляхом внесення безпосередньо на поверхню ґрунтів під оранку з метою розкислення та збагачення поживними речовинами [1; 2]. У літературі присутні дані про дослідження цього осаду як адсорбенту для очищення стічних вод від текстильного барвника [3] та компонента сумішей з NPK – добривами. [4; 5]. Вивчення дефектату цукрового виробництва в інших галузях не здійснювалося.

**Мета дослідження** – вивчення хімічних реакцій для комплексної переробки дефектату цукрового виробництва, хімічний склад якого визначений для проб двох заводів [6; 7].

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для експерименту використані кислотні оксиди  $MoO_3$ ,  $WO_3$ , фосфатна кислота  $H_3PO_4$  кваліфікації «чда», дефектат цукрового виробництва, взятий з

Капітанівського цукрового заводу Кіровоградської області. Хімічний склад цього дефектату (ICP-MS аналізатор Element 2) наведено в табл. 1.

**Таблиця 1**  
Хімічний склад дефектату Капітанівського цукрового заводу

Показник	Вміст, %	Показник	Вміст, %
SiO <sub>2</sub>	5,49	Mn	0,0200
TiO <sub>2</sub>	0,09	Ni	0,0002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,13	Cd	не знайдено
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,77	Ti	0,0100
FeO	1,43	V	0,0003
MnO	0,01	Cr	0,0001
MgO	1,20	Cu	0,0005
CaO	36,56	Be	не знайдено
Na <sub>2</sub> O	0,14	As	не знайдено
K <sub>2</sub> O	0,20	Pb	0,0002
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	Mo	0,0010
H <sub>2</sub> O	3,68	Zn	0,0040
в.п.п.	46,61		
сума	99,69		

У роботі використані методи хімічного аналізу (трилонометрія [8] – для визначення  $Ca^{2+}$  та осадження  $NH_4MgPO_4$  – для визначення йону  $PO_4^{3-}$  [9]), рН-метрії (рН-метр типу И-160 МИ), термогравіметрії (дериватограф Q-1500-D системи П. Паулік-Л. Паулік-Л. Ердей, зі швидкістю

Результати термогравіметричного аналізу досліджених сумішей дефекату цукрового виробництва і  $\text{MoO}_3$  або  $\text{WO}_3$

Склад сумішей	Температура обезводнення, °C	Температура термогідролізу і відновлення $\text{EO}_3$ , °C	Температура взаємодії, °C	Кінцева речовина
$[\text{CaCO}_3]:[\text{MoO}_3]=1,0:1,0$	110-190	250-530	580-827	$\text{CaMoO}_4$
$[\text{CaCO}_3]:[\text{WO}_3]=1,0:1,0$	120-190	240-528	645-863	$\text{CaWO}_4$

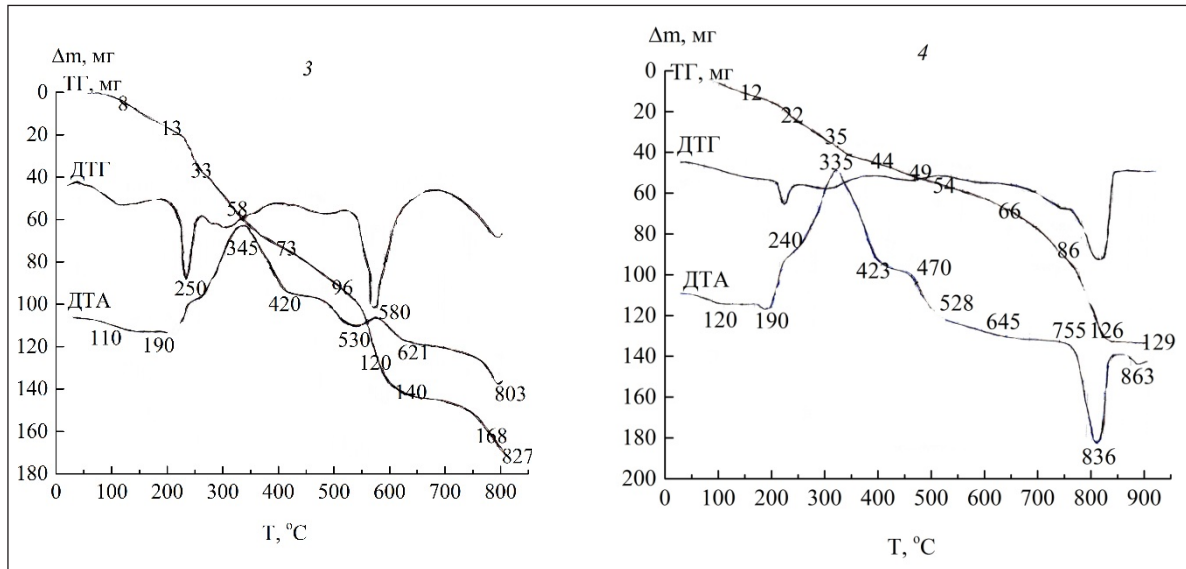


Рис. 1. Дериватограми карбонатного осаду та оксидів: осаду і триоксиду молібдену,  $[\text{CaCO}_3]:[\text{MoO}_3]=1,0:1,0$  (3); осаду та триоксиду вольфраму,  $[\text{CaCO}_3]:[\text{WO}_3]=1,0:1,0$  (4)

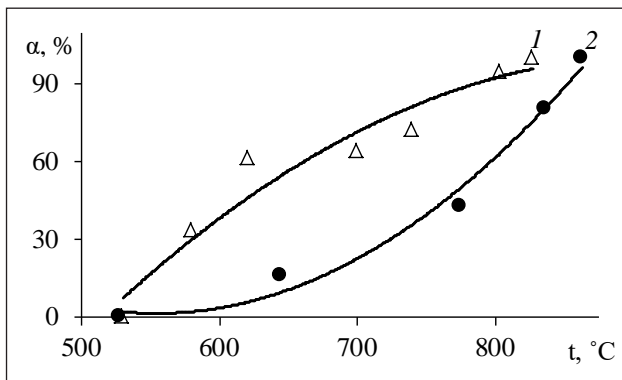


Рис. 2. Залежність ступеня взаємодії ( $\alpha$ ) карбонатного осаду з кислотними оксидами від температури ( $t$ ):  $[\text{CaCO}_3]:[\text{MoO}_3]=1,0:1,0$  (1);  $[\text{CaCO}_3]:[\text{WO}_3]=1,0:1,0$  (2)

нагрівання  $0,1667$  град/с, ДТА –  $250$ , ДТГ –  $500$ , ТГ –  $0,2 \cdot 10^{-3}$  кг, корундовий тигель) і метод рентгенографії (ДРОН 3М з мідним випромінюванням).

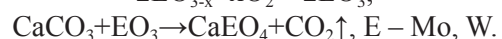
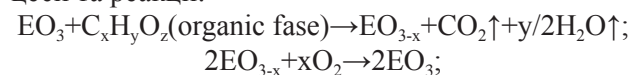
Суміші дефекату цукрового виробництва і  $\text{MoO}_3$  або  $\text{WO}_3$  брали у пропорції  $[\text{CaCO}_3]:[\text{EO}_3]=1,0:1,0$ , E – Mo, W, ( $[\text{CaCO}_3]$  – кількість речовини в дефекаті). Результати термогравіметричного аналізу досліджених сумішей представлені на рис. 1 та в табл. 2.

На основі втрат маси (крива ТГ) вираховані ступені взаємодії ( $\alpha$ ) карбонатного осаду з кислотними оксидами залежно від температури (рис. 2).

Природа кінцевих продуктів цих реакцій вивчена методом рентгенографії і встановлено, що вони належать до тетрагональної симетрії з параметрами для  $\text{CaMoO}_4$   $a=0,5237 \pm 0,0002$  нм;  $c=1,147 \pm 0,0005$  нм; для  $\text{CaWO}_4$   $a=0,5225 \pm 0,0002$  нм;  $c=1,144 \pm 0,0005$  нм. Відмінність цих значень параметрів елементарних комірок від літературних даних [10] викликана домішками  $\text{MnO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  і  $\text{ZrO}_2$  в одержаних продуктах; з цієї причини вони є модифікованими оксидними матеріалами для металургії [11].

$\text{CaCO}_3$  дефекату належить до гексагональної симетрії з параметрами  $a=0,498 \pm 0,002$  нм,  $c=0,853 \pm 0,005$  нм.

Результати використання цих методів дають підставу стверджувати, що відбуваються такі процеси та реакції:



Також вивчена взаємодія фосфатної кислоти з дефектатом цукрового виробництва. Для цієї мети змінні об'єми  $H_3PO_4$  ( $c=2,11 \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3$ ) приливали до постійної маси дефектату ( $m=1 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ) і прибавляли воду до об'єму  $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ . Задані співвідношення  $[PO_4^{3-}]:[Ca^{2+}]$  в гетерогенній системі змінювались від 1,00:0,17 до 1,0:3,0. Суміші після відстоювання та перемішування протягом одного місяця фільтрували, у фільтраті визначали рН та концентрації  $Ca^{2+}$  і  $PO_4^{3-}$ . Осади піддавали рентгенофазовому та термогравіметричному аналізу. На рис. 3 показана залежність рН фільтратів від заданого співвідношення  $[PO_4^{3-}]:[Ca^{2+}]$ .

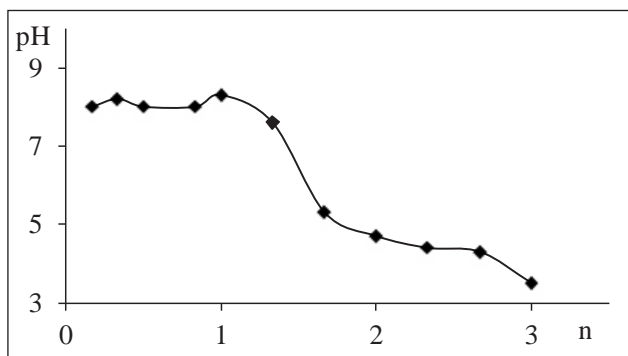


Рис. 3. Залежність рН у фільтраті системи  $CaCO_3-H_3PO_4-H_2O$  від заданого співвідношення  $[PO_4^{3-}]:[Ca^{2+}]$

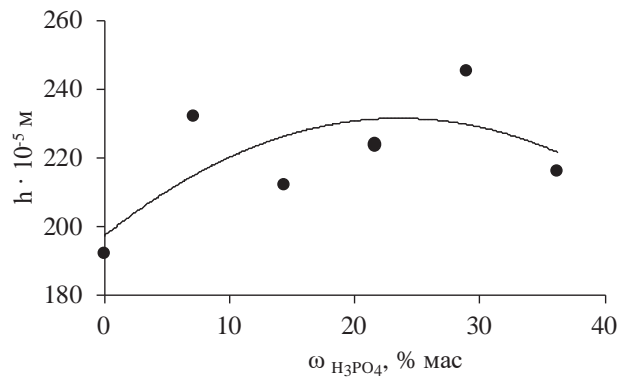


Рис. 4. Залежність висоти ( $\pm 0,002 \text{ м}$ ) жита від вмісту  $H_3PO_4$  в суміші з карбонатним осадом (19 днів росту, суцільний ґрунт)

Реакція дефектату і  $H_3PO_4$  супроводжується зміною рН від 8,1 до 4,4 і відповідає заданому співвідношенню  $[PO_4^{3-}]:[Ca^{2+}]$  від 1,0:1,0 до 1,00:2,33. Рентгенофазовий аналіз осадів підтвердив утворення сумішей  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $CaHPO_4$  та  $Ca(H_2PO_4)_2$  у заданих співвідношеннях  $[PO_4^{3-}]:[Ca^{2+}] = 1,5:1,0$ ;  $1,0:1,0$  і  $1,0:2,0$ . Це можливо в тому разі, коли відбуваються такі реакції:

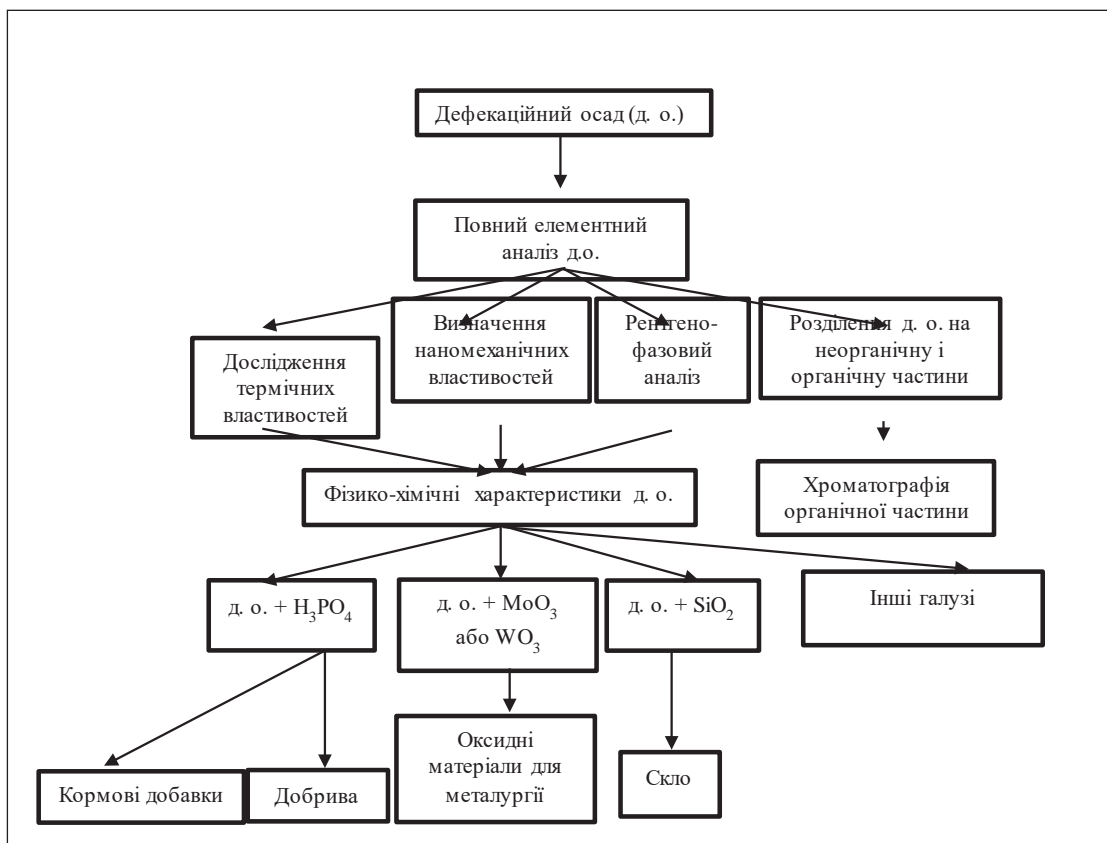
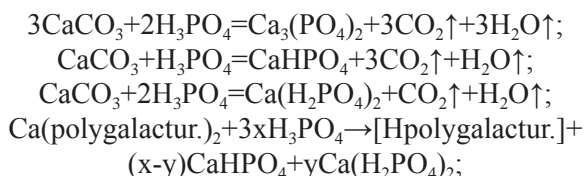


Рис. 5. Схема дослідження та переробки дефектату для різних галузей



Polygalactur. – залишок полігалактуринової кислоти, [Hpolygalactur.] – полігалактуринова кислота.

На основі цих досліджень були виготовлені фосфатні добрива і випробувані у впливі на ріст зерен пшениці (жита), спостерігався позитивний біологічний ефект (рис. 4) [12].

Виконана експериментальна робота надала можливість скласти схему досліджень і переробки дефекаату (рис. 5), що має практичне значення для промисловості як України, так і зарубіжних країн.

**Висновки.** Вивчені реакції дефекаату цукрового виробництва з  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  та  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , встановлені продукти реакцій, які можуть бути використані для технології переробки промислового карбонатного осаду на оксидні матеріали або фосфатні добрива для аграрного сектору.

#### Список літератури:

1. Писаренко С. Ефективність відходів цукрового виробництва при застосуванні у сільському господарстві. Вісник Харк. нац. ун-ту сіл. гос-ва. 2010. Вип. 99. С. 256–259.
2. Мязин Н. Влияние применения удобрений и мелиорантов на показатели почвенного плодородия. Агрехимия. 1997. № 2. С. 26–30.
3. Свергузова Ж., Ельников Д. Очистка растворов красителя «оранжевый R» отходом сахарной промышленности. Науч.-техн. сбор. «Ком-ое хоз-во гор.». 2010. № 93. С. 201–206.
4. Трофимов И., Ступина Л. Отношение сельскохозяйственных культур к почвенной кислотности и повышение их продуктивности. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2006. № 2 (22). С. 20–24.
5. Сипко А., Гончарук Г. Вплив технологій хімічної меліорації ґрунтів на продуктивність цукрових буряків. Цукрові буряки. 2014. № 1. С. 12–14.
6. Перепелица А., Ищенко В., Самчук А. Дефекат сахарного производства: направления переработки. Сахар. 2014. № 2. С. 41–42.
7. Перепелица О., Самчук А., Пищай І., Петренко Т., Ищенко В. Дослідження хімічних властивостей кальційкарбонатного осаду. Український хімічний журнал. 2015. Т. 81, № 4. С. 88–91.
8. Samchuk A., Pylypenko A. Analytical Chemistry of Minerals. Netherlands: VNU. SCIENCE, 1987. 168 p.
9. Ляликов Ю. Аналитическая химия фосфора. Москва: Наука, 1974. 218 с.
10. Картотека ASTM, США.
11. Спосіб одержання модифікованих молібдату кальцію або вольфрамату пат. 85942 Україна: МПК C01G 39/00, C01G 41/00. № а 2007 07142; заявл. 25.06.2007; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5. 3 с.
12. Спосіб одержання біологічно активної суміші: пат. 105146 Україна: МПК C05D 7/00, C01B 25/32. № а 2013 09451; заявл. 29.07.2013; опубл. 10.04.14, Бюл. № 7. 4 с.

#### ДЕФЕКАТ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА:

#### ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

*Сочетанием методов химического анализа, рН-метрии, термогравиметрии и рентгенографически исследованы реакции дефеката сахарного производства с кислотными оксидами  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  (I) и фосфатной кислоты  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (II). Установлено, что в системе (I) образуются индивидуальные фазы с тетрагональной сингонией, тогда как в системе (II) осаждается смесь  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$  и  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ . Выделенные продукты могут быть использованы как оксидные неорганические материалы и удобрения сезонного или пролонгированного действия в агропромышленном секторе.*

**Ключевые слова:** дефекат, кальций фосфат, кальций гидрофосфат, кальций дигидрофосфат, фосфатные удобрения.

#### DEFECATE OF SUGAR PRODUCTION: CHEMICAL REACTION OF COMPLEX PROCESSING

*At first, reactions of defecate of sugar production with acid oxides  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  (I) and phosphate acid  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (II) were investigated with methods of chemical analysis, pH-measuring, thermogravimetry and X-rays. In the system (I) separate phases with tetragonal syngony are forming, while in the system (II) the mixture of  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaHPO}_4$  and  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  are precipitating. Dedicated products can be used as inorganic oxide materials and seasonal or prolonged fertilizers in the agro-industrial sector.*

**Key words:** defecate, calcium phosphate, calcium hydrophosphate, calcium dihydrogenphosphate, phosphate fertilizers.

УДК 547.657:547.541.521

**Сімурова Н.В.**

Національний університет харчових технологій

**Попова І.В.**

Національний університет харчових технологій

**Зінченко Н.Ю.**

Національний університет харчових технологій

**Брицун В.М.**

ДУ «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України»

## СИНТЕЗ 2-[4'-МЕТОКСИ-3'-(R-АМІНОСУЛЬФОНІЛ)БЕНЗИЛ]-2,3-ДИГІДРО-1H-БЕНЗО[de]ІЗОХІНОЛІН-1,3-ДІОНІВ

Ця робота присвячена дослідженню синтетичних модифікацій нафталенового ангідриду за допомогою реакції конденсації з 4-метоксибензиламіном та подальшого сульфохлорування одержаного продукту. Отриманий сульфонілхлорид використаний як стартовий реагент для синтезу не відомих раніше 2-[4'-метокси-3'-(R-аміноссульфоніл)бензил]-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діонів.

Будова всіх отриманих сполук підтверджена спектрами ЯМР  $^1\text{H}$ , а склад – даними елементного аналізу. Результати проведених досліджень можуть бути застосовані у синтетичній практиці, а одержані нові сполуки є перспективними для подальшого вивчення їх біологічної активності.

**Ключові слова:** синтез, нафталеновий ангідрид, хлорсульфонова кислота, сульфонаміди, 2,3-дигідро- $^1\text{H}$ -бензо[de]ізохінолін-1,3-діони.

**Постановка проблеми.** Нафталена (1,8-нафталендикарбонова) кислота та її ангідрид відрізняються різноманітними властивостями і застосуванням. Похідні цієї двохосновної кислоти вивчаються вже понад 100 років, особливе значення вони набули як люмінофори. Також похідні 2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону зарекомендували себе як біологічно активні сполуки з широким спектром активності. Згідно з літературними даними на сучасному етапі робота з функціональними похідними 2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діонів зосереджена як на синтезі нових сполук цієї групи, так і на пошуку нових галузей їх застосування. Великий обсяг наукових джерел свідчить про значний потенціал сполук ряду, тому пошук нових можливостей їх одержання є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У науковій літературі останніх років є значна кількість повідомлень щодо синтезу та практичного використання похідних аміду 1,8-нафталендикарбонової кислоти (2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діонів). Ці сполуки мають оригінальні флуоресцентні, фотофізичні та електрохімічні властивості [1-5]. N-заміщені 1,8-нафталіміди запропоновані для використання як

внутрішньоклітинні та міжклітинні рН-сенсори [6] та флуоресцентні барвники-зонди для фарбування мітохондрій [7]. Також серед них знайдені та впроваджені в практику цитостатичні, протилейкемічні препарати [7-8], інгібітори певних ферментів (dynI-GTPase) [9]. Низька токсичність сполук цього ряду для теплокровних надає широкі можливості для їх застосування [10].

Проведений нами аналіз досліджень у цій галузі показав актуальність пошуку нових похідних 2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону, що дасть змогу у перспективі знайти речовини з високою біологічною активністю для потреб фармацевтичної промисловості.

Ця робота є продовженням наших досліджень, присвячених встановленню хемоселективності сульфохлорування нафталімідів [10; 11].

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи був пошук оптимальних умов конденсації нафталенового ангідриду з *para*-метоксибензиламіном, а також можливості селективного сульфохлорування продукту конденсації. Оскільки сульфонілхлориди є високо реакційними сполуками стосовно амінів, їх взаємодія з вторинними амінами, що є фармакофорними групами, дасть змогу одержати не відомі раніше сульфанаміди –

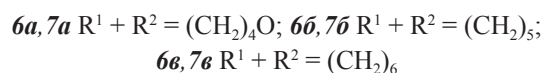
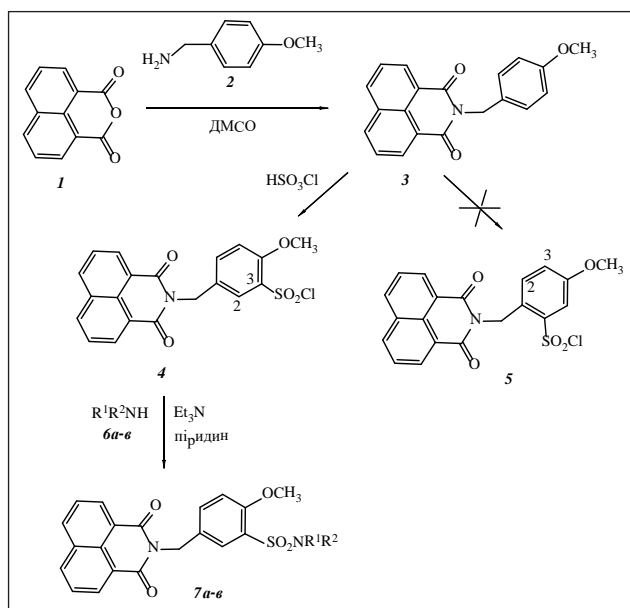


Схема 1

сполуки, перспективні щодо вивчення їх біологічного потенціалу.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Ми встановили, що нафталевий ангідрид **1** реагує з 4'-метоксибензиламіном **2** з утворенням 2-(4'-метоксибензил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону **3** під час нагрівання до кипіння у розчині диметилсульфоксиду (ДМСО) протягом 2 год., вихід цільової сполуки **3** сягає 81% (схема 1).

Як метиленова, так і метоксигрупа у фенільному кільці є замісниками першого роду, тому за правилами орієнтації в бензеновому ядрі у разі дії електрофільних агентів електрофільна атака 1,4-дизаміщеного фенольного кільця сполуки **3** характеризується неузгодженою орієнтацією. Тому сульфохлорування бензо[de]ізохінолін-1,3-діону **3** може відбуватись за двома конкурентними напрямками: за положенням 2 або 3 фенільного замісника, що в результаті приведе до утворення продуктів реакції **4** або **5** відповідно, можливе також утворення суміші продуктів у різних співвідношеннях. Нами з'ясовано, що сульфохлорування відбувається селективно, а єдиним продуктом реакції є 2-(4'-метокси-3'-хлорсульфонілбензил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **4**. Оптимальною температурою реакції є 20°C, за більш високих температур відбувається руйнування імідного циклу, що веде до зниження виходу цільового продукту (схема 1).

Одержаний 2-(4'-метокси-3'-хлорсульфонілбензил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **4** легко, із задовільними виходами реагує з вторинними амінами **6a-e** (морфоліном, піперидином, гексаметиленіміном), що є відомими фармакофорами, утворюючи 2-[4'-метокси-3'-(R-аміноссульфоніл)бензил]-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діони **7a-e**. Виходи сульфонамідів **7a-e** сягають 62–72%.

Для ідентифікації продуктів реакцій нами був проведений порівняльний аналіз спектрів ЯМР  $^1\text{H}$  нафталіміду **3**, продукту сульфохлорування **4** та сульфонамідів **7a-e**. Відомо, що в спектрі ЯМР  $^1\text{H}$  4-метиланізолу сигнали протонів в *ortho*-положенні до метоксильної групи спостерігаються в області 6,78 м.ч., а сигнали протонів в *ortho*-положенні до метильної групи – в області 7,05 м.ч. [12]. Таким чином, у спектрі ЯМР  $^1\text{H}$  сполуки **3** протони, що реєструються в області 6,87 і 7,35 м.ч., знаходяться відповідно в *ortho*-положеннях до метокси- і метиленової груп. У спектрах ЯМР  $^1\text{H}$  сполук **4** і **7a-e** у найслабшому полі (7,80–7,86 м.ч.) спостерігаються сигнали протонів Н-2, які знаходяться між сульфонамідною та метиленовою групами. У найсильнішому полі – 7,19–7,29 м.ч. – розташовані дублетні сигнали протонів Н-5 ( $J = 8.4\text{--}8.8$  Гц). В області 7,65–7,74 м.ч. знаходяться дублет-дублетні сигнали протонів Н-6 ( $J_1 = 8.4\text{--}8.8$  Гц,  $J_2 = 1,9\text{--}2,1$  Гц). Така форма сигналів протонів Н-6 можлива лише за рахунок дальньої спин-спінової взаємодії з протонами Н-2. Таким чином, аналіз КССВ протонів фенільного кільця свідчить на користь структур **4** і **7a-e** (схема 2).

Усі використані розчинники та органічні основи використовувались після додаткового очищення та осушування. Спектри ЯМР  $^1\text{H}$  речовин у розчині ДМСО- $d_6$  зареєстровані на приладі "Varian VXR-300", робоча частота – 300 МГц, внутрішній стандарт – ТМС.

**Синтез 2-(4'-метоксибензил)-2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону 3.** Суміш 3.96 г (0.02 моль) нафталенового ангідриду **1** і 2.88 г (0.021 моль) 4-метоксибензиламіну **2** в 22 мл ДМСО кип'ятять дві години, після охолодження до розчину додають 200 мл води і витримують 24 год. за 5°C. Осад, що утворився, відфільтровують і сушать. Вихід 5.17 г (81%), т.пл. 180–182°C (з оцтової кислоти). Спектр ЯМР  $^1\text{H}$  ( $\delta$ , м.ч.): 3.71 (3H, с,  $\text{CH}_3\text{O}$ ), 5.17 (2H, с,  $\text{CH}_2$ ), 6.87 (2H, д,  $J = 8.3$  Гц,  $n\text{-C}_6\text{H}_4$ ), 7.35 (2H, д,  $J = 8.3$  Гц,  $n\text{-C}_6\text{H}_4$ ), 7.84 (2H, м,  $\text{H}_{\text{аром}}$ ), 8.40–8.49 (4H, м,  $\text{H}_{\text{аром}}$ ). Знайдено, %: С 75.93; Н 4.62; N

4.17.  $C_{20}H_{15}NO_3$ . Обчислено, %: С 75.70; Н 4.76; N 4.41.

Сульфохлорування 2-(4'-метоксибензил)-2,3-дигідро-1Н-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону **3**. Розчиняють 6.34 г (0.02 моль) сполуки **3** в 10 мл (0.15 моль) хлорсульфонової кислоти при 30°C. Витримують одну год., охолоджують до 5°C і виливають у

лід. Осад 2-(4'-метокси-3'-хлорсульфонілбензил)-2,3-дигідро-1Н-бензо[de]ізохінолін-1,3-діону **4** відфільтровують і сушать. Вихід 5.43 г (65%), т.пл. 192–194°C (з оцтової кислоти). Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м.ч.): 3.78 (3H, с,  $CH_3O$ ), 5.19 (2H, с,  $CH_2$ ), 7.29 (1H, д,  $J = 8.4$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.74 (1H, дд,  $J_1 = 8.4$  Гц,  $J_2 = 2.0$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.83–7.89 (3H, м,  $H_{аром}$ ), 8.42–8.47 (4H, м,  $H_{аром}$ ). Знайдено, %: С 57.48; Н 3.18; N 3.08; S 7.86.  $C_{20}H_{14}ClNO_5S$ . Обчислено, %: С 57.77; Н 3.39; N 3.37; S 7.71.

Синтез 2-[4'-метокси-3'-(R-аміносулфоніл)бензил]-2,3-дигідро-1Н-бензо[de]ізохінолін-1,3-діонів **7a-в**. Розчин 0.005 моль сульфохлориду **4**, 0.006 моль аміну **6a-в**, 0.505 г (0.005 моль) триетиламіну в 8 мл піридину нагрівають при 80°C, постійно перемішуючи, 1 годину, охолоджують, виливають на лід. Осад, що утворився, відфільтровують і сушать (сполуки **7a-в**).

2-[4'-метокси-3'-(N-морфолінілсульфоніл)бензил]-2,3-дигідро-1Н-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **7a**. Вихід 1.68 г (72%), т.пл. 229–231°C (з оцтової кислоти). Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м.ч.): 3.01 (4H, м,  $(CH_2)_2O$ ), 3.57 (4H, м,  $(CH_2)_2N$ ), 3.87 (3H, с,  $CH_3O$ ), 5.22 (2H, с,  $CH_2$ ), 7.22 (1H, д,  $J = 8.7$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.71

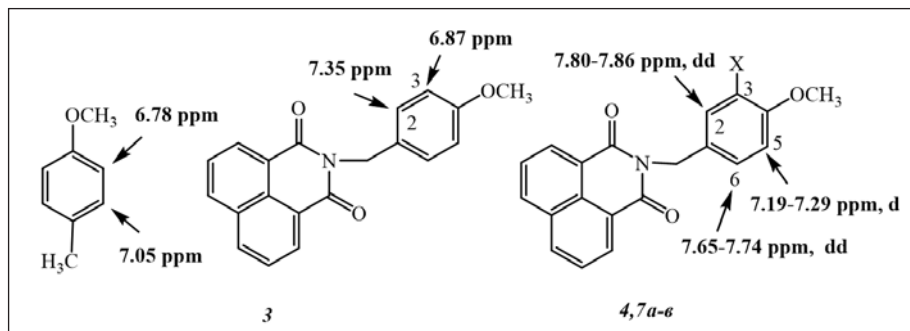


Схема 2

(1H, дд,  $J_1 = 8.7$  Гц,  $J_2 = 2.1$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.80–7.87 (3H, м,  $H_{аром}$ ), 8.40–8.48 (4H, м,  $H_{аром}$ ). Знайдено, %: С 61.51; Н 4.88; N 6.11; S 6.62.  $C_{24}H_{22}N_2O_6S$ . Обчислено, %: С 61.79; Н 4.75; N 6.00; S 6.87.

2-[4'-метокси-3'-(N-піперидинілсульфоніл)бензил]-2,3-дигідро-1Н-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **7b**. Вихід 1.54 г (66%), т.пл. 227–230°C (з оцтової кислоти). Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м.ч.): 1.45 (6H, м,  $(CH_2+(CH_2)_2)$ ), 3.03 (4H, м,  $(CH_2)_2N$ ), 3.84 (3H, с,  $CH_3O$ ), 5.22 (2H, с,  $CH_2$ ), 7.19 (1H, д,  $J = 8.8$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.66 (1H, дд,  $J_1 = 8.8$  Гц,  $J_2 = 1.9$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.82–7.89 (3H, м,  $H_{аром}$ ), 8.41–8.49 (4H, м,  $H_{аром}$ ). Знайдено, %: С 64.41; Н 5.37; N 6.13; S 7.09.  $C_{25}H_{24}N_2O_5S$ . Обчислено, %: С 64.64; Н 5.21; N 6.03; S 6.90.

2-[4'-метокси-3'-(N-гексаметиленімінсульфоніл)бензил]-2,3-дигідро-1Н-бензо[de]ізохінолін-1,3-діон **7в**. Вихід 1.49 г (62%), т.пл. 199–203°C (з нітротетану). Спектр ЯМР  $^1H$  ( $\delta$ , м.ч.): 1.51–1.59 (8H, м,  $(CH_2)_2+(CH_2)_2$ ), 3.20 (4H, м,  $(CH_2)_2N$ ), 3.85 (3H, с,  $CH_3O$ ), 5.22 (2H, с,  $CH_2$ ), 7.18 (1H, д,  $J = 8.5$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.65 (1H, дд,  $J_1 = 8.5$  Гц,  $J_2 = 1.9$  Гц,  $H_{аром}$ ), 7.85–7.88 (3H, м,  $H_{аром}$ ), 8.42–8.51 (4H, м,  $H_{аром}$ ). Знайдено, %: С 65.37; Н 5.24; N 5.72; S 6.49.  $C_{26}H_{26}N_2O_5S$ . Обчислено, %: С 65.26; Н 5.48; N 5.85; S 6.70.

#### Список літератури:

1. Bekere L., Gachet D., Lokshin V., Marine W., Khodorkovsky V. Synthesis and spectroscopic properties of 4-amino-1,8-naphthalimide derivatives involving the carboxylic group. *Beilstein J. Org. Chem.* 2013. V. 9. P. 1311–1318.
2. Ventura B., Bertocco A., Braga D., Catalano L., d'Agostino S. Luminescence Properties of 1,8-Naphthalimide Derivatives in Solution, in Their Crystals, and in Co-crystals. *J. Phys. Chem.* 2014. V. 118 (32). P. 18646–18658.
3. Zhang J., Dumur F., Xiao P., Graff B., Bardelang D., Gignes D., Fouassier J.P. Structure Design of Naphthalimide Derivatives: Toward Versatile Photoinitiators for Near-UV/Visible LEDs, 3D Printing, and Water-Soluble Photoinitiating Systems. *Macromolecules.* 2015. V.48 (7). P. 2054–2063.
4. Jin Z., Wu J., Wang C., Dai G., Liu S., Lu J. Novel fluorescent 1,8-naphthalimide derivatives containing thiophene and pyrazole moieties: synthesis by direct C-H arylation and evaluation of photophysical and electrochemical properties. *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* 2014. V.117. P. 527–534.
5. Konstantinova T.M., Miladinova P.M. Synthesis and properties of some fluorescent 1,8-naphthalimide derivatives and their copolymers with methyl methacrylate. *J. Applied Polymer Science.* 2009. V.111(4). P. 1991–1998.
6. Tian Y., Su F., Weber W., Nandakumar V., Shumway B. R., Jin Y. A series of naphthalimide derivatives as intra and extracellular pH sensors. *Biomaterials.* 2010. V. 31 (29). P. 7411–7422.
7. Zhang L., Su F., Kong X., Lee F., Sher S., Day K. 1,8-Naphthalimide Derivative Dyes with Large Stokes Shifts for Targeting Live-Cell Mitochondria. *ChemBiochem.* 2016. Vol.17(18). P. 1719–24. DOI: 10.1002/cbic.201600169.



8. Tian Z.-Y., Li J.-H., Li Q., Zang F.-L., Zhao Z.-H. Study on the Synthesis Biological Activity and Spectroscopy of Naphthalimide-Diamine Conjugates. *Molecules*. 2014, Vol.19(6), P. 7646–7668. DOI: 10.3390/molecules19067646.
9. Abdel-Hamid M. K., Macgregor K. A., Odell L.R., Chau N. 1,8-Naphthalimide derivatives: new leads against dynamin I GTPase activity. *Org. Biomol. Chem.* 2015. V.13. P. 8016–8028.
10. Брицун В.М., Шваргау В.В., Петренко В.С., Лозинський М.О. Синтез і дослідження антидотної та гербіцидної активності нових 2,3-дигідро-1H-бензо[de]ізохінолін-1,3-діонів. *Журнал органічної та фармацевтичної хімії*. 2004, Т.2, Вип. 3 (7), С. 21–25.
11. Майборода О.І., Сімурова Н.В., Брицун В.М. Синтез 2-(2-аміносульфоніл-4,5-диметоксифенетіл)-2,3,3a,9b-тетрагідро-1H-бензо[de] ізохінолін-1,3-діонів. *Вопросы химии и химической технологии*. 2017. № 6. С. 17–22.
12. Chemical book. URL: [https://www.chemicalbook.com/SpectrumEN\\_104-93-8\\_1HNMR.htm](https://www.chemicalbook.com/SpectrumEN_104-93-8_1HNMR.htm)

### **СИНТЕЗ 2-[4'-МЕТОКСИ-3'-(R-АМИНОСУЛЬФОНИЛ)БЕНЗИЛ]-2,3-ДИГИДРО-1H-БЕНЗО[DE]ИЗОХИНОЛИН-1,3-ДИОНОВ**

*Данная работа посвящена изучению синтетических модификаций нафталевого ангидрида с помощью реакции его конденсации с 4-метоксибензиламином и дальнейшего сульфохлорирования полученного продукта. Синтезированный сульфохлорид был использован в качестве стартового реагента для синтеза неизвестных ранее 2-[4'-метокси-3'-(R-аминсульфонил)бензил]-2,3-дигидро-1H-бензо[de]изохинолин-1,3-дионов. Структура всех полученных соединений подтверждается методом ЯМР<sup>1</sup>H спектроскопии, состав – данными элементного анализа. Результаты этих исследований могут быть использованы в синтетической практике, а полученные соединения являются перспективными для дальнейшего изучения их биологической активности.*

**Ключевые слова:** синтез, нафталевый ангидрид, хлорсульфоновая кислота, сульфонамиды, 2,3-дигидро-<sup>1</sup>H-бензо[de]изохинолин-1,3-дионы.

### **SYNTHESES OF 2-(4'-METHOXY-3'-(R-AMINOSULFONYL)BENZYL)-2,3-DIHYDRO-1H-BENZO[DE]ISOQUINOLINE-1,3-DIONES**

*This paper is devoted to the study of synthetic modifications of naphthalic anhydride by condensation with 4-methoxybenzylamine and further sulfochlorination reaction of the product obtained. The resulting sulfonylchloride was used as a starting reagent for the synthesis of previously unknown 2-(4'-methoxy-3'-(R-aminosulfonyl)benzyl)2,3-Dihydro-<sup>1</sup>H-benzo[de]isoquinoline-1,3-diones. The structure of all the compounds obtained is confirmed by <sup>1</sup>H NMR spectra, and the composition by the element analysis data. The results of these studies are used in synthetic practice, and the compounds obtained are promising for further study of their biological activity.*

**Key words:** synthesis, naphthalic anhydride, chlorosulfonic acid, sulfonamide, 2,3-dihydro-<sup>1</sup>H-benzo[de]isoquinoline-1,3-dione.

## Відомості про авторів

**Азаров С.І.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту ядерних досліджень НАН України;

**Бабіч В.Ф.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем автоматизації Одеського національного політехнічного університету;

**Бартецька І.А.** – аспірант кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету;

**Бартецький А.А.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті Вінницького національного технічного університету;

**Бєліков І.Б.** – заступник начальника центрального штабу Державної воєнізованої гірничорядувальної служби України;

**Бобровнік С.О.** – Unity-розробник, Human Interface Technology;

**Бойко С.М.** – кандидат технічних наук, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

**Бондарець О.М.** – викладач циклової комісії управління та адміністрування Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

**Борисенко О.М.** – викладач циклової комісії фізико-математичних дисциплін та інформатики Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

**Брицун В.М.** – доктор хімічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник державної науково-дослідної лабораторії з контролю якості лікарських засобів Державної Установи «Інститут громадського здоров'я імені О.М. Марзєєва НАМН України»;

**Василишин В.Я.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

**Василишин Я.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри архітектури та містобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**Гарнага Є.В.** – магістр Дніпровського державного технічного університету;

**Гулай А.А.** – начальник дільниці ВТБ шахтоуправління «Покровське»;

**Єлатонець Д.О.** – асистент Дніпровського державного технічного університету;

**Задунай О.С.** – начальник центру Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації;

**Зінченко Н.Ю.** – старший викладач кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Іванченко А.В.** – кандидат технічних наук, доцент Дніпровського державного технічного університету;

**Калініченко О.В.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

**Корнага Я.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Круковська В.В.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник Інституту геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України;

**Круковський О.П.** – член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, заступник директора Інституту геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України;

**Кулик В.В.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем Вінницького національного технічного університету;

**Лежнюк П.Д.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем Вінницького національного технічного університету;

**Любицький О.В.** – завідувач відділу Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України;

**Марчук Г.В.** – старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення Житомирського державного технологічного університету;

**Мельник О.Г.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України;

**Мельник О.Є.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Криворізького національного університету;

**Мельник Р.П.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих систем безпеки та електроустановок Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України;

**Мерзлікін А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Розробка родовищ корисних копалин» Донецького національного технічного університету;

**Мещеряков Д.В.** – аспірант Одеської національної академії харчових технологій;

**Мешков О.Ю.** – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, електроніки та інженерії Херсонського національного технічного університету;

**Мінієв С.П.** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу Інституту геотехнічної механіки імені М.С. Полякова НАН України;

**Мухі Алдін Хассан Мохамед** – аспірант Одеського національного політехнічного університету;

**Назаренко В.О.** – магістр Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Назаренко О.В.** – магістр Дніпровського державного технічного університету;

**Некрасов А.В.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричних машин і апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Омельченко О.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри загальноінженерних дисциплін та обладнання Донецького національного університету економіки та торгівлі імені Михайла Туган-Барановського;

**Орлов Є.А.** – студент кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Павлик І.В.** – доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу;

**Перепелиця О.П.** – доктор хімічних наук, професор, професор кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Петренко Т.В.** – провідний інженер кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Пірняк В.М.** – начальник відділу внутрішнього аудиту підприємства ТОВ «Подільський енергоконсалтинг»;

**Плохута Д.О.** – бакалавр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Поляков А.С.** – бакалавр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Попова І.В.** – кандидат технічних наук, доктор філософських наук, доцент, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Приймак Н.В.** – аспірант кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету;

**Савчук Т.О.** – PhD, професор кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету;

**Самодєлок Р.В.** – провідний інженер Інституту проблем безпеки атомних електростанцій НАН України;

**Самойлов А.М.** – старший викладач кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Самчук А.І.** – доктор хімічних наук, головний науковий співробітник Інституту геохімії, мінералогії і рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України;

**Сидоренко В.Л.** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри Інституту державного управління у сфері цивільного захисту;

**Сімурова Н.В.** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчової хімії Національного університету харчових технологій;

**Соколенко Д.Г.** – бакалавр кафедри технічної кібернетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;

**Стародуб А.О.** – магістр Одеського національного політехнічного університету;

**Сугоняк І.І.** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення Житомирського державного технологічного університету;

**Ткачова О.Б.** – докторант, викладач кафедри інфокомунікаційної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки;

**Трач О.Р.** – кандидат технічних наук, асистент кафедри соціальних комунікацій та інформаційної діяльності Національного університету «Львівська політехніка»;

**Устенко І.В.** – доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова;

**Федь М.Г.** – аспірант кафедри електричних машин і апаратів Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Хорошевська І.О.** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і технологій Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця;

**Черепанова К.В.** – асистент кафедри інформатики Одеського державного екологічного університету;

**Чорна В.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри систем електропостачання та енергетичного менеджменту Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Шевченко І.В.** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського;

**Шмельов Ю.М.** – кандидат технічних наук, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління Кременчуцького льотного коледжу Національного авіаційного університету;

**Юськів А.С.** – магістр Одеського національного політехнічного університету;

**Янжула А.С.** – Головний інженер шахтоуправління «Покровське».

## НОТАТКИ

Науковий журнал

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

**Серія: Технічні науки**

**Том 29 (68) № 5 2018**

**Частина 2**

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. 13,63. Ум.-друк. арк. 20,23. Зам. № 1118/160

Підписано до друку 14.11.2018. Наклад 150 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»

73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а, офіс 105

Телефон +38 (0552) 39 95 80

E-mail: [mailbox@helvetica.com.ua](mailto:mailbox@helvetica.com.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 4392 від 20.08.2012 р.